

П. И. Полухин, Н. М. Федосов, А. А. Королев,
Ю. М. Матвеев

**ПРОКАТНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО**

П. И. Полухин, Н. М. Федосов, А. А. Королев, Ю. М. Матвеев

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ И ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обработка металлов давлением»

*Дорогому
Александрову Ивану
Целикову
в знак благодарности
от автора*

А. Король

*Н. Поляков
А. Матвеев*

1 мая 1969г



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕТАЛЛУРГИЯ» МОСКВА 1968

Прокатное производство. Полухин П. И., Федосов Н. М., Королев А. А., Матвеев Ю. М. Изд-во «Металлургия», 1968, 2-е изд., с. 676.

В учебнике изложены технологические процессы производства различных видов прокатной продукции и описано оборудование соответствующих станов, а также рассмотрена калибровка валков этих станов. Приведены методы расчета основных параметров процесса прокатки и оборудования.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений (металлургических, машиностроительных, горно-металлургических и политехнических), специализирующихся в области прокатного производства, и может быть полезен инженерно-техническим работникам металлургической и машиностроительной промышленности. Илл. 470. Табл. 49. Библ. 148.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	8

Часть первая

ПРОИЗВОДСТВО БЛЮМОВ, СЛЯБОВ И ЗАГОТОВОК

Глава I. Общая характеристика прокатного производства	11
Глава II. Производство блюмов и слябов	26
1. Сортамент	26
2. Блюминги и слябинги	26
3. Слитки	44
4. Нагрев слитков	49
5. Режимы обжатий и калибровка валков	62
Глава III. Производство заготовок	79
1. Заготовочные станы	79
2. Калибровка валков	90
Глава IV. Давление металла на валки, расход энергии и мощность двигателя	109
1. Скоростной режим прокатки блюмов и слябов	109
2. Давление металла на валки	114
3. Расход энергии и мощность электродвигателя	119
Глава V. Качество полупродукта и меры предотвращения дефектов	122
Глава VI. Техничко-экономические показатели производства полупродукта	132

Часть вторая

ПРОИЗВОДСТВО РЕЛЬСОВ И СОРТОВОЙ СТАЛИ

Глава VII. Производство рельсов, балок и швеллеров	138
1. Сортамент	138
2. Рельсобалочные станы	140
3. Заготовки и нагрев их перед прокаткой	152
4. Калибровка валков	154
5. Давление металла на валки и момент прокатки	209
6. Валковая арматура рельсобалочных станов	211
7. Термическая обработка и отделка рельсов, балок и швеллеров	213
Глава VIII. Производство сортовой стали	232
1. Сортамент	232
2. Сортные станы	232
3. Проволочные станы	256
4. Полосовые станы	260
5. Заготовки и нагрев их перед прокаткой	265
6. Системы вытяжных калибров	270

7. Калибровка валков	277
8. Валковая арматура сортовых станов	303
9. Термическая обработка и отделка сортовой стали	311
Глава IX. Качество сортовой стали и меры предотвращения дефектов	327
Глава X. Техничко-экономические показатели производства сортовой стали	331

Часть третья

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Глава XI. Листовые станы	339
1. Сортамент	339
2. Станы для горячей прокатки листов	342
3. Станы для холодной прокатки листов	363
Глава XII. Исходные материалы и подготовка их к прокатке	380
1. Слябы и слитки и нагрев их перед прокаткой	380
2. Подготовка исходных материалов к холодной прокатке	382
Глава XIII. Режимы обжатий, давление металла на валки и мощность двигателей	392
1. Режимы обжатий	392
2. Давление металла на валки	395
3. Направление сил, действующих на валки при прокатке с натяжением, и моменты прокатки	398
4. Расход энергии, момент и мощность двигателя	402
Глава XIV. Горячая прокатка листовой стали	416
1. Прокатка листовой стали на непрерывных станах	416
2. Прокатка толстых листов на станах линейного типа	422
3. Прокатка листовой стали на станах с моталками в печах	428
4. Термическая обработка и отделка горячекатаной листовой стали	429
Глава XV. Холодная прокатка листовой стали	439
1. Влияние холодной прокатки на физико-механические свойства стали	439
2. Прокатка углеродистой стали	445
3. Контроль толщины и регулирование натяжения полосы при прокатке	456
4. Термическая обработка и отделка холоднокатаной углеродистой стали	460
5. Особенности прокатки жести	467
6. Лужение, оцинкование и другие виды покрытия листовой стали	472
Глава XVI. Холодная прокатка электротехнической и легированной листовой стали	479
1. Трансформаторная сталь	479
2. Динамная сталь	484
3. Нержавеющая сталь	486
Глава XVII. Техничко-экономические показатели производства листовой стали	489

Часть четвертая

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Глава XVIII. Производство сварных труб	494
1. Формовка и сварка труб	494
2. Печная сварка	501
3. Контактная электросварка	509
4. Дуговая сварка труб под слоем флюса	519
5. Производство труб индукционной сваркой	527

6. Радиочастотная сварка	530
7. Дуговая сварка труб с защитой дуги инертным газом	533
Глава XIX. Основы поперечно-винтовой прокатки	537
1. Напряженное состояние и кинематика процесса прокатки	537
2. Давление металла на валки	541
3. Моменты прокатки, расход энергии и мощность при прокатке труб	542
Глава XX. Основы продольной и периодической прокатки полых тел	544
1. Кинематика и напряженное состояние при прокатке	544
2. Давление металла на валки при продольной прокатке	547
3. Моменты, расход энергии и мощность при прокатке труб	549
4. Особенности очага деформации при периодической прокатке	550
Глава XXI. Горячая прокатка труб	555
1. Автоматические станы	555
2. Непрерывные станы	575
3. Трехвалковые станы	582
4. Пилигримовые станы	588
5. Отделка труб	608
Глава XXII. Волочение и холодная прокатка труб	614
1. Сортамент	614
2. Основные операции волочения и холодной прокатки	614
3. Волочение	617
4. Холодная прокатка	624
Глава XXIII. Техничко-экономические показатели производства труб	637
1. Производство сварных труб	637
2. Горячая прокатка труб	639
3. Волочение и холодная прокатка труб	643
Глава XXIV. Производство специальных профилей	645
1. Колеса	645
2. Бандажи	649
3. Периодические профили	651
4. Гнутые профили	658
5. Биметаллический и многослойный прокат	662
Литература	671

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная программа специального курса прокатного производства состоит из следующих основных разделов: 1) теория прокатки, 2) калибровка прокатных валков, 3) технология прокатного производства, 4) оборудование прокатных цехов.

В настоящее время в большинстве вузов, выпускающих специалистов-прокатчиков, эти разделы специального курса читаются лекторами, являющимися специалистами в соответствующих областях прокатного производства. В связи с этим были написаны и изданы учебники по указанным разделам специального курса.

По теории прокатки используют учебник чл.-корр. АН СССР И. М. Павлова «Теория прокатки» и книгу академика А. И. Целикова «Основы теории прокатки» и др.

По оборудованию прокатных цехов имеются учебники академика А. И. Целикова и канд. техн. наук В. В. Смирнова «Прокатные станы» и проф. докт. техн. наук А. А. Королева «Механическое оборудование прокатных цехов».

По калибровке прокатных валков используют книги кандидатов технических наук Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова «Калибровка прокатных валков» и профессоров докторов технических наук Ю. М. Матвеева и Я. Л. Ваткина «Калибровка валков и инструмента трубных станов».

По технологии прокатного производства имеется учебник проф. докт. техн. наук М. Л. Зарощинского «Технологические основы проектирования прокатных станов».

Если преподавание теории прокатки как самостоятельного курса является оправданным, то раздельное преподавание калибровки валков, техно-

логии производства и оборудования прокатных цехов имеет следующие недостатки: 1) приводит к неизбежному дублированию и повторению некоторых положений; 2) не дает полного представления о различных видах прокатного производства. Кроме того, у студентов не вырабатывается навыков рассматривать и решать в органической связи вопросы выбора технологии, калибровки валков и оборудования с учетом технико-экономических показателей.

В связи с этим курс прокатного производства целесообразно преподавать так, чтобы студенты получали полные знания по отдельным видам прокатного производства.

Авторы книги поставили цель: создать учебник, объединяющий устройство, расчет и эксплуатацию оборудования, технологию и калибровку прокатных валков по всем видам прокатного производства. Однако этот учебник не исключает использования учебников по отдельным разделам специального курса.

Авторы с благодарностью примут замечания и предложения читателей по совершенствованию учебника.

ВВЕДЕНИЕ

Производство металла имеет важное значение для развития народного хозяйства и роста благосостояния народа.

От развития черной металлургии в значительной мере зависит обеспечение металлом машиностроения, строительства, транспорта, сельского хозяйства и всех других отраслей народного хозяйства.

В нашей стране достигнуты большие успехи в производстве стали: в 1967 г. выплавка стали превысила 100 млн. т, что значительно больше количества стали, выплавленной Англией, Францией, ФРГ и Италией, вместе взятыми.

Более 80% стали, выплавляемой на металлургических заводах, поступает для производства проката различных видов: листов, труб, железнодорожных рельсов, двутавровых балок, швеллеров, круглых, квадратных и специальных профилей и т. д. Потребителями прокатной продукции являются все отрасли народного хозяйства.

Наши достижения в производстве стали и проката особенно отчетливо видны при сравнении с производством этой продукции в дореволюционный период.

Производство стали и проката в тот период находилось на низком уровне и развивалось крайне неравномерно. Известный подъем металлургической промышленности в России относится к 90-м годам прошлого столетия, что было связано главным образом с усиленным строительством железных дорог. В этот период построено большинство южных заводов, на которых в первую очередь устанавливали рельсобалочные станы.

В 1913 г. максимальное производство чугуна составило 4216 тыс. т, стали 4231 тыс. т и проката 3506 тыс. т.

Прокатные станы были слабо механизированы. В сортаменте станов преобладали крупные профили (рельсы, балки, швеллеры) и кровельное железо. Качественный металл почти не прокатывали. В основном прокатная продукция поступала на строительство железных дорог и только 15% проката использовали фабрики и заводы.

В годы первой мировой войны производство чугуна, стали и проката значительно снизилось, а в годы интервенции и гражданской войны почти полностью прекратилось.

Придавая решающее значение индустриализации страны, Коммунистическая партия Советского Союза поставила задачу создания мощной промышленности средств производства и, в частности, черной металлургии и машиностроения.

В 1928 г. был достигнут и превзойден довоенный уровень выплавки стали, а в 1940 г. в СССР было произведено проката почти в пять раз

больше, чем в 1913 г. В годы первых пятилеток введен в эксплуатацию ряд новых высокопроизводительных станов на крупных металлургических комбинатах (Магнитогорский, Кузнецкий) и заводах (Макеевский, «Запорожсталь»).

Введение в эксплуатацию этих станов позволило достигнуть значительного роста производства проката, расширить сортамент прокатной продукции, организовать производство качественного металла и достигнуть больших успехов по повышению производительности труда в прокатных цехах.

В соответствии с пятилетним планом развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг. предусмотрено в 1970 г. выплавить чугуна 94—97 млн. т, стали 124—129 млн. т и произвести проката 95—99 млн. т.

Намеченный рост металлургической промышленности сыграет большую роль в создании материально-технической базы коммунизма и в осуществлении основной экономической задачи СССР.

Для обеспечения намеченного объема производства проката будут построены новые станы, выполнены мероприятия по повышению технического уровня производства на основе дальнейшего развития комплексной автоматизации и механизации всех производственных процессов в прокатных цехах, внедрены новейшие высокопроизводительное оборудование и передовая технология, заменено и модернизировано устаревшее оборудование.

Главным, решающим направлением технического прогресса должна быть комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, на основе которой можно достигнуть нового подъема производительности труда, снижения себестоимости и улучшения качества продукции. Если в прокатном производстве до настоящего времени автоматизировали отдельные агрегаты и производственные операции, то теперь возникла потребность в комплексной автоматизации и в создании полностью автоматизированных цехов, технологических процессов и предприятий.

Широкие перспективы в области автоматизации производственных процессов открывают достижения вычислительной техники. Применение современных вычислительных машин для управления производственными процессами позволяет автоматически вести технологический процесс на наивыгоднейшем режиме.

Пятилетним планом намечается установка высокопроизводительных станов и отделочных агрегатов, обеспечивающих непрерывность технологического производства и контроля качества продукции, механизацию и автоматизацию производственных операций.

Применение принципа непрерывности технологических операций (прокатки, термической обработки, отделки, маркировки и т. д.) является характерным для современных прокатных цехов. Основными станами являются непрерывные, которые обладают большой производительностью, позволяют полностью автоматизировать производственный процесс и осуществить прокатку с большими скоростями.

Наряду с постройкой непрерывных станов вводится в строй большое количество непрерывных линий травления, отжига, лужения, оцинкования, резки и т. д. С повышением скорости прокатки возрастет скорость движения металла в поточных непрерывных линиях отделки проката.

Большое значение приобретает качество металлургической продукции. Интересы народного хозяйства, развитие новых отраслей техники требуют расширения сортамента прокатной продукции, производства экономических профилей проката — гнутых, периодических и высокоточ-

ных, получаемых волочением и прессованием. Коренным образом должна быть улучшена отделка проката и повышена его прочность термической обработкой.

Введение на металлургических предприятиях упрочняющей термической обработки горячекатаного листового и сортового проката и стальных труб из углеродистых и низколегированных сталей позволяет значительно повысить прочность и другие свойства стали, а также заменить спокойную углеродистую сталь более дешевой кипящей углеродистой сталью и низколегированную сталь некоторых марок — углеродистой сталью. Кроме того, это обеспечит снижение массы оборудования, металлоконструкций и сооружений и получение большой экономии металла.

Повышение качества проката будет достигнуто также выплавкой более однородного и чистого металла. В прокатных цехах необходимо применять современные методы зачистки полупродукта и отделки готовой продукции. Первостепенное значение для повышения качества продукции имеет строгое соблюдение технологического режима на всех стадиях обработки металла в прокатных цехах, внедрение бесконтактного контроля качества продукции в потоке производства.

Для повышения точности прокатки большое значение имеет повышение жесткости и улучшение конструкции рабочих клетей стана, улучшение материала и конструкции подшипников валков, применение многовалковых станов (при прокатке листовой стали и ленты), внедрение автоматического контроля размеров проката и автоматической настройки стана.

Важнейшей народнохозяйственной задачей является борьба за экономию металла, которая может быть получена благодаря применению различных экономических облегченных профилей и производству проката с минусовыми допусками и повышенной точности.

Производство экономических облегченных профилей и увеличение поставки проката с минусовыми допусками позволят не только уменьшить массу машин и металлоконструкций, но и снизить себестоимость прокатной продукции.

С целью экономии металла в ближайшие годы металлургические заводы должны перейти на производство балок, швеллеров и уголков облегченного типа по всему сортаменту, предусмотренному специализацией прокатных станов. В связи с этим проектные организации рассматривают конструкции железнодорожных вагонов, сельскохозяйственных, строительных, дорожных и других машин, обсадных и буровых колонн, а также конструкции зданий и сооружений с целью их облегчения и экономии металла за счет применения экономических профилей и проката из низколегированных сталей. В соответствии с потребностью народного хозяйства пятилетним планом предусматривается резкое увеличение производства листов и труб.

Часть первая

ПРОИЗВОДСТВО БЛЮМОВ, СЛЯБОВ И ЗАГОТОВОК

Глава I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основными цехами современного металлургического завода с полным металлургическим циклом являются доменный, сталеплавильный и прокатный (рис. 1) [3, 7, 10].

Через прокатные цехи проходит почти вся сталь, выплавляемая в сталеплавильных цехах, и только небольшое ее количество — через литейные и кузнечные цехи. Технологический процесс получения готового

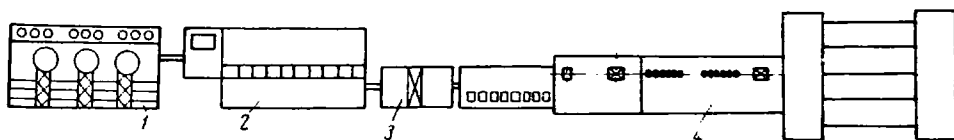


Рис. 1. Схематичный план современного металлургического завода:
1 — доменный цех; 2 — сталеплавильный цех; 3 — отделение разделения слитков; 4 — прокатный цех

проката является завершающей стадией металлургического производства.

Для прокатки металла в прокатных цехах металлургических заводов устанавливают станы различного типа и назначения.

Рабочая линия стана обычно состоит из рабочей клетки, шпинделей для привода валков, шестеренной клетки, редуктора, муфт и главного электродвигателя (рис. 2). Некоторые из элементов рабочей линии могут отсутствовать. Например, при индивидуальном приводе каждого валка шестеренная клетка и редуктор не нужны (блужинги, слябинги, толстолистовые станы и др.).

Исходный материал для прокатного производства — слитки и литые заготовки имеют поперечное сечение квадратной или прямоугольной формы, а в некоторых случаях — круглой (при производстве труб, колес и бандажей).

Готовую продукцию завода составляет прокат различного сортамента и назначения.

Технологический процесс прокатки на современном металлургическом заводе состоит из двух стадий: 1) прокатка слитка в полупродукт; 2) прокатка полупродукта в готовый прокат.

В зависимости от назначения прокатные станы можно разделить на две группы: 1) станы для производства полупродукта; 2) станы для производства готового проката.

К первой группе относят блюминги и непрерывные заготовочные станы, поставляющие полупродукт для производства сортовой стали, а также блюминги и слябинги, поставляющие полупродукт для производства листовой стали.

Блюминги и слябинги — крупные обжимные станы с валками диаметром 800—1400 мм. Эти станы предназначены для прокатки слитков

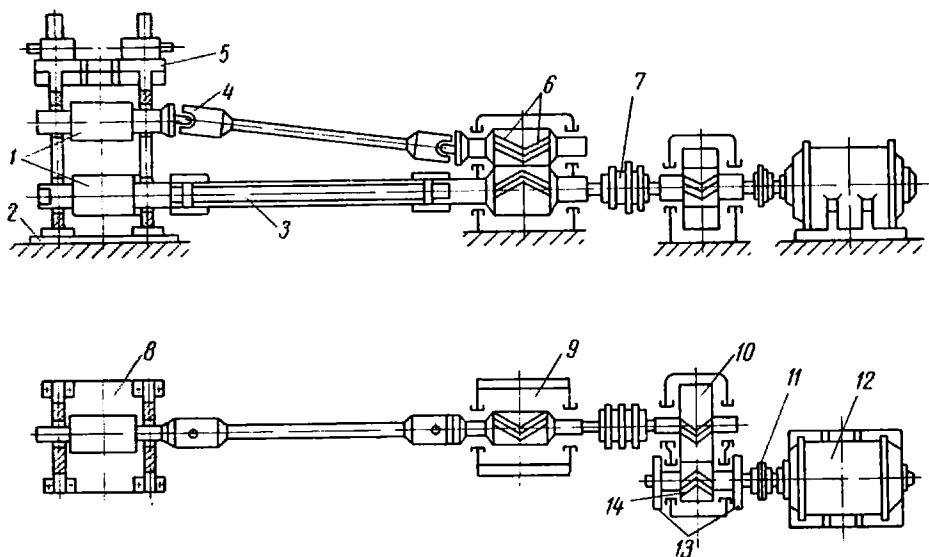


Рис. 2. Схема рабочей линии стана:

1 — рабочие валки; 2 — плитовина; 3 — тrefовый шпиндель; 4 — универсальный шпиндель; 5 — станина рабочей клетки; 6 — шестеренные валки; 7 — коренная муфта; 8 — рабочая клетка; 9 — шестеренная клетка; 10 — редуктор; 11 — моторная муфта; 12 — главный электродвигатель; 13 — маховики; 14 — шестерня редуктора

массой 2—45 т в заготовки больших размеров и различной формы (блюмы, слябы, фасонные заготовки).

Наибольшее распространение получили одноклетевые дуо-реверсивные блюминги с валками диаметром 1100—1300 мм.

Прокатка мелких заготовок на крупных станах (блюмингах) не экономична, так как при этом снижается производительность станов и значительно возрастает расход электроэнергии.

Для увеличения производительности на блюминге прокатывают слитки в блюмы сечением от 200×200 до 400×400 мм. Дальнейшую прокатку этих блюмов в заготовки различных размеров для сортовых станов осуществляют на заготовочных станах.

Заготовочный стан обычно располагают в непосредственной близости и на одной оси с блюмингом. Такое расположение станов позволяет прокатывать заготовки из слитков с одного нагрева, что экономически выгодно.

Разделение прокатки слитков в заготовки между блюмингом и заготовочным станом оказалось целесообразным. Чем больше конечное сечение блюмов, тем больше производительность блюминга. Станы, изготовляющие готовый прокат, тем проще по конструкции и производительнее, чем меньше поперечное сечение заготовок. Кроме того, произ-

водство готового проката из заготовок выгодно с точки зрения повышения его точности и качества.

Современным заготовочным станом является непрерывный стан, устанавливаемый за блюмингом; оба эти стана образуют заготовочное отделение прокатных цехов завода.

В зависимости от состава сортопрокатного цеха заготовочное отделение может состоять только из блюминга или из блюминга и непрерывного заготовочного стана.

К станам для производства готового проката относят сортовые, листовые, трубные и специальные станы.

К крупносортовым станам относят рельсобалочные станы с валками диаметром 750—900 мм; эти станы предназначены главным образом

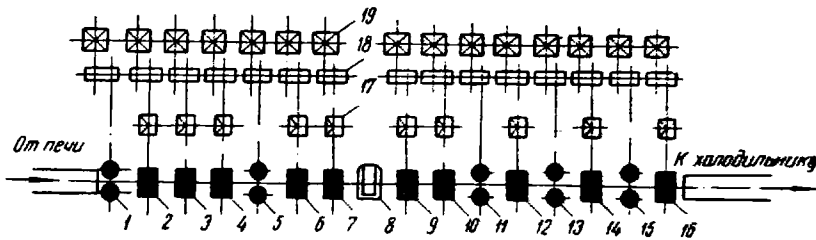


Рис. 3. Схема расположения оборудования непрерывного стана 350:
1—7 — клетки черновой группы ($D=410$ мм); 8 — ножницы; 9—16 — клетки чистовой группы ($D=350$ мм); 17 — шестеренная клетка; 18 — редуктор; 19 — электродвигатель

для прокатки железнодорожных рельсов, балок, швеллеров и других крупных профилей.

Для прокатки широкополочных балок высотой до 1000 мм с параллельными полками применяют универсальные балочные станы.

Остальные сортовые станы с валками диаметром 250—750 мм предназначены для прокатки сортовой стали.

Простейшим по конструкции сортовым станом является стан линейного типа, у которого все рабочие клетки расположены в одну линию.

Одним из существенных недостатков этих станов является то, что валки всех клеток имеют одинаковое число оборотов. Следовательно, на этих станах невозможно повышать скорость прокатки полосы по мере увеличения ее длины. Учитывая это, а также и то, что производительность станов повышается с увеличением степени дифференциации производственного процесса, в дальнейшем стали применять станы с расположением рабочих клеток в несколько линий.

Наибольшей степени дифференциация производственного процесса достигает на сортовых станах с последовательным расположением клеток, в которых полоса через каждую клетку проходит только один раз.

Наиболее совершенными сортовыми станами являются непрерывные (рис. 3). Рабочие клетки этих станов располагают последовательно одна за другой. Полоса через каждую клетку проходит только один раз, т. е. число рабочих клеток этих станов равно требуемому числу проходов полосы. Расстояние между клетями обычно меньше длины прокатываемой полосы, поэтому полоса одновременно прокатывается во всех или нескольких клетях.

На непрерывных станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда. Благодаря автоматизации на этих станах можно применять значительно большие скорости прокатки, чем на станах линейного типа с ручным обслуживанием. Максималь-

ная скорость прокатки на современных непрерывных станах достигает 35—45 м/сек.

В последнее время непрерывный способ прокатки получает все большее развитие. Основными станами современных прокатных цехов являются непрерывные. Они имеют следующие преимущества по сравнению со станами других типов: большую производительность, возможность полной автоматизации производственного процесса прокатки с большими скоростями, а также меньшие капитальные затраты на здание и оборудование (из последнего исключаются дорогостоящие рольганги, шлепперы и ряд других вспомогательных механизмов). Кроме того, повышается производительность стана на 1 т установленного оборудования и на 1 м² производственной площади.

Непрерывные и полунепрерывные станы широко применяют для прокатки толстолистовой и тонколистовой стали.

В связи с применением непрерывного метода получения листовой стали в горячем состоянии в виде рулонов холоднокатаную тонколистовую сталь прокатывают также в рулонах. К этим станам относятся реверсивные станы кварто, оборудованные с передней и задней стороны моталками, и непрерывные станы, состоящие из трех, четырех, пяти и шести клетей. Для холодной прокатки тонкой ленты из стали и цветных металлов широко применяют двадцативалковые станы.

Технологический процесс прокатки бесшовных труб на трубопрокатных станах состоит из следующих операций: 1) получение толстоствениной гильзы из слитка или заготовки; 2) изготовление из нее трубы. Эти операции осуществляют в горячем состоянии за один нагрев на разных станах: 1) прошивных; 2) трубопрокатных раскатных.

В настоящее время широко распространены следующие способы производства бесшовных труб:

1. Прокатка бесшовных труб на автоматических станах. Для прошивки заготовки в гильзу применяют прошивные станы различной конструкции. Прокатку гильзы в трубу осуществляют на автоматическом стане, представляющем собой обычный нереверсивный стан дуо, валки которого имеют ряд круглых калибров. В калибр вставляют оправку, удерживаемую стержнем. Просвет, образуемый калибром и оправкой, определяет толщину стенки прокатываемой трубы.

2. Прокатка бесшовных труб на пилигримовых станах. В этом случае для прошивки слитка в гильзу применяют прошивной стан с косо-расположенными валками, а дальнейшую обработку гильзы в трубу осуществляют на пилигримовом стане.

3. Прокатка бесшовных труб на непрерывных станах. Заготовку превращают в гильзу на прошивном стане, а прокатку гильзы в трубу осуществляют на непрерывном стане.

Для производства сварных труб применяют современные станы: 1) непрерывные валковые для производства труб печной сваркой; 2) непрерывные валковые для формирования трубной заготовки в холодном состоянии с последующей электросваркой шва.

Производство колес и бандажей для железнодорожного транспорта представляет собой комбинированный процесс обработки металлов давлением, включающий ковку и прокатку.

При производстве бандажей ковкой изготавливают разводку, которую прокатывают в бандаж на бандажепрокатном стане. При производстве колес на прессе штампуют колесную заготовку, которую прокатывают в колесо на колесопрокатном стане.

К специальным станам относят также станы для прокатки периодических профилей и станы для производства гнутых профилей.

В СССР почти все изделия, изготавливаемые прокаткой, стандартизованы ГОСТом (Государственным общесоюзным стандартом).

В стандартах приведены размеры, площадь поперечного сечения, масса l м профиля и допускаемые отклонения от номинальных размеров.

По мере износа валков размеры калибра увеличиваются, а следовательно, увеличиваются и размеры профиля, которые могут выйти за пределы допуска. Размеры профиля при прокатке изменяются также вследствие колебаний давления металла на валки, изменения температуры прокатываемого металла и т. п. При прокатке длинных полос невозможно обеспечить постоянство размеров профиля даже по длине одной полосы. Таким образом, допуски позволяют получать годный прокат в непрерывно изменяющихся условиях прокатки.

Прокатка с плюсовыми допусками приводит к излишнему расходу металла. Поэтому с целью экономии металла выгодно весь прокат выпускать с минусовыми допусками (прокатка на минус).

Обычно прокатку осуществляют с плюсовыми и минусовыми допусками. Чем больше поле допуска для данного профиля (разница между максимальными и минимальными размерами профиля), тем легче осуществить прокатку, так как в этом случае не требуется частая смена калибров и перевалка валков, а настройка стана существенно упрощается. Однако потребители заинтересованы в получении проката с меньшими отклонениями от номинальных размеров.

В связи с возросшими требованиями различных отраслей народного хозяйства, предъявляемыми к точности проката, в последние годы проведена большая работа по сокращению поля допуска, главным образом за счет уменьшения плюсовых допусков. Это мероприятие стало возможным благодаря вводу в эксплуатацию новых и модернизации существующих станов, достижениям в области автоматизации и механизации станов, совершенствованию технологии, повышению качества валков и улучшению настройки станов, а также благодаря общему повышению культуры производства.

Важнейшей народнохозяйственной задачей является борьба за экономию металла, которая может быть достигнута как за счет применения различных экономичных облегченных профилей, так и за счет производства проката с минусовыми допусками и повышенной точностью. Многие заводы выпускают некоторые профили с минусовыми допусками.

Все это дает не только экономию металла, но и позволяет также уменьшить массу машин, механизмов, металлических конструкций и снизить себестоимость проката. Примерно 60—90% стоимости проката составляет стоимость металла и только 40—10% составляют расходы на передел.

В стандартах на профили (балки, швеллеры и др.), применяемые для изготовления различных конструкций, кроме размеров площади поперечного сечения и массы l м, приведены также справочные величины: момент сопротивления, момент инерции, радиус инерции и др.

Во всех стандартах приведены также данные о длине поставляемых полос, допускаемых отклонениях по длине и др. Кроме ГОСТа на сортамент, имеются также ГОСТы на технические условия. В последних содержатся требования, предъявляемые к химическому составу стали, механическим свойствам, поверхности прокатанного металла, макро- и микроструктуре стали, а также указаны правила приемки, методы испытания, маркировки и пр.

Все прокатные изделия в зависимости от их формы можно разделить на четыре основные группы: 1) сортовая сталь; 2) листовая сталь; 3) трубы; 4) специальные профили.

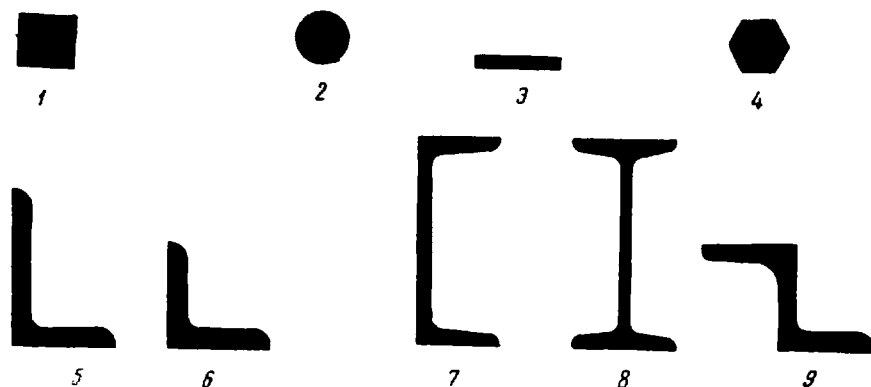


Рис. 4. Сортовая сталь общего назначения:
1 — квадратная; 2 — круглая; 3 — полосовая; 4 — шестигранная; 5 — неравнобокая угловая; 6 — равнобокая угловая; 7 — швеллер; 8 — балка; 9 — зетевая

Сортамент сортовой стали является наиболее обширным, так как ее применяют в различных отраслях народного хозяйства для изготовления машин, станков, стальных конструкций и т. д.

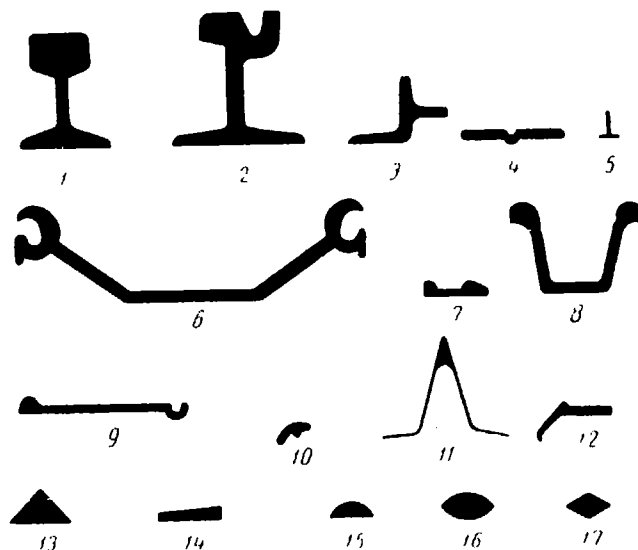


Рис. 5. Сортовая сталь специального назначения:
1 — рельс железнодорожный; 2 — рельс трамвайный; 3 — зетообразный профиль; 4 — рессорный желобчатый профиль; 5 — оконнорамный профиль; 6 — шпунтовая свая; 7 — профиль для колесниковых решеток; 8 — профиль для шахтных креплений; 9 — профиль для автоободов; 10 — профиль для бортовых колец автомобилей; 11 — профиль для тракторных шпор; 12 — профиль для подбичников; 13 — трехгранный профиль; 14 — клиновидный профиль; 15 — сегментный профиль; 16 — овальный профиль; 17 — ромбический профиль.

В зависимости от назначения сортовую сталь можно разделить на две группы: 1) профили общего назначения; 2) профили специального назначения. Последние применяют лишь в отдельных отраслях машиностроения.

К профилям общего назначения относят круглую, квадратную и полосу, ленту, проволоку, угловую сталь, швеллеры, двутавровые балки и др. (рис. 4).

К профилям специального назначения относят рельсы и профили, применяемые в автотракторостроении, вагоностроении, судостроении, гидротехнических сооружениях, электропромышленности, сельскохозяйственном и текстильном машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Примеры таких профилей приведены на рис. 5.

Листовую сталь разделяют на две основные группы в зависимости от толщины листов. Листы толщиной более 4 мм относят к толстолистовой стали, а менее 4 мм — к тонколистовой. Листовая сталь имеет

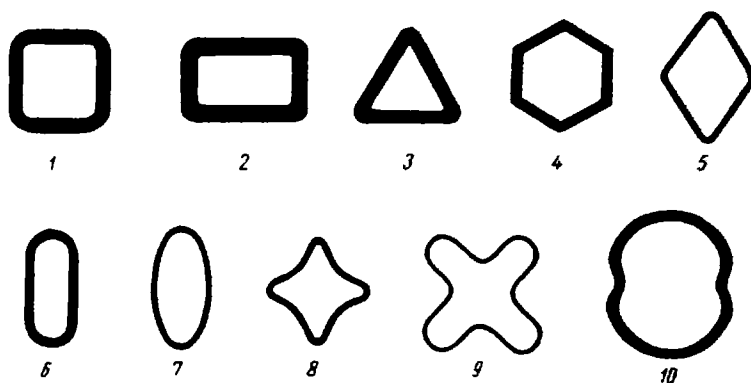


Рис. 6. Фасонные трубы:

1 — квадратная; 2 — прямоугольная; 3 — треугольная; 4 — шестигранная; 5 — ромбическая; 6 — плоскоовальная для линий электропередач; 7 — овальная для самолетостроения; 8—10 — специальные

весьма разнообразное назначение. Различают следующие виды листовой стали: котельная, топочная, судостроительная, автотракторная, электротехническая, жечь, декапированная, кислото- и жаропрочная, броневая и др.

Трубы разделяют на две группы: 1) бесшовные; 2) сварные. Удельный вес труб в общем выпуске проката увеличивается с каждым годом, особенно быстро растет производство сварных и холоднокатаных труб.

В настоящее время производят также фасонные трубы (рис. 6) и трубы переменного сечения. В последнем случае переменными размерами по длине трубы могут быть диаметр и толщина стенки (отдельно и одновременно).

Наши заводы выпускают также тонкостенные, особо тонкостенные, прецизионные, капиллярные и другие трубы из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, шарикоподшипниковые трубы высокой точности, биметаллические трубы небольших диаметров и др.

Необходимо расширять производство труб следующих видов: сварных (методом непрерывной печной сварки) и особенно электросварных, эконолических, переменного сечения, биметаллических труб большого диаметра, особо тонкостенных и электрополированных, а также с металлическими и неметаллическими покрытиями.

С развитием машиностроения, автостроения и созданием новых отраслей промышленности к сортаменту и качеству металла предъявляют новые и более повышенные требования.

Наряду с дальнейшим ростом производства проката предусматривается увеличение производства дефицитных и экономичных видов проката.

Производство тонкостенных балок (в том числе облегченного типа) и широкополочных балок дает экономию металла до 25%. Осваивается производство фасонных профилей (угловая и тавровая сталь, швеллеры и др.) с толщиной стенки 3—3,5 мм для строительной промышленности. Кроме облегчения конструкций, применение этих профи-

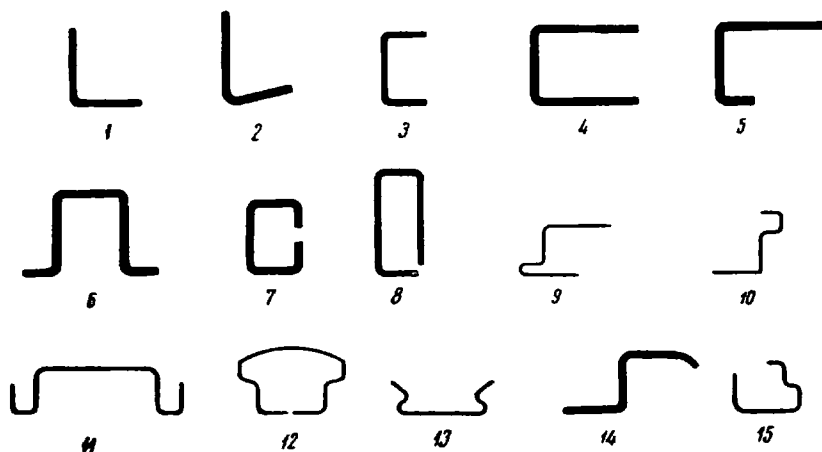


Рис. 7. Гнутые профили:

1 — равнобокая угловая сталь; 2 — специальная угловая сталь; 3 — швеллер; 4 — U-образный профиль; 5 — Г-образный профиль; 6 — корытообразный профиль; 7 — С-образный профиль; 8 — полый прямоугольный профиль; 9 — дверной профиль; 10 — профиль для ворот; 11 — оконный профиль; 12 — профиль для ограждения; 13 — профиль для металлической мебели; 14 и 15 — профили для транспортного машиностроения

лей в строительстве дает возможность осуществлять более совершенные конструктивные решения.

Большую группу экономичных профилей составляют фасонные профили, позволяющие упростить технологию производства деталей и снизить трудоемкость их изготовления. Наши металлургические заводы освоили большое количество таких фасонных профилей для автотракторной промышленности, транспортного машиностроения, строительства и других отраслей народного хозяйства.

Гнутые профили, изготавливаемые из листа и ленты толщиной от 0,2 до 20 мм, широко применяются в разных отраслях промышленности и для бытовых целей. Например, их применяют для элементов строительной конструкции и машин, для оконных переплетов, дверей, витрин и др. По сравнению с горячекатаными профилями гнутые профили обеспечивают большую точность, имеют меньшую толщину, могут иметь закрытую форму, невыполнимую при прокатке (рис. 7).

Для различных отраслей машиностроения все больше производят периодические прокатные профили, из которых изготавливают массовые детали. Эти профили обеспечивают значительную экономию металла (20--30%), резко снижают трудоемкость изготовления деталей и повышают производительность ковочных машин.

В последние годы значительно растет потребность в арматурной стали. Снижение потребности в этой стали обеспечивается изготовлением арматуры из сталей, обладающих более высокими механическими

свойствами, и повышением сцепления арматуры с бетоном. Применение периодических профилей для железобетонной арматуры сокращает расход металла на 40%.

В последние годы значительно растет также потребность в калиброванной сортовой стали, что связано с внедрением автоматических линий на заводах машиностроения.

Почти во всех крупных странах все больше и больше в сортаменте проката увеличивается доля листовой стали (особенно тонколистовой) и в то же время снижается удельный вес крупных профилей и рельсов. Это объясняется быстрым развитием транспортного машиностроения (авто- и тракторостроения, вагоностроения и др.), производства сварных труб, жести, гнутых профилей и др.

Наряду с общим увеличением производства листовой стали значительно увеличивается производство нержавеющей листовой стали, жести, трансформаторной стали и двухслойных сталей.

Расширение производства и применения двухслойной коррозионно-стойкой листовой стали позволяет увеличить общий объем выпуска листовой стали без дополнительного расхода дорогостоящих легирующих элементов. Так, применение коррозионно-стойких двухслойных листов обеспечивает экономию легирующих элементов в среднем около 70%.

Значительно расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовыми покрытиями.

Прокатываемые стали разделяют на стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Качественные и высококачественные стали отличаются от сталей обыкновенного качества содержанием вредных элементов — серы и фосфора. В сталях обыкновенного качества допускается содержание каждого из этих элементов обычно не более 0,05—0,055%, в качественных сталях не более 0,04—0,045%, а в высококачественных не более 0,03%. Кроме того, технологический процесс прокатки качественных и высококачественных сталей отличается тщательностью проведения, способствующей получению готового проката высокого качества как по физико-механическим свойствам, так и по состоянию поверхности.

По химическому составу различают стали:

а) углеродистые, в том числе малоуглеродистые, с содержанием углерода 0,2%—0,6% и высокоуглеродистые с содержанием углерода 0,6—2,0%;

б) легированные, в том числе низко-, средне- и высоколегированные с суммарным содержанием легирующих элементов (кроме углерода) соответственно до 2,5; 2,5—10,0 и более 10,0%.

По назначению прокатываемые стали разделяют на конструкционные, инструментальные и специальные.

К наиболее распространенным прокатываемым сталям относят конструкционные углеродистые и легированные стали, предназначенные для изготовления деталей машин и конструкций.

Из конструкционных сталей широко используют углеродистые стали, выплаиваемые главным образом в мартеновских печах и конвертерах.

В соответствии с ГОСТ 380—60 конструкционную углеродистую сталь обыкновенного и повышенного качества в зависимости от назначения и гарантируемых характеристик разделяют на группу А, группу В и подгруппу В.

К группе А относят мартеновскую или бессемеровскую сталь Ст. 1, Ст. 3, Ст. 4, Ст. 5, Ст. 6, Ст. 7, поставляемую по механическим свойствам.

Для сталей этой группы гарантируемыми характеристиками являются предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и испытание на загиб.

Химический состав стали не гарантируется, за исключением случаев, когда сталь поставляют с гарантированным, не превышающим пределов, содержанием серы, фосфора, хрома, никеля, меди, кремния и углерода, например сталь для сварных конструкций, которая должна также испытываться на свариваемость.

Для сталей группы Б гарантируемой характеристикой является химический состав. Обычно стали этой группы заказывают в том случае, если их подвергают горячей механической или термической обработке. В этой группе следующие стали: мартеповская — МСт. 0, МСт. 1кп, МСт. 2кп, МСт. 3кп, МСт. 3, МСт. 4кп, МСт. 4, МСт. 5, МСт. 6, МСт. 7 и бессемеровская — БСт. 0, БСт. 3кп, БСт. 3, БСт. 4кп, БСт. 4, БСт. 5, БСт. 6.

К подгруппе В относят мартеповскую сталь ВСт. 2кп, ВСт. 3кп, ВСт. 3, ВСт. 4кп, ВСт. 4, ВСт. 5, ВСт. 6. Для сталей этой подгруппы гарантируемыми характеристиками являются химический состав, механические свойства, удовлетворительные результаты при испытании на загиб в холодном состоянии, ударная вязкость при нормальной температуре и др.

Конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества является основным материалом для строительства металлических конструкций, а также используется для изготовления различных деталей машин.

Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества могут иметь и другие назначения. Например, углеродистая сталь для мостостроения (ГОСТ 6713—53) предназначена для изготовления сварных и клепаных конструкций. Эту сталь выплавляют в мартеповских печах и поставляют с гарантированными химическим составом и механическими свойствами.

К углеродистой стали для мостостроения относят мартеповскую кипящую и спокойную сталь Ст. 3 мост. Ее используют в виде сортового проката и толстолистовой и широкополосной стали для изготовления клепаных мостовых конструкций. Сталь М16С используют также в виде сортового проката для изготовления ответственных сварных конструкций мостов.

Значительный удельный вес имеет углеродистая сталь для судостроения, которую в зависимости от назначения разделяют на две группы: 1) для изготовления корпусов морских судов; 2) для изготовления корпусов речных судов (ГОСТ 5521—50).

К первой группе относят стали Ст. 1С, Ст. 2С, Ст. 3С, Ст. 4С, Ст. 4Ф, Ст. 4Л, Ст. 5С и Ст. 5С пов. Ко второй группе относят Ст. 2, Ст. 3, Ст. 4, Ст. 4Ф, Ст. 5 и Ст. 5С пов.

Углеродистую сталь для судостроения поставляют в виде листовой, широкополосной и сортовой стали с отклонениями по толщине только в меньшую сторону с весьма жесткими допусками. Кроме того, листы и профили проверяют по массе. Чтобы удовлетворить эти требования, необходимо тщательное соблюдение всех операций технологического процесса прокатки этой стали.

Углеродистую сталь применяют также для изготовления котлов, топков, котельных связей и анкеров.

Большой удельный вес имеет углеродистая сталь, предназначенная для прокатки изделий железнодорожного транспорта.

Одним из важнейших изделий для железнодорожного транспорта являются рельсы, которые прокатывают из раскисленной спокойной углеродистой мартеповской и бессемеровской стали.

К сталям для железнодорожного транспорта относят также стали для изготовления бандажей, колес, рельсовых скреплений, осей и др.

К качественной конструкционной углеродистой стали относят стали 05, 08, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 с нормальным содержанием марганца и стали 15Г, 20Г, 30Г, 40Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г, 10Г2, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2 с повышенным содержанием марганца (ГОСТ 1050—52).

Малоуглеродистые стали 08 и 10 хорошо штампуются в холодном состоянии; их широко применяют в автотракторной промышленности. Стали 15, 20, 25, 30, 35 применяют для изготовления различных деталей в автотракторостроении, авиастроении и общем машиностроении. Стали 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 применяют для изготовления деталей повышенной и высокой прочности.

Качественную конструкционную углеродистую сталь с повышенным содержанием марганца применяют в авиастроении и автотракторостроении (для заклепок, шестерен, рессор, осей, пружин и др.) и в других отраслях промышленности.

К качественной конструкционной углеродистой стали относят также автоматную сталь (ГОСТ 1414—54), имеющую повышенное содержание серы. Эта сталь предназначена для обработки на быстроходных автоматах. Структура стали отличается резко выраженной полосчатостью, являющейся следствием газовой и дендритной ликвации, а также наличия сульфидных включений. Такая структура способствует получению ломкой, короткой, легко отделяющейся от поверхности стружки, особенно после протяжки в холодном состоянии. Поверхность изделия получается гладкой и чистой. Стойкость инструмента повышается. Автоматную сталь применяют для изготовления винтов, болтов и гаек, для изготовления сложных тонкостенных и особенно трудных для обработки частей автомобилей, счетных и пишущих машин, для точного машиностроения и приборостроения.

К конструкционным легированным сталям относят следующие стали: хромистую (15Х — 40Х и др.), хромомарганцевую (18ХГ — 40ХГ и др.), хромокремнистую (33ХС, 38ХС, 40ХС), хромомолибденовую (15ХМ, 30ХМ, 35ХМ,), хромованадиевую (15ХФ, 20ХФ, 40ХФА), хромоникелевую (20ХН — 50ХН, 12ХН3А, 12ХН2, 20ХН3А и др.), хромокремнемарганцевую (20ХГСА — 35ХГСА), хромоникелевольфрамовую (30ХНВА, 38ХНВА, 40ХНВА, и др.), хромоникелемолибденовую (40ХНМА), хромоникелевольфрамованадиевую (30ХН2ВФА, 30ХН2ВФА, 38ХН3ВФА) и др. Эти стали применяют в различных отраслях промышленности для изготовления деталей машин и оборудования. Химический состав сталей приведен в ГОСТ 4543—61.

К конструкционным легированным сталям относят также шарикоподшипниковую сталь (ШХ6, ШХ9, ШХ10, ШХ15, ШХ15СГ), химический состав которой приведен в ГОСТ 801—47, 808—49. Эти стали применяют для изготовления шариков, роликов и колец.

К прокатываемым инструментальным сталям относят углеродистые стали (У7—У13), химический состав которых приведен в ГОСТ 1435—54, и легированные стали: хромистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцевая, хромованадиевая, хромовольфрамовая, хромовольфрамомарганцевая, хромоникелемолибденовая, быстрорежущая и др. Все эти стали применяют для изготовления режущих инструментов, калибров, матриц, пуансонов, штампов и др. Химический состав сталей приведен в ГОСТ 5950—51.

В последние годы все больше прокатывают специальные стали, к которым, в частности, относят нержавеющую кислотостойкую, окислительно-

стойкую, жаропрочную (ГОСТ 5632—51) и другие стали, обладающие какими-либо специальными свойствами.

Основные задачи при производстве готового проката следующие:

1) получение проката заданных размеров и формы в максимально возможном количестве и с наименьшими затратами;

2) получение проката высокого качества, которое характеризуется не только его физико-механическими свойствами, но и состоянием поверхности.

Эти задачи могут быть выполнены только при точном соблюдении режима всех технологических операций производства проката данного вида.

Число операций, входящих в технологический процесс прокатки, зависит от требований, предъявляемых к точности профиля, физико-механическим свойствам, состоянию поверхности, макро- и микроструктуре. Чем выше эти требования, тем сложнее и из большего числа операций состоит технологический процесс.

Основные операции технологического процесса прокатного производства следующие: 1) подготовка исходных материалов к прокатке, 2) нагрев этих материалов перед прокаткой, 3) прокатка, 4) отделка, включая резку, охлаждение, правку, удаление поверхностных дефектов и др.

Подготовка исходных материалов к прокатке заключается в удалении различных поверхностных дефектов. Эта операция является весьма важной, особенно при прокатке качественной углеродистой и легированной стали, так как обеспечивает высокий выход годного и требуемое качество проката.

Весьма важное значение для качества готового проката имеют: соблюдение режимов нагрева металла перед прокаткой, определение температуры начала и конца прокатки и установление оптимального режима обжатий.

Режим охлаждения металла после прокатки во многих случаях является весьма ответственной операцией, так как нарушение его может привести к получению готового проката с пороками в виде флокенов и трещин или с неудовлетворительными свойствами.

На рис. 8 приведены основные схемы производства проката в современных цехах. Эти схемы в настоящее время применяют при производстве углеродистой и легированной стали.

Контроль технологического процесса и качества готового проката имеет большое значение.

Одним из видов контроля в современных прокатных цехах является плавочный, на основании которого определяют качество стали и назначают плавку для прокатки. Объем этого контроля зависит от требований, предъявляемых к стали конкретной марки.

Плавочный контроль начинается в сталеплавильном цехе, в котором отбирают пробы для определения среднего химического состава стали каждой плавки. Обычно от каждого ковша отбирают две пробы. Вторая проба нужна для дополнительного контроля химического анализа, который проводят в случае необходимости проверки содержания отдельных элементов или если это оговорено специальными требованиями заказа. В некоторых случаях пробы для этого анализа отбирают в прокатном цехе от заготовки или готового проката.

В последнее время для определения содержания ряда элементов в стали применяют спектральный анализ, являющийся одним из наиболее распространенных современных физических методов определения химического состава стали и сплавов.

Дальнейший плавочный контроль может предусматривать определение качества плавки (по макро- и микроструктуре и продольному излому), величины зерна в стали, механических свойств, чувствительности стали к закалке и другие испытания. Для этого отбирают один-два

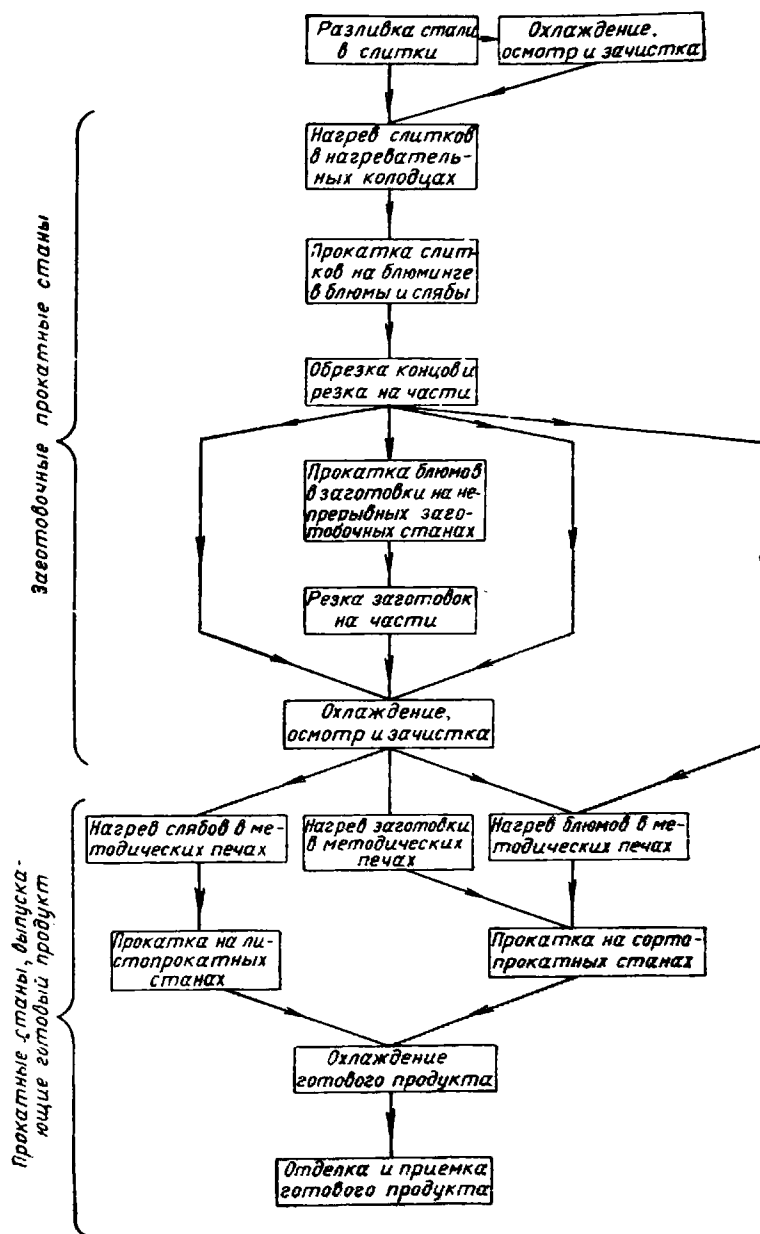


Рис. 8. Схемы производства готового проката из слитка в современных прокатных цехах

контрольных слитка. В последнем случае один слиток должен быть от первого сифона, а второй — от последнего. Контрольные слитки высококачественных сталей отбирают от каждого сифона. Эти слитки прокатывают в заготовки (иногда в готовый прокат) отдельно или со слитками всей плавки.

Пробы для испытаний плавочного контроля отбирают от прокатанной полосы, соответствующей головной части контрольного слитка. В отдельных случаях отбирают пробы от прокатанных полос, соответствующих разным местам слитка по высоте, например верхней, средней и нижней его частям.

Макроструктура стали позволяет обнаружить газовые пузыри, усадочную рыхлость, флокены, пористость, ликвацию, волосовины и другие дефекты. Дефекты макроструктуры оценивают по эталонным шкалам.

Продольный излом образцов позволяет судить о шиферности и величине зерен в стали, обнаружить расслоение, усадочную рыхлость, пористость, включения, камневидный излом, нафталинистый излом и другие дефекты, видимые невооруженным глазом.

Микроструктура стали позволяет определять неметаллические включения, величину зерен в стали, глубину обезуглероженного слоя и др.

Другой вид контроля — контроль технологического процесса прокатного производства. Этот контроль проводится с целью обеспечения высокого качества готового проката и предотвращения брака в процессе производства. Следовательно, он должен обеспечить правильный режим нагрева исходных материалов, правильный режим обжатия при прокатке данного профиля в пределах допусков и правильную отделку готового проката.

Маркировку исходных материалов проверяют на складе перед посадкой их в нагревательные устройства; иногда марку стали контролируют на «искру». При обработке стали наждачным кругом образуются искры различной формы и цвета в зависимости от химического состава.

При посадке горячих слитков в нагревательные колодцы необходимо замерять температуру для предотвращения появления на слитках термических трещин. Обычно в технологических инструкциях приведены минимальная допустимая температура поверхности слитков и максимальная температура нагревательных колодцев. Режимы нагрева слитков и горения топлива контролируют контрольно-измерительной аппаратурой.

При прокатке прежде всего контролируют температуры начала и конца прокатки и режим обжатия полосы. В процессе прокатки проверяют настройку валков по профилю проката, состояние калибров и валковой арматуры. В последнее время большое внимание уделяют определению давления металла на валки и крутящих моментов при прокатке с помощью месдоз и специальных приборов, что позволяет правильно и полнее использовать мощности прокатных станов.

Механизация и автоматизация станов позволяет значительно увеличить скорость прокатки, особенно на непрерывных станах, и обуславливает применение наиболее современной контрольно-измерительной аппаратуры. Например, большая скорость при холодной прокатке листовой стали на непрерывных станах оказалась возможной после создания приборов для бесконтактного измерения толщины полос. К таким приборам относят, например, лучевые измерители толщины полосы, использующие γ - и β -излучения. В качестве источников излучения применяют изотопы радиоактивных элементов. Эти приборы через особые системы регулирования толщины полосы воздействуют на нажимные винты и натяжение полосы. В последнее время для управления станами используют вычислительную технику и телевидение.

Большое внимание уделяют также контролю качества поверхности проката. Для этого осматривают пробы, отбираемые регулярно от прокатанных полос. Иногда пробы подвергают травлению и после этого

осматривают. Основной контроль поверхности проводится перед зачисткой проката.

Для выявления дефектов в последнее время применяют ультразвуковые дефектоскопы. Кроме того, успешно проведены опыты по применению непрерывной γ -дефектоскопии блюмов в потоке и начинают применять автоматическую сортировку листовой стали по толщине.

Технологический процесс производства проката контролируют на всех стадиях. Так, при резке блюмов контролируют удаление усадочной раковины и рыхлости, при резке готового проката — правильность резки на мерные длины, при замедленном охлаждении прокатанного металла — режим охлаждения и т. д.

При передаче проката в термический, калибровочный и другие цехи осуществляется межцеховой контроль. Объем этого контроля зависит от химического состава стали, ее назначения, принятой на заводе технологии и предусмотрен внутриводскими техническими условиями.

В задачу конечного контроля в прокатных цехах входит определение качества готового проката, соответствие его действующим стандартам, техническим условиям и отдельным требованиям. Объем конечного контроля зависит от химического состава стали, ее назначения и требований, предъявляемых к ней.

К конечному контролю можно отнести химический анализ, определение механических свойств и качества стали по макро- и микроструктуре, магнитные испытания и др.

Для определения механических свойств применяют испытания на разрыв, изгиб, кручение, твердость и ударную вязкость.

Большое значение для проверки качества готового проката имеют технологические пробы на загиб в холодном и нагретом состоянии, осадку в холодном состоянии, перегиб, сплющивание, навивание проволоки, двойной кровельный замок, скручивание проволоки, а также испытания гидравлического давления труб и др.

Г л а в а II

ПРОИЗВОДСТВО БЛЮМОВ И СЛЯБОВ

1. СОРТАМЕНТ

Крупные заготовки — блюмы и слябы — являются полупродуктом, предназначенным для дальнейшей прокатки на различных станах [I. 7, 10; III. 7, 10].

Заготовки квадратного или близкого к нему сечения, прокатываемые на блюмингах, называют блюмами.

Сортамент блюмов приведен в ГОСТ 4692—57. Наибольшее сечение блюмов 450×450 мм, наименьшее 140×140 мм. В основном эти блюмы применяют в качестве исходного материала на крупносортовых станах для прокатки крупных профилей сортовой стали и на заготовочных станах для прокатки заготовок требуемых размеров.

Квадратное сечение блюмов обеспечивает хорошее проталкивание их через методические печи сортовых станов и безопасную укладку в штабеля на складах заготовки. Кроме того, оно является наиболее подходящим исходным сечением при прокатке различных профилей.

В отдельных случаях на блюминге прокатывают фасонные заготовки для крупных балок, швеллеров и других фасонных профилей.

Заготовки прямоугольного сечения с отношением ширины к толщине, равным примерно 3—12, называют слябами и прокатывают их на слябингах и блюмингах. Необходимый сортамент слябов определяется листовыми станами, где их применяют в качестве исходного материала для горячей прокатки листовой стали. Наибольшая толщина слябов достигает 350 мм, а наибольшая ширина 2000 мм.

2. БЛЮМИНГИ И СЛЯБИНГИ [III.3—6]

В зависимости от сортамента блюмов, производительности, схемы прокатки и расположения оборудования блюминги можно разделить на одноклетевые дуо-реверсивные и многоклетевые. К последним относят двухклетевые дуо-реверсивные и непрерывные блюминги.

Наибольшее распространение в качестве заготовочных станов для прокатки блюмов и слябов получили одноклетевые дуо-реверсивные блюминги. В зависимости от диаметра эти блюминги условно можно разделить на три группы: 1) большие ($D = 1100 \div 1300$ мм и более); 2) средние ($D = 900 \div 1000$ мм); 3) малые ($D < 900$ мм).

Оборудование этих блюмингов отличается в основном только размерами и производственными характеристиками.

Наибольшее распространение получили дуо-реверсивные блюминги с вальками диаметром 1150 мм (рис. 9). Такие станы предназначены для прокатки блюмов 200×200 — 350×350 мм и слябов шириной до 1600 мм и толщиной 100—250 мм.

Исходным материалом для блюмингов 1150 являются слитки массой 5—10 т и более, а при прокатке слябов — до 20 т.

Оборудование блюминга 1150 расположено в трех параллельных пролетах (рис. 9). Первый пролет представляет собой изолированное

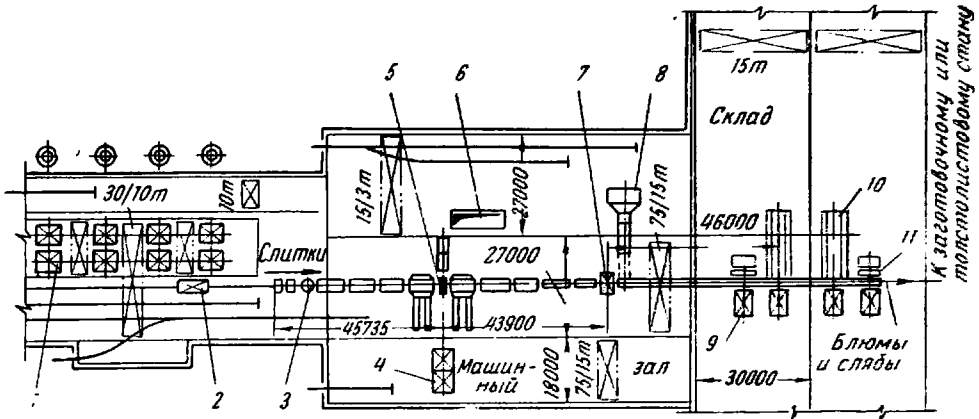


Рис. 9. Схема расположения оборудования блюминга 1150:

1 — нагревательные колодцы; 2 — слитковоз; 3 — поворотный стол для слитков; 4 — главные электродвигатели; 5 — рабочая клетка; 6 — яма для окалины; 7 — ножницы; 8 — конвейер для обрезков; 9 — сталкиватели; 10 — холодильник для блюмов; 11 — подъемный стол-укладчик для слябов

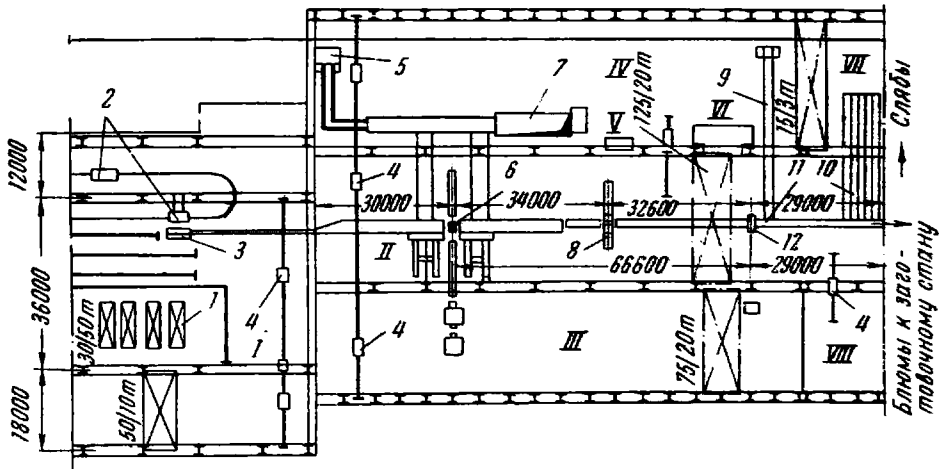


Рис. 10. Схема расположения оборудования блюминга 1300:

1 — пролет нагревательных колодцев; II — пролет стана; III — электромашинный зал; IV — скрапный пролет; V — помещение для регулирующей аппаратуры машины огневой зачистки; VI — насосно-аккумуляторная станция; VII — склад слябов; VIII — электромашинный зал непрерывного заготовочного стана; 1 — нагревательные колодцы; 2 — слитковозы; 3 — приемный ролик с боковым сталкивателем слитков; 4 — тельфер; 5 — бункер для окалины; 6 — рабочая клетка; 7 — яма для окалины; 8 — машина огневой зачистки; 9 — транспортер для обрезков; 10 — транспортер для слябов; 11 — ролик для подачи блюмов к непрерывному заготовочному стану; 12 — ножницы

помещение электромашинного зала, в котором установлено электрооборудование стана: электродвигатели, преобразователи, возбудители, панели управления и др. Во втором пролете расположены все механизмы стана. Третий пролет, называемый скрапным, предназначен для уборки окалины от стана и обрезков от ножниц.

В последнее время для блюмингов 1150 применяют индивидуальный привод валков. Преимущества индивидуального привода валков

следующие: 1) отсутствие шестеренной клетки, 2) отсутствие потерь электроэнергии и эксплуатационных расходов на шестеренную клетку, 3) более плавная работа шпинделей вследствие отсутствия шестеренной клетки, 4) более простая конструкция электродвигателей, 5) меньший суммарный маховый момент.

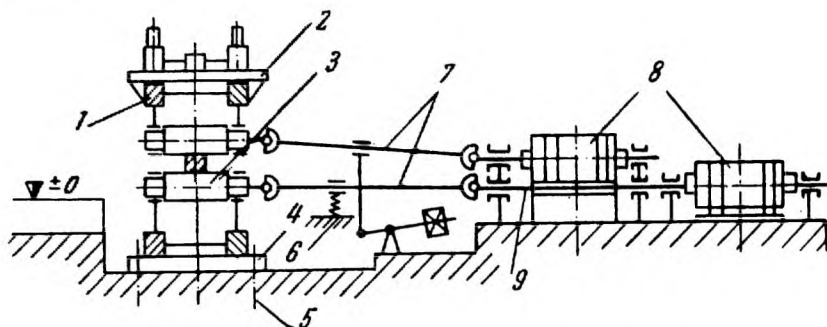


Рис. 11. Схема рабочей линии блюминга 1300:

1 — станна, 2 — рабочая клетка; 3 — валки; 4 — плитовины; 5 — фундаментные болты; 6 — устройство для уравнивания шпинделей; 7 — универсальные шпиндели; 8 — главные электродвигатели; 9 — промежуточный вал

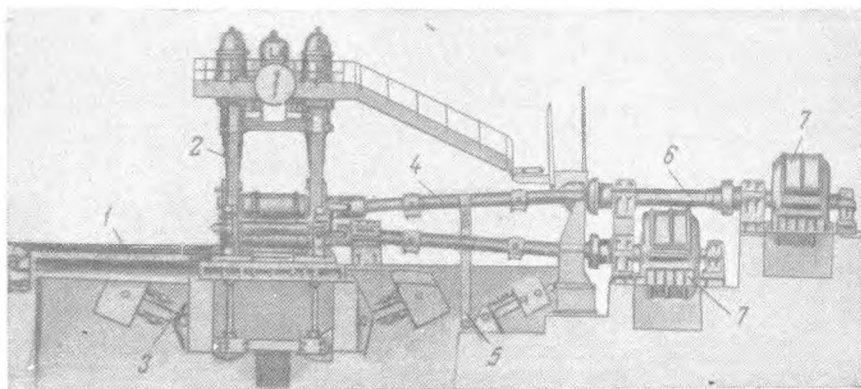


Рис. 12. Общий вид рабочей линии блюминга 1150:

1 — устройство для смены валков; 2 — рабочая клетка; 3 — устройство для уравнивания верхнего валка; 4 — универсальный шпиндель; 5 — устройство для уравнивания верхнего шпинделя; 6 — промежуточный вал; 7 — главный электродвигатель

Валки блюминга 1150, приведенного на рис. 9, вращаются от двух электродвигателей каждый мощностью 4045 квт и числом оборотов 0—50—120 в минуту. Электродвигатели каждого валка некоторых таких блюмингов имеют мощность 4413 квт и число оборотов 0—40—80 или 0—40—100 в минуту.

За блюмингом установлены ножницы для обрезки концов раската и резки на мерные длины. На ножницах с подвижными ножами процесс резания происходит снизу вверх. Максимальное усилие резания ножниц равно 16 Мн (1600 тс).

Современный мощный автоматизированный одноклетевой блюминг 1300 (рис. 10) имеет производительность 5,5—6,0 млн. т слитков в год.

Блюминг 1300 предназначен для прокатки блюмов $300 \times 300 \rightarrow 370 \times 370$ мм и небольшого количества слябов толщиной 100—200 мм и

шириной 700—1000 мм. Масса прокатываемых слитков равна 10—18 т

На рис. 11 показана схема рабочей линии блюминга 1300, состоящая из рабочей клетки, универсальных шпинделей и двух электродвигателей каждый мощностью 6800 квт и числом оборотов 0—60—90 в минуту. Для улучшения обслуживания обоих двигателей мостовым краном они в отличие от блюминга 1150 (рис. 12) расположены последова-

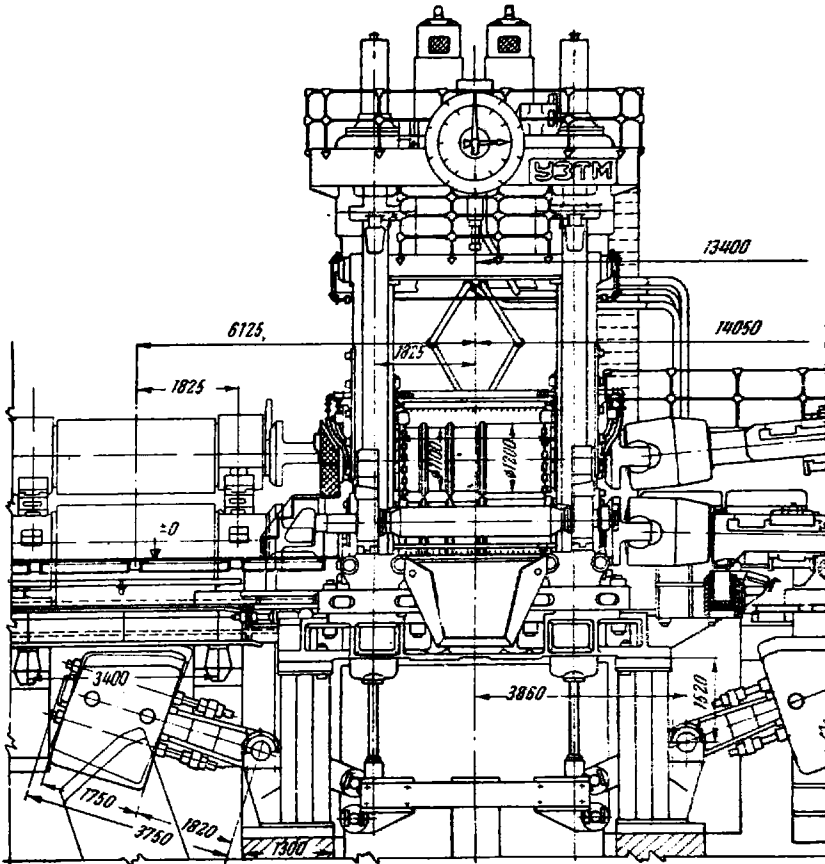


Рис. 13. Рабочая клетка блюминга 1300

тельно так, что приводной вал нижнего электродвигателя проходит под верхним.

Рабочая клетка (рис. 13) является основным оборудованием стана, так как в ней осуществляется процесс прокатки. Она состоит из двух стальных станин закрытого типа, валков с подушками и устройством для их установки, станинных роликов и устройства для смены валков.

Станины рабочей клетки представляют собой массивные стальные отливки массой 105 т каждая, установленные на две плитовины. Последние опираются на две сварные поперечные рамы; средняя часть плитовин и сварные рамы опираются на фундамент. Вверху и внизу станины соединены между собой стяжными болтами, находящимися внутри распорных труб.

Валки блюминга 1300 (диаметр $D=1300$ мм и длина бочки $L=2800$ мм) изготовлены из ковanej хромоникелевой стали и установлены в цельнопрессованных текстолитовых подшипниках. Для валков блюминга наиболее рациональное отношение $L/D=2,1 \div 2,7$.

Валки должны обладать большой прочностью (твердость не имеет большого значения), поэтому их изготавливают из литой или ковanej углеродистой стали с большой вязкостью. Такие валки хорошо сопротивляются изгибу при прокатке.

Чтобы улучшить условия захвата металла при прокатке и повысить усталостную прочность валков, калибры их обкатывают рифлеными роликами с определенным усилием.

Для увеличения стойкости шеек валков, работающих на текстолитовых подшипниках, применяют поверхностную закалку.

Допустимая величина переточки ограничивается прочностью валков. Практически уменьшение диаметра валков блюмингов и слябингов допускают в пределах 10—12% номинального диаметра. В последнее время срок службы валков увеличивают при помощи электронаплавки. По данным одного из отечественных заводов, эти мероприятия позволили перетачивать валки 14 раз и прокатать на них 1,2—1,5 млн. т слитков. При прокатке низкоуглеродистой стали бочки валков обильно поливают водой.

Подушки с цельнопрессованными текстолитовыми вкладышами, установленные на блюминге 1300, показаны на рис. 14.

В окнах станин прикреплены направляющие планки, по которым перемещаются верхние подушки. Нижние подушки установлены неподвижно; после переточки валков под подушки подкладывают сменные прокладки для сохранения линий прокатки на постоянной отметке (+970 мм).

Осевые усилия от верхних подушек воспринимают массивные планки, прикрепленные с наружной стороны каждой стойки станины. Таким образом, верхние подушки не имеют буртов с внутренней стороны (как на блюмингах 1150), что облегчает их смену через окно станины. Осевые усилия от нижних подушек воспринимают боковые планки; при смене нижнего валка с подушками планки сдвигают в сторону, так как отверстия в них для болтов имеют овальную форму. В корпусе каждой подушки имеется кассета с двумя отверстиями в приливах для болтов, соединяющих ее с подушкой. Нижняя часть кассеты верхней подушки и верхняя часть нижней подушки соединены с основными кассетами при помощи болтов. Во всех кассетах имеются текстолитовые вкладыши для восприятия радиальных и осевых усилий. Смена нижнего валка с подушками и верхнего валка с кассетами (подушки остаются подвешенными к нажимным винтам, имеющим бурты на концах) осуществляется специальным устройством с цепным приводом.

На блюмингах и слябингах после каждого прохода полосы во время пауз верхний рабочий валок опускается на величину обжатия при последующем проходе. Перед началом прокатки слитка верхний валок обычно устанавливают в крайнем положении; в этом случае раствор между валками будет наибольшим.

Верхний валок в вертикальной плоскости устанавливают специальным механизмом, называемым нажимным устройством.

Для уменьшения паузы при прокатке перемещение верхнего валка должно осуществляться с большей скоростью. Скорость установки верхнего валка обжимных станов, равная скорости поступательного перемещения нажимных винтов, приведена в табл. 1.

На современных блюмингах и слябингах применяют нажимные устройства с приводом от электродвигателей двух типов: 1) через червячные редукторы от двигателей, расположенных горизонтально; 2) через цилиндрические редукторы от двигателей, расположенных вертикально.

Как правило, быстроходные установочные механизмы имеют при-

Таблица 1

Скорость установки верхнего вала обжимных станов

Стан	Высота подъема вала, мм	Скорость установки вала, мм/сек
Блюминг 1150—1300	1500—1800	125—250
» 1000—1100	1000—1300	100—200
» до 1000	900—1200	90—180
Слябнг 1150	До 2000	125—250

вод от двух электродвигателей. В этом случае маховой момент (GD^2) двух электродвигателей каждый половинной мощности всегда меньше махового момента одного электродвигателя суммарной мощности. Чем меньше маховой момент электродвигателей, тем меньше нужно времени

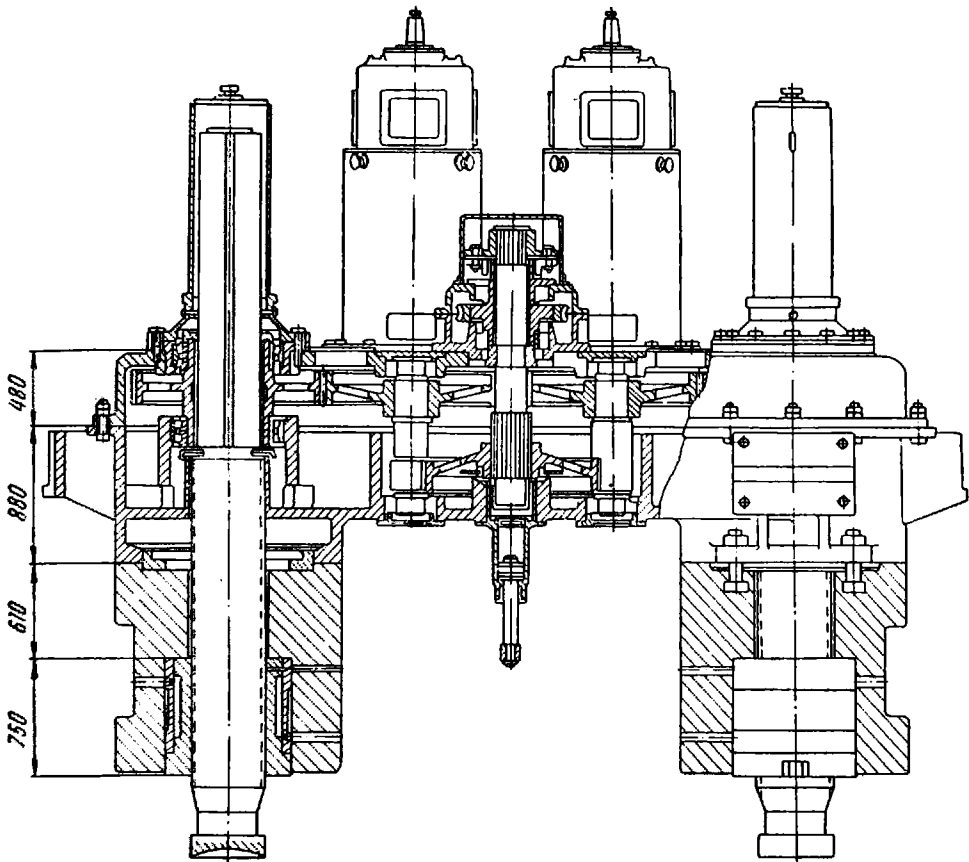


Рис. 15. Нажимное устройство блюминга 1300

на их разгон, т. е. тем быстрее будут установлены валки. В случае выхода из строя одного электродвигателя не исключена возможность работы второго.

На рис. 15 приведен общий вид нажимного устройства блюминга 1300. Литой стальной корпус нажимного устройства закреплен на станинах рабочей клетки. В нем установлена горизонтальная косозубая цилиндрическая передача, приводимая двумя вертикальными фланцевыми электродвигателями.

Паразитные шестерни находятся в зацеплении с центральной шестерней, свободно посаженной на ось и соединенной с плунжером гидравлического цилиндра, смонтированного в корпус нажимного устройства и предназначенного для вывода шестерен из зацепления при необходимости раздельной работы одним винтом (правым или левым). При работе стана верхняя полость цилиндра заполнена маслом, выход которого из него перекрыт, а из нижней полости масло вытеснено в бак, установленный на площадке. Давление масла в гидросистеме [примерно 5 Мн/м^2 (50 ат)] создается насосом, установленным рядом с баком.

В отличие от нажимных устройств такого же типа, установленных ранее, в этом нажимном устройстве винт вместе с гайкой можно сменить при его опускании (в окно станины). Кроме того, для предотвращения самоотвинчивания нажимных винтов (при прокатке) предусмотрен специальный червячный механизм на промежуточной шестерне.

Привод стрелок указателя раствора валков кинематически связан с приводом нажимных винтов.

Привод нажимного устройства осуществляется от двух фланцевых вертикальных электродвигателей постоянного тока каждый мощностью 300 кВт и числом оборотов $750/1000$ в минуту.

Смазка жидкая, циркуляционная. Нажимной винт имеет наружный диаметр 480 мм , двухзаходную резьбу с шагом $32 \times 2 = 64 \text{ мм}$. Передаточное отношение от электродвигателя к нажимному винту равно $i = 4,8$. Скорость перемещения винтов равна 200 мм/сек .

Конструкция этого нажимного устройства имеет значительные преимущества: отсутствуют быстроизнашивающиеся червячные передачи; отсутствуют соединительные муфты от электродвигателей и муфты переключения; меньшая возможность самоотвинчивания винтов; увеличена мощность двигателей, что обеспечивает повышение производительности стана за счет возможного повышения скорости перемещения нажимных винтов и соответствующего уменьшения пауз.

Гайку плотно устанавливают в расточке станины и для предотвращения проворачивания ее закрепляют одной или двумя шайбами (рис. 15). Для уменьшения трения в резьбе и износа гайки нажимных винтов имеют подвод густой смазки, а также подвод воды для наружного охлаждения.

Автоматизация управления нажимным устройством обеспечивает точное перемещение верхнего вала в соответствии с заданным режимом обжатия слитка по проходам. Автоматическая схема управления блоком состоит из электронного счетного устройства и следящей системы [VII. 10, 12].

Счетное устройство предназначено для счета проходов металла через валки и работает от импульса реле направления вращения, тока главного двигателя и реле двигателей нажимного устройства. Эти реле обеспечивают четкую подачу импульсов в счетное устройство и правильный счет проходов. В счетном устройстве имеется несколько реле счетов. После каждого прохода металла через валки срабатывает очередное реле счета, а после последнего прохода реле окончания счета приводит счетное устройство в исходное положение.

Счетное устройство производит переключение следящей системы привода нажимных винтов в соответствии с заданной программой обжатий. Следящая система состоит из следующих элементов:

- 1) датчика положения верхнего вала — следящего потенциометра С.П.,
- 2) программного устройства П.П. (программного потенциометра), ко-

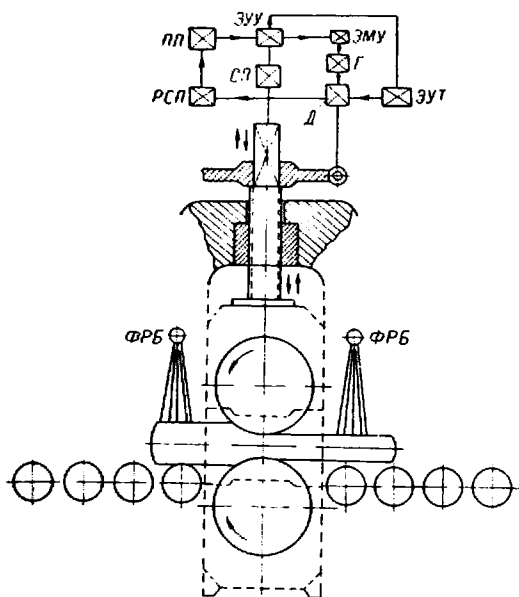
торое позволяет последовательно изменять обжатия в соответствии с заданной программой;

3) электронного усилительного устройства ЭУУ, которое усиливает разность напряжений задаваемых сельсин-датчиком и программным устройством;

4) исполнительного устройства (электронный усилитель ЭМУ, генератор Г и двигателя Д нажимного устройства);

5) электронного счетно-решающего устройства предварения торможения ЭУТ, которое переводит двигатели нажимного устройства в тормозной режим.

При вращении нажимных винтов ползунок реохорда следящего потенциометра СП перемещается



Р и с. 16. Схема автоматизации нажимного устройства

При подходе слитка к валкам засвечивается ближнее ФРБ и включается главный двигатель. После захвата металла валками срабатывает реле счета проходов РСР в цепи программного потенциометра ПП; при этом появляется напряжение рассогласования в следящей системе СП, которое усиливается электронным усилительным устройством ЭУУ. По выходе конца слитка из поля ближнего ФРБ замыкается обмотка ЭМУ, по которой протекает ток, и включается генератор; двигатели привода нажимных винтов производят перемещение верхнего валка. Одновременно с нажимными винтами двигается ползунок реохорда следящего потенциометра СП, уменьшая напряжение рассогласования следящей системы. При этом необходимый момент для начала торможения двигателей нажимного устройства и их остановку (после заданного программой перемещения верхнего валка) определяет счетно-решающее электронное устройство предварения торможения двигателей.

Рабочие клетки блюмингов имеют станинные ролики с передней и задней сторон (по одному или по два с каждой стороны).

Назначение станинных роликов — задавать полосу в валки со ско-

одновременно с винтами, изменяя величину напряжения, снимаемого с потенциометра СП; последнее будет пропорционально перемещению верхнего валка.

Программный потенциометр ПП состоит из последовательно соединенных катушек равного сопротивления, имеющих штепсельные гнезда. Переход с одного гнезда на другое соответствует перемещению верхнего валка на 5 мм. Набор требуемой программы обжатий производится при помощи штепселей, вставляемых в гнезда.

Автоматика привода двигателей нажимных винтов работает только при включенной автоматике управления главного привода вращения валков.

Порядок работы автоматики нажимного устройства следующий (рис. 16).

ростью, близкой к их окружной скорости, и принимать ее из валков с той же скоростью, с какой полоса выходит.

Привод роликов на всех новых обжимных станах осуществляется непосредственно от индивидуальных электродвигателей.

Большое внимание на блюмингах и слябингах уделяют уборке окалины, которая скопляется под валками и частично под рольгангами. Наилучшим способом уборки окалины является гидравлический, при котором окалина смывается водой.

Для передачи вращения от электродвигателей валкам блюмингов и слябингов применяют универсальные шпиндели (рис. 17), расстояние между которыми может изменяться в широких пределах. В основу конструкции универсальных шпинделей положен принцип ширнира Гука, благодаря чему шпиндели могут передавать вращение при угле наклона оси их шарнира до $8-10^\circ$.

Универсальные шпиндели применяют для привода валков блюмингов, слябингов, толстолистовых и среднелистовых станов. Так как на этих станах прокатывают слитки или слябы большого сечения, расстояние между валками при прокатке изменяется в больших пределах.

С передней и задней сторон блюминги и слябинги оборудованы рольгангами, которые предназначены для подачи слитков к валкам, перемещения раската назад и вперед в процессе прокатки, транспортировки раската к ножницам и от них на склад. В соответствии с выполняемыми операциями различают рольганги следующих типов: приемные, рабочие и транспортные.

На блюмингах и слябингах слитки спокойной стали из отделения нагревательных колодцев поступают на приемный рольганг головным концом вперед. Как правило, слиток спокойной стали задают в валки донным концом. Для поворота слитков применяют устройства двух типов — поворотные столы и поворотные захваты.

После опрокидывания слитка, подаваемого слитковозом 1 (рис. 18) на первые ролики приемного рольганга от импульса фотореле $\Phi P1$, включается двигатель привода рольганга 2 и слиток движется к поворотному столу 3. При поступлении слитка на поворотный стол фотореле $\Phi P2$ отключает двигатель рольганга, а фотореле $\Phi P3$ (или рычажный флажок) включает двигатель поворотного стола.

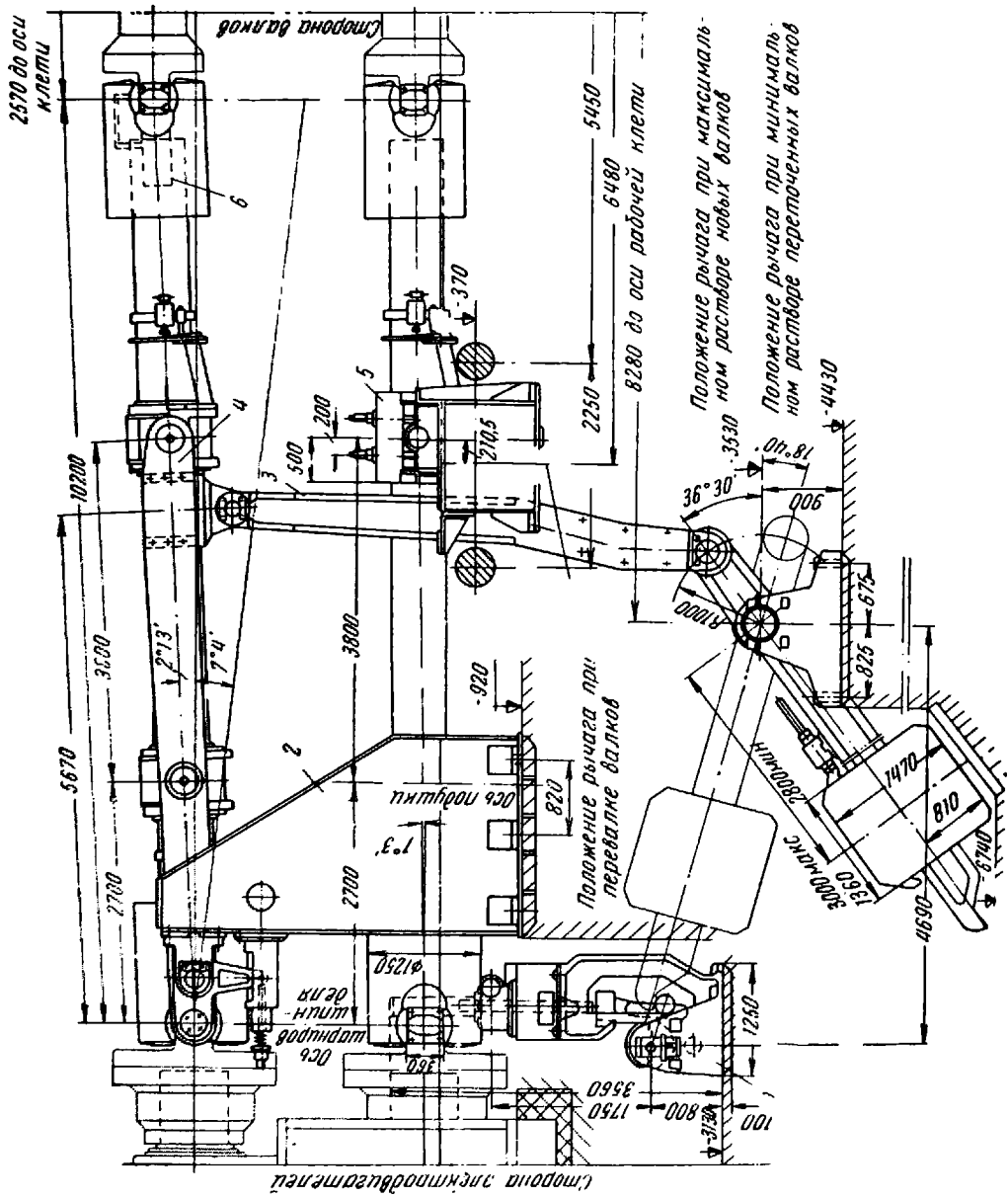
Остановка двигателя поворота стола (после поворота его на 180°) производится конечным выключателем KB рычажного типа. При этом автоматически включается двигатель привода роликов рольганга, расположенных на столе, слиток сходит со стола на подводящий рольганг, включаемый одновременно с приводом роликов стола.

Остановка слитка на подводящем рольганге 4 осуществляется от импульса фотореле $\Phi P4$. Дальнейшая транспортировка слитка по рольгангам 4, 6, 7 к стану 8 производится оператором с пульта управления 5 ПУ-2.

Для перемещения раската от калибра к калибру применяют манипуляторы с обеих сторон рабочей клетки. Линейки манипулятора выпрямляют раскат в случае его искривления при прокатке.

Для кантовки раската на 90° перед задачей его в другой калибр применяют кантователь, который обычно устанавливают только с передней стороны рабочей клетки, т. е. со стороны пульта управления станом, поэтому полосу кантуют перед нечетными проходами. В некоторых случаях (при прокатке легированных сталей) кантователи устанавливают с обеих сторон рабочей клетки.

Автоматизация управления главным двигателем блюминга обеспечивает: 1) реверсирование валков, 2) повышение скорости вращения



Р и с. 17. Шпиндельное устройство слябинга 1150:
 1 — механизм подвешивания груза;
 2 — стойка амортизатора;
 3 — механизм уравновешивания верхнего шпинделя;
 4 — узел верхних подушек;
 5 — передняя стойка нижнего шпинделя;
 6 — универсальный шпиндель

двигателя после захвата металла валками, 3) снижение скорости вращения двигателя в случае буксования валков в момент захвата металла, 4) управление скоростью выхода металла из валков для сокращения пути при обратной подаче слитка в валки, 5) отключение двигателя при максимальной его перегрузке с возможностью последующего его включения.

В зависимости от массы и формы слитка и заданного режима обжатий автоматическое управление главным двигателем может изменяться оператором на пульте управления перестановкой программного переключателя.

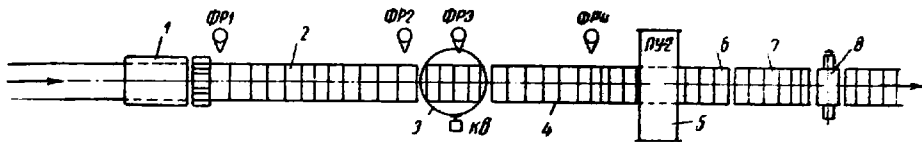


Рис. 18. Схема автоматизации рольгангов и поворотного стола

У рабочей клетки блюминга (рис. 19) установлены следующие фотореле: ближние ФРБ и дальние ФРД с каждой стороны клетки и осевые

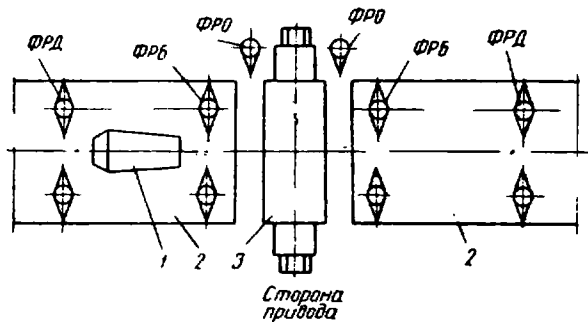


Рис. 19. Схема автоматизации процесса прокатки на блюминге

ФРО со стороны, противоположной приводу валков. Ближние ФРБ расположены на расстоянии примерно 700 мм от оси валков и засвечиваются от слитка, проходящего под ними; дальние ФРД засвечиваются от слитка, находящегося на расстоянии примерно 2500 мм от оси валков. Осевые ФРО установлены сбоку рабочей клетки и направлены параллельно длине бочки валков; они засвечиваются от металла, находящегося на расстоянии примерно 300—400 мм от оси валков.

Кроме перечисленных фотореле, имеются также реле статического тока, являющиеся индикатором наличия металла в валках, напряжения главного генератора, счета проходов и др.; эти реле на рис. 19 не показаны.

Включение автоматического управления главным двигателем производится оператором на посту управления нажатием кнопки «Вкл».

До подхода слитка 1 по рольгангу 2 к валкам 3 скорость вращения двигателя регламентируется напряжением генератора (в пределах 12—15 об/мин в зависимости от принятого режима обжатий). При подходе слитка к валкам засвечиваются осевые ФРО и двигатель автоматически разгоняется до скорости 50 об/мин. Если слиток не будет захвачен

валками, то реле выдержки через 0,3 сек уменьшит скорость двигателя до 12—15 об/мин, что необходимо для улучшения условий захвата.

Включение двигателя «Назад» происходит автоматически при засвечивании слитком, выходящим из валков, ближнего ФРБ с противоположной стороны клетя. Перевод двигателя в режим торможения перед реверсом производится при помощи электронного счетно-решающего устройства, которое включается от импульса дальних ФРД. Это устройство определяет длину непрокатанной части слитка с момента начала торможения двигателя.

Когда слиток выйдет из поля одного из заданных фотореле, начинается отсчет длины прокатываемой части слитка с учетом скорости

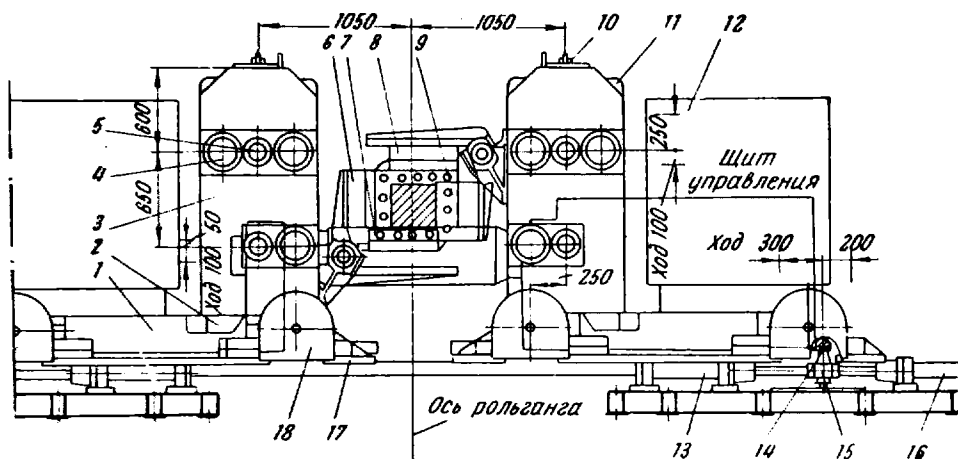


Рис. 20. Машина огневой зачистки блюмов:

1 — каретка; 2 — колонна; 3 — шахта; 4, 5, 18 — катки; 6—9 — газорезущие головки; 10 — гидравлический цилиндр; 11 — груз; 12 — щит управления; 13 — цилиндр обратного действия; 14 — стопор; 15 — пневмоцилиндр; 16 — цилиндр прямого действия; 17 — захваты

прокатки; после определенной выдержки счетно-решающее устройство дает команду на торможение двигателя.

Широкое распространение получают машины огневой зачистки (рис. 20), устанавливаемые в технологическом потоке между станом и ножницами [III. 11].

При машинной огневой зачистке удаление поверхностных дефектов осуществляется сплошным сжиганием поверхностного слоя с двух или четырех сторон раската, не нарушая ритма прокатки.

За рабочей клетью блюмингов и слябингов в технологическом потоке устанавливаются ножницы для резки раската на мерные длины.

Размеры сечений раската, разрезаемого на ножницах, определяются максимальным усилием резания. Ход ножей выбирают с учетом свободного прохода раската максимального сечения под механическим прижимом. Длину ножей ножниц блюмингов принимают равной 2—2,5-кратной ширине блюма наибольшего сечения, а длину ножей ножниц слябингов — на 100—200 мм больше максимальной ширины сляба.

Основные параметры ножниц приведены в ГОСТ 3339—47.

Для выбора ножниц необходимо определить максимальное усилие резания по формуле [I. 4, II. 11]

$$P = k_1 k_2 \sigma_B \frac{F}{1000} \approx 0,8 \sigma_B \frac{F}{1000} \text{ кН (тс)}, \quad (\text{II. 1})$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий повышение усилия резания при затуплении ножей и увеличении зазора между ними (по экспериментальным данным $k_1=1,3$);

k_2 — коэффициент перехода от сопротивления металла резанию к пределу прочности при растяжении (по экспериментальным данным $k_2=0,6$);

F — площадь поперечного сечения разрезаемой полосы, m^2 (mm^2);

σ_b — предел прочности металла при растяжении и температуре, соответствующей температуре резания, n/m^2 (kg/cm^2).

В ГОСТ 3339—47 приведены максимальные сечения полос, разрезаемых при 900 °С. Если резание осуществляется при другой температуре, то необходимо определить максимальное усилие резания по формуле (II.1) и затем выбрать характеристику ножниц по указанному ГОСТу.

Ножницы поперечной резки с параллельными ножами могут быть с верхним и нижним резом.

Ножницы с нижним резом в последнее время получают все большее распространение. В этой конструкции предусмотрено перемещение при резании вверх нижнего ножа от кривошипного или гидравлического привода, а также возможность перемещения в вертикальном направлении верхнего ножа до начала резания. Оба ножа укреплены в суппортах.

Перед началом резания ножи раскрыты и раскат проходит между ними по рольгангу; суппорт нижнего ножа при этом находится ниже поверхности роликов рольганга. Затем опускается суппорт верхнего ножа до соприкосновения с полосой; дальнейшее продвижение верхнего суппорта прекращается и начинает двигаться суппорт нижнего ножа. Отрезаемый конец раската поднимается при этом, оставаясь на нижнем суппорте, и опускается на рольганг при опускании нижнего суппорта.

На рис. 21 представлен общий вид ножниц с нижним резом усилием 20 Мн (2000 тс) для горячей резки слэбов. Ножницы имеют нижний приводной эксцентриковый вал и привод от двух электродвигателей каждый мощностью 880 кВт и числом оборотов 400/750 в минуту через два редуктора с общим передаточным числом $i=35$. Характеристика ножниц: максимальные размеры разрезаемых слэбов 230×1350 и 200×1550 мм; длина ножей 1800 мм; ход ножей 350 мм; перекрытие ножей 15 мм; число ходов в минуту 8,5—12,5; число резов 5—8 в минуту.

Передача вращения и крутящего момента от выходного вала редуктора нижнему эксцентриковому валу ножниц осуществляется универсальным шпинделем с гидравлическим уравниванием.

Литые стальные станины 1 (рис. 21) соединены между собой сварными траверсами. Механизм резания состоит из верхнего 2 и нижнего 3 суппортов с ножами и прижима с гидравлическим приводом. Правильное положение слэба посередине ножей достигается перемещением боковых толкателей при помощи гидравлических цилиндров. Нижний суппорт с эксцентриковым валом уравнивается двумя нижними гидравлическими цилиндрами. Верхний суппорт 2 с боковыми шатунами 4 уравнивается верхними гидравлическими цилиндрами (на рис. 21 не показано). Ножи 5 и сменные планки 6 (предохраняющие суппорт от износа при высокой температуре) закреплены в суппортах при помощи болтов и при работе ножниц непрерывно охлаждаются водой. Верхний суппорт перемещается по направляющим в станинах, а нижний суппорт и прижим — по направляющим верхнего суппорта.

Нижний эксцентриковый вал 7 и ось верхнего суппорта 8 соединены

между собой боковыми шатунами 4 и 9; усилие резания воспринимается этими шатунами и на станину не передается.

Механизм резания уравновешен не полностью, вследствие чего верхний и нижний суппорты всегда стремятся опуститься, поэтому перед резанием нижний суппорт опирается на нижнюю траверсу (через набор

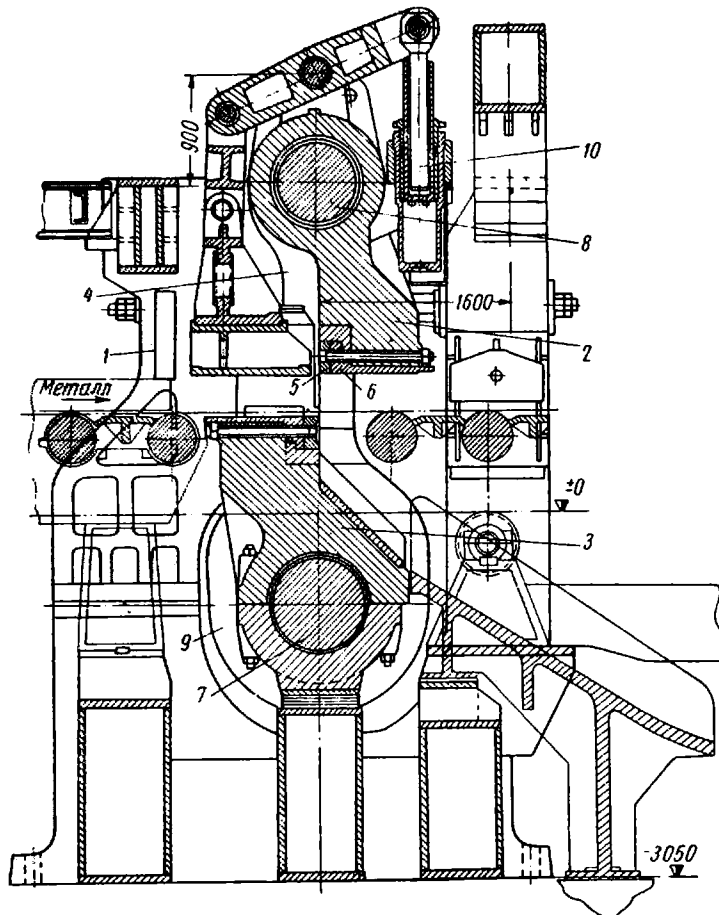


Рис. 21. Ножницы с параллельными ножами и нижним резом усилием 20 Мн (2000 тс) для горячей резки слябов

прокладок). Степень неуравновешенности механизма резания регулируется при настройке гидросистемы, при этом достигается условие, чтобы при повороте нижнего эксцентрикового вала сначала двигался вниз верхний суппорт.

Ножницы могут работать по круговому и качательному режимам [11. 25, 26].

Круговой режим: 1) при вращении нижнего эксцентрикового вала верхний суппорт и прижим опускаются, нижний суппорт остается неподвижным; 2) на расстоянии 30—50 мм до разрезаемого металла верхний суппорт останавливается вследствие закрытия автоматического клапана в трубопроводе от гидравлических цилиндров 10 уравновешивания верхнего суппорта к аккумулятору (клапан получает импульс от командо-аппарата на тихоходном валу редуктора через электромагнитный двухклапанный распределитель); 3) при дальнейшем вращении эксцентрикового вала и неподвижной оси верхнего суппорта боковые шатуны

продолжают отклоняться, а нижний вал, поворачиваясь вокруг оси эксцентрика ($e=175$ мм), вместе с нижним суппортом и шпинделем перемещаются вверх; при этом нижний нож коснется металла, приподнимет и прижмет его к прижиму и верхнему суппорту, а затем начнется резание; 4) при резании верхний суппорт неподвижен, отрезаемый сляб приподнят над роликами рольганга, а нижний суппорт с лежащим на нем металлом и прижимом поднимается; 5) по окончании резания сляба толщиной h и достижении перекрытия верхнего ножа, равного 15 мм, движение нижнего суппорта и прижима вверх прекращается, чему соответствует поворот эксцентрикового вала на 180° и ход ножей, равный двойному эксцентриситету ($2e=350$ мм); 6) при дальнейшем вращении эксцентрикового вала на 180° (до полного оборота) суппорты возвращаются в исходное положение при раскрытии ножей, равном 335 мм.

Круговой режим резания применяют тогда, когда толщина разрезаемого сляба большая (200—230 мм) по сравнению с раскрытием ножей (335 мм).

Качательный режим применяют при резании относительно тонких слябов для сокращения времени цикла работы ножниц. Для уменьшения исходного раскрытия ножей эксцентриковый вал предварительно поворачивают на определенный угол, при этом верхний суппорт опущен на некоторую величину. По окончании резания эксцентриковый вал останавливается тогда, когда нижний суппорт не достигает крайнего верхнего положения, и затем реверсируется в исходное положение.

Достоинства описанных ножниц: 1) резание осуществляется нижним ножом; 2) прижим затрудняет искривление металла при резании и способствует получению вертикальных торцов разрезанных полос; 3) усилия резания и боковые усилия воспринимаются только механизмом резания (шатунами и суппортами) и на станину не передаются; 4) расположение эксцентрикового вала на нижнем суппорте упрощает установку привода на низком фундаменте.

К недостаткам можно отнести сложность и трудоемкость операций по смене ножей, а также недостаточную надежность работы уплотнений гидравлических цилиндров при давлении жидкости 10 Мн/м² (100 ат).

Ножницы аналогичной конструкции усилием 16 Мн (1600 т) применяют на блюмингах 1150.

Обрезь при прокатке углеродистой стали обыкновенного качества составляет 3—5%, а при прокатке качественной углеродистой и легированной стали достигает 20—25% и более массы слитка. На современных блюмингах и слябингах обрезь убирают конвейерами скребкового типа.

Блюмы и слябы, поступающие на склад, клеймят в торец. В настоящее время для клеймения применяют различные механизмы. Клеймение блюмов и слябов в торец после резки на ножницах, осуществляется на ходу автоматическим рычажным клеймителем с дистанционной сменой клейм.

Для выборочного взвешивания блюмов и слябов за ножницами устанавливают весы.

На складе для блюмов установлены холодильники, оборудованные толкателями. Для слябов имеются стеллажи, оборудованные стеллажателями и укладывателями.

При больших масштабах производства листовой стали слябинг является основным обжимным станом. Однако из-за узкой специализации слябинги устанавливают значительно реже, чем блюминги. Во многих случаях обжимной стан должен прокатывать блюмы и слябы, что возможно лишь при установке блюминга.

На рис. 22 приведена схема расположения оборудования одноклетевого дуо-реверсивного слябинга 1150. Расположение оборудования и его состав в основном аналогичны расположению оборудования и составу блюмингов 1300 и 1150.

На рис. 23 представлена рабочая клеть слябинга 1150. В отличие от блюминга слябинг является универсальным дуо-реверсивным станом. Горизонтальные валки имеют цилиндрические бочки диаметром 1150 мм и длиной 2300 мм.

Горизонтальные валки слябинга вращаются от индивидуальных двухъякорных электродвигателей постоянного тока каждый мощностью

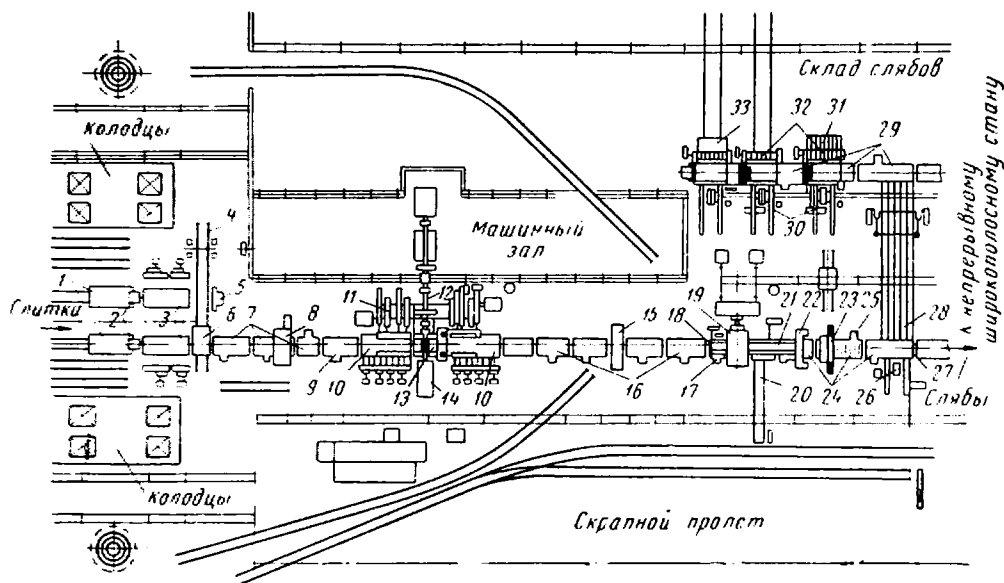


Рис. 22. Схема расположения оборудования одноклетевого дуо-реверсивного слябинга 1150:

1 — слитковозы; 2 — упор слитковоза; 3 — приемные рольганги; 4 — рельсовый путь; 5 — стационарный упор; 6 — рольганг-тележка; 7 — подводящие рольганги; 8 — весы с поворотным устройством; 9 — раскатной рольганг; 10 — рабочие рольганги перед станом и за ним; 11 — манипулятор с кантователем; 12 — универсальные шпиндели; 13 — универсальная рабочая клеть с горизонтальными и вертикальными валками; 14 — устройство для смены валков; 15 — машина огневой зачистки; 16 — транспортные рольганги; 17 — рольганг перед ножницами; 18 — сталкватель обрезков; 19 — ножницы усилием 20 Мн (2000 тс); 20 — транспортер для уборки обрезков; 21 — передвижной упор для резки слябов на мерные длины; 22 — передвигющийся упор за ножницами; 23 — клеймитель; 24 — транспортные рольганги; 25 — весы, встроенные в рольганг; 26 — сталкватель слябов; 27 — опускающийся упор; 28 — транспортер слябов; 29 — рольганги; 30 — сталкватель; 31 — стеллажи; 32 — подъемный штабелирующий стол для слябов; 33 — тележка для слябов

4300 квт и числом оборотов 0—50—80 в минуту. Высота подъема верхнего валка 2100 мм, максимальная скорость его перемещения 220 мм/сек, уравновешивание верхнего валка грузовое.

Вертикальные валки имеют диаметр 900 мм и длину бочки 1950 мм. Максимальная скорость перемещения двух валков равна 200 мм/сек, раствор вертикальных валков 700—2100 мм. Вертикальные валки вращаются от двух вертикальных электродвигателей постоянного тока мощностью каждый 2300 квт и числом оборотов 0—75—120 в минуту через длинные вертикальные (наклонные) универсальные шпиндели. Для обеспечения полной синхронизации работы двигателей они соединены между собой цилиндрической зубчатой передачей. Механическая синхронизация может быть исключена, если электрическая синхронизация вращения якорей двигателей вполне надежна.

Такая схема привода вертикальных валков позволила исключить необходимость строительства высокого фундамента и применения промежуточных валов и конических шестерен (при горизонтальном расположении двигателя). Значительно облегчается при этом смена вертикаль-

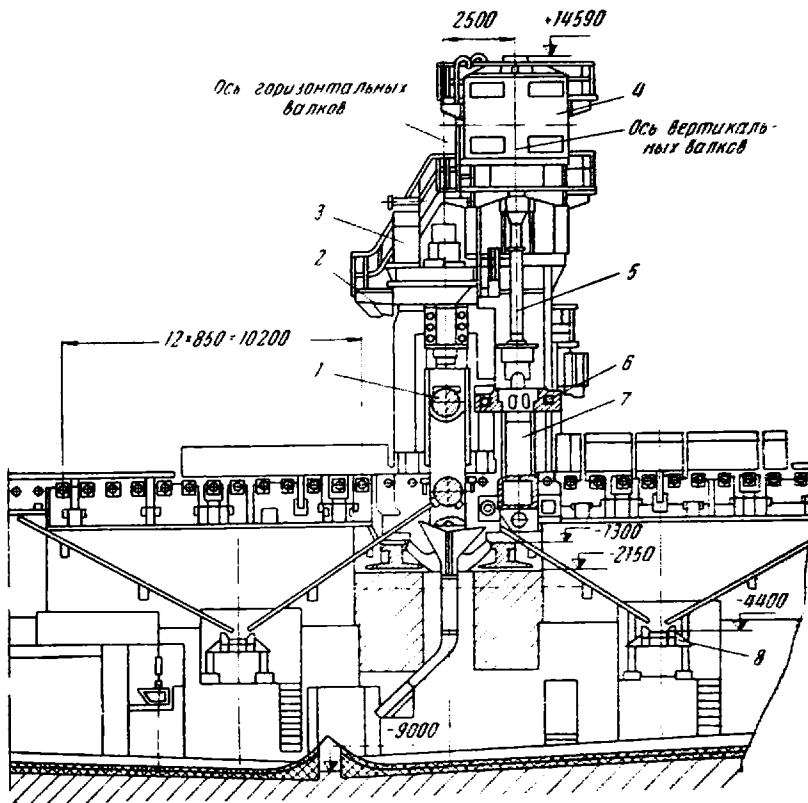


Рис. 23. Общий вид рабочей клетки слябинга 1150:

1 — горизонтальные валки; 2 — рабочая клетка горизонтальных валков; 3 — электродвигатели нажимного устройства клетки с горизонтальными валками; 4 — электродвигатели привода вертикальных валков; 5 — универсальные шпиндели привода вертикальных валков; 6 — клетка с вертикальными валками; 7 — вертикальные валки; 8 — транспортеры для уборки окалин

ных валков, осуществляемая при помощи траверсы, так как вертикальные шпиндели подвешивают специальным механизмом.

Вертикальные валки располагают с передней или задней стороны стана. На новых слябингах вертикальные валки расположены с задней стороны. В этом случае процесс прокатки заканчивается в вертикальных валках, чем обеспечивается получение более ровных боковых краев раската.

Перед рабочей клетью слябинга и за ней установлены манипуляторы с кантователем со стороны вертикальных валков. Для уменьшения маховых масс линейки манипуляторов снабжены безредукторным приводом.

За рабочей клетью расположена машина огневой зачистки слэбов и ножницы усилием 20 Мн (2000 тс). После разрезки на ножницах горячие слэбы поступают по рольгангу на непрерывный стан для дальнейшей прокатки листовой стали или при помощи транспортера, сталкивателей и штабелирующих столов поступают на склад для охлаждения и дополнительной зачистки.

Кроме одноклетевых блюмингов, устанавливают также двухклетевые блюминги. По сравнению с одноклетевыми блюмингами производительность двухклетевого блюминга выше на 70—80% и стоимость его меньше (главным образом за счет здания и вспомогательного оборудования).

На одном из заводов США построен двухклетевой слябинг-блюминг. Первая клеть этого стана является универсальной. Диаметры горизонтальных валков 1140 мм, а длина бочки 2286 мм. Каждый горизонтальный валок вращается от индивидуального электродвигателя со сдвоенным якорем мощностью 4413 кВт и числом оборотов 0—40—80 в минуту.

Вертикальные валки диаметром 840 мм и длиной бочки 2438 мм расположены с задней стороны клетки. Вертикальные валки вращаются от электродвигателя со сдвоенным якорем мощностью 3000 кВт и числом оборотов 0—60—150 в минуту через стационарный конический редуктор и два вертикальных универсальных шпинделя. Максимальный подъем верхнего горизонтального валка 1981 мм, максимальный раствор вертикальных валков 2286 мм.

Исходным материалом являются слитки массой до 18,2 т. Первая клеть прокатывает слябы толщиной 100—200 мм, шириной 400—1880 мм и блюмы 450 × 550 мм. Последние прокатывают во второй клетке в блюмы меньших размеров.

Вторая клеть дуо имеет валки диаметром 1016 мм и длиной бочки 2438 мм. Максимальный подъем верхнего валка 1295 мм. Каждый валок этой клетки вращается от индивидуального одноякорного электродвигателя мощностью 2942 кВт и числом оборотов 0—65—130 в минуту.

Этот стан целесообразно применять при смешанной программе прокатки (сортовой и листовой стали). Кроме того, применение первой универсальной клетки позволяет значительно увеличить массу слитка при прокатке блюмов. На стане имеется машина огневой зачистки, расположенная за универсальной клетью на расстоянии 41 м. Ножницы для резки слябов и блюмов расположены на расстоянии 23,5 м от машины огневой зачистки. Окалина при прокатке слитков в первой клетке сбивается водой давлением 11,2 Мн/м² (112 ат).

Следует отметить, что благодаря широкому применению сварных конструкций и безредукторных приводов масса механического оборудования современных блюмингов и слябингов меньше массы оборудования установленных ранее станов. Так, масса механического оборудования нового блюминга 1300 составляет 5400 т, т. е. меньше массы оборудования действующего блюминга 1150.

3. СЛИТКИ

Стальной слиток — неоднородное кристаллическое тело по плотности, наличию неметаллических примесей, химическому составу и строению. Неоднородности слитка могут быть физические, кристаллические и химические. Эти виды неоднородности ухудшают качество стали, а иногда являются причиной брака в прокатном производстве.

К физической неоднородности относят усадочную раковину, газовые пузыри и неметаллические включения.

При затвердевании объем жидкой стали уменьшается, в результате чего в верхней части слитка, застывающей последней, образуется усадочная раковина, а ниже ее — усадочная рыхлость (рис. 24, а).

После прокатки слитка отрезают конец полосы, соответствующий протяженности усадочной раковины. Следовательно, чем больше уса-

дочная раковина и рыхлость, тем больше металла обрезают и тем меньше выход годного.

Величина обрезки зависит от многих причин: химического состава стали, формы и отношения высоты слитка к стороне среднего поперечного сечения, способа и скорости разливки стали, назначения блюмов

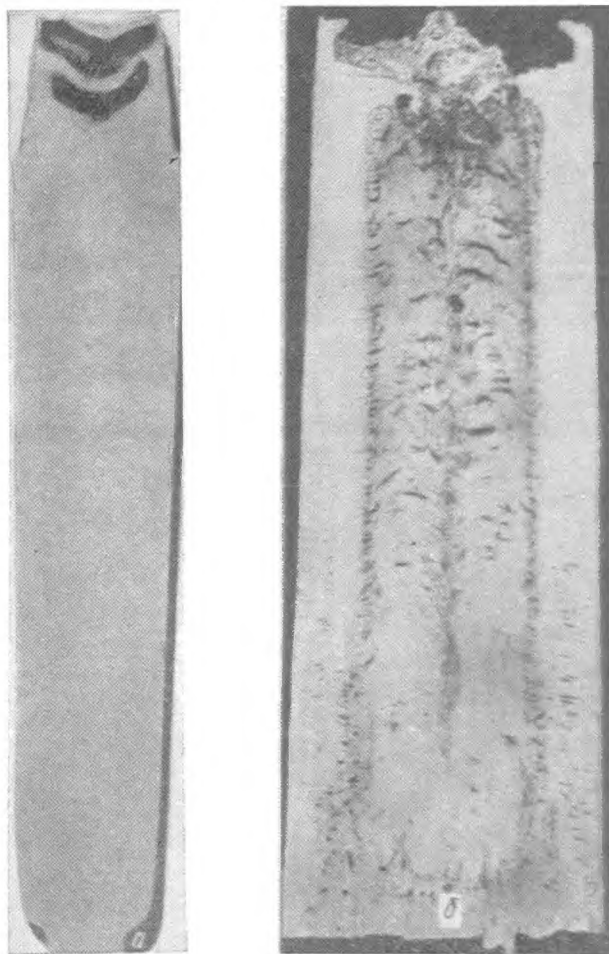


Рис. 24. Вертикальный разрез слитков спокойной (а) и кипящей (б) стали

и слэбов и т. д. При прокатке слитков качественной углеродистой и легированной стали обрезь достигает 20% и более массы слитка.

Усадочную раковину в слитке уменьшают применением прибыльной чадставки. Прибыльную часть слитка отрезают после прокатки. Для уменьшения объема прибыли увеличивают продолжительность охлаждения стали в прибыльной надставке футеровкой огнеупорным материалом, а в последнее время и подогревом прибыльной части.

Усадочная раковина является характерной особенностью слитка спокойной стали. Кроме спокойной стали, в большом количестве выплавляют кипящую сталь, раскисление которой в печи и ковше происходит неполностью. Характерной особенностью этой стали являются газовые пузыри, которые образуются в слитке в результате выделения газов из жидкой стали при ее затвердевании. Так как не все газы успевают

всплыть на поверхность, то они, оставаясь в слитке, образуют пустоты (раковины).

При прокатке этих слитков газовые пузыри могут завариваться. Однако легко завариваются пузыри, расположенные в глубине слитка и имеющие неокисленную поверхность. Если пузыри расположены близко к поверхности слитка («подкорковые» или «сотовые»), то при нагреве или прокатке они обнажаются и могут быть причиной брака. На готовом прокате образуются волосовины, весьма похожие на трещины, иногда довольно глубокие. При прокатке листовой стали окисленные подкорковые пузыри приводят к браку в виде «изъеденной» поверхности листа. Эти виды брака, зависящие от качества слитка, должны быть отнесены к браку по вине сталеплавильного цеха.

Для предотвращения брака необходимо слитки с неглубокими газовыми пузырями нагревать без образования толстого слоя окалины, чтобы не обнажать пузырей, и осторожно прокатывать, чтобы избежать разрывов тонкой наружной корки.

Преимуществом слитков кипящей стали (рис. 24, б) является отсутствие усадочной раковины и, следовательно, уменьшение величины обреза. Обрез слитков кипящей стали обыкновенного качества достигает 3—5%. Недостатком этих слитков является наличие подкорковых пузырей и резко выраженной сегрегации. Поэтому кипящей производят только низкоуглеродистую сталь, допускающую нагрев слитков до более высокой температуры и гарантирующую заварку пузырей. При содержании углерода более 0,3% газовые пузыри недопустимы, поэтому такую сталь отливают спокойной.

Неметаллические включения (шлаковые включения, частицы огнеупорных масс, оторвавшиеся от футеровки ковша, сифонных кирпичей и др.) ухудшают качество стали, значительно снижая ее механические свойства. Во многих случаях они служат началом образования трещин (особенно при работе деталей с повторными напряжениями переменного знака). Неметаллические включения остаются в стали после прокатки, поэтому необходимо получать слитки относительно чистыми по этим включениям. Особенно большие требования должны быть предъявлены к чистоте слитков качественной и высококачественной стали.

Кристаллическая неоднородность слитка вызвана условиями его затвердевания. Слой стали, прикасающийся к холодным стенкам изложницы, имеет мелкокристаллическое глобулярное строение. За этим слоем расположены перпендикулярно к поверхности стенок изложницы крупные столбчатые кристаллы. В центральной области образуются равноосные крупные кристаллы с беспорядочным расположением кристаллографических осей.

Столбчатая структура характеризуется большими поверхностями соприкосновения кристаллов между собой, по которым возможно скопление включений и пустот. Последние могут привести к разрушению металла при прокатке.

К химической неоднородности слитка относят зональную объемную и дендритную ликвацию. Образование ликвации связано с избирательной кристаллизацией слитка.

При затвердевании углеродистой стали наблюдается явление дендритной кристаллизации, обуславливающей некоторую химическую неоднородность в кристаллах. Вследствие того, что затвердевание стали начинается у стенок изложницы и распространяется в центральную часть слитка (обогатенный углеродом маточный раствор также перемещается в центральную часть), наблюдается явление объемной ликвации. Эти виды ликвации относят к дефектам стального слитка.

К другим недостаткам слитка, которые часто приводят к браку проката, относят неудовлетворительное раскисление стали, большое содержание в ней вредных примесей и поверхностные дефекты слитка.

При неудовлетворительном раскислении сталь обладает низкими качествами. У такой стали даже при правильных режимах нагрева и прокатки может образоваться большое количество трещин и рванин, в результате чего готовая продукция будет забракована.

Трещины и рванины образуются и при большом содержании вредных примесей в стали, к которым относят чаще всего серу и фосфор. Большое содержание в стали серы приводит к красноломкости, а большое содержание фосфора — к хладноломкости.

К поверхностным дефектам слитка относят плены, поперечные и продольные трещины, поверхностные шлаковые включения, завороты, свищи, поры и др. Все эти дефекты связаны с качеством изложниц, скоростью разливки и охлаждения стали.

Поверхностные дефекты слитка часто приводят к образованию брака при прокатке, так как они обычно увеличиваются в процессе прокатки по длине и толщине полосы.

Масса и форма слитков, предназначенных к прокатке, зависят от марки стали, характеристики стана и вида получаемого полупродукта. При прокатке слябов применяют слитки значительно большей массы, чем при прокатке блюмов. Масса слитка зависит главным образом от диаметра валков и мощности двигателя стана. Масса слитка должна быть такой, чтобы обеспечить максимальную производительность стана, требуемое качество полупродукта и максимальный выход годного.

В настоящее время масса слитков углеродистой стали для прокатки блюмов достигает 10—12 т, для прокатки слябов 40—45 т, а для прокатки толстых листов на станах кварто 60 т и более.

Массу слитка иногда ограничивают с целью уменьшения длины получаемого раската. Кроме того, масса слитка может быть ограничена расстояниями между рабочей клетью блюминга и ножницами, между ножницами и первой группой непрерывного заготовочного стана, между первой и второй группами непрерывного заготовочного стана, а также необходимостью получения кратного числа полос на станах окончательной прокатки (например, при прокатке железнодорожных рельсов и др.).

При выборе массы слитка необходимо учитывать также и то, что с увеличением размеров поперечного сечения уменьшается относительная глубина проникновения деформации в первых проходах, а это может привести к появлению внутренних напряжений и вызвать нарушение сплошности металла. Следует учитывать также условия кристаллизации при отливке слитков и условия нагрева их в нагревательных колодцах.

Масса слитка качественных сталей обычно ограничивается теми же факторами, что и масса слитка углеродистой стали обыкновенного качества. При разливке в слитки большой массы необходимо учитывать зональную ликвацию и ее влияние на химический состав и свойства стали, чтобы не допустить выхода готового проката за пределы допускаемых стандартами отклонений.

Размеры и масса слитков некоторых высоколегированных сталей часто лимитируются особенностями их физико-химических свойств. Например, слитки быстрорежущих, инструментальных и других сталей и сплавов с высоким содержанием легирующих элементов отливают небольших размеров (массой не более 500—700 кг). Это объясняется тем, что эти стали и сплавы имеют малую теплопроводность, малую пластич-

ность и допускают прокатку в узком интервале температур при небольшом обжатии за проход.

Слитки легированных сталей с содержанием легирующих примесей 8—15% отливают массой до 1,5 т, а при меньшем их содержании — массой 3—6 т в зависимости от мощности заготовочного стана. Слитки нержавеющей стали типа 1X18H9T для прокатки слябов отливают массой до 12 т. Однако во всех случаях масса слитка и размеры его попе-

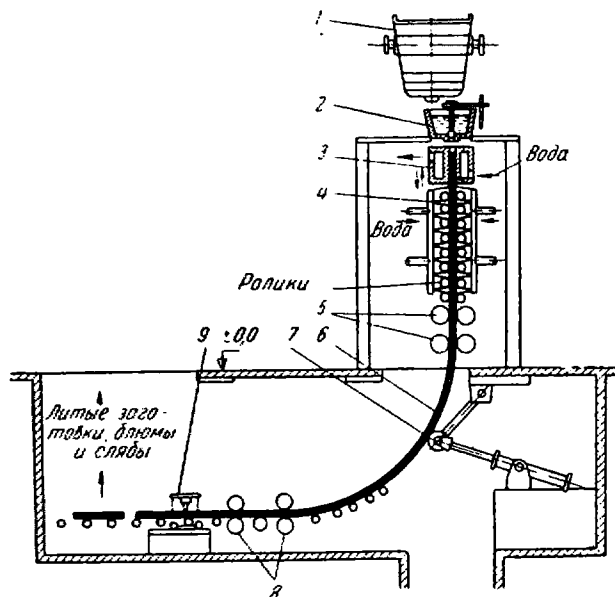


Рис. 25. Схема установки для непрерывной разливки стали (УНРС):

1 — ковш с жидким металлом. 2 — промежуточный ковш с постоянным уровнем жидкой стали; 3 — медный водоохлаждаемый кристаллизатор; 4 — система вторичного охлаждения; 5 — поддерживающие и тянущие ролики; 6 — непрерывный слиток; 7 — изгибающий ролик; 8 — правильные ролики; 9 — передвигают кислородно-ацетиленовый резак

речного сечения должны обеспечить получение готового проката требуемых размеров, а также необходимое раздробление первичной структуры и получение определенных механических свойств.

Слитки имеют квадратное и прямоугольное поперечное сечение. Такие слитки удобны для транспортировки и имеют ряд преимуществ при нагреве в нагревательных устройствах.

В последнее время при прокатке сортовой стали применяют слитки с прямоугольным поперечным сечением. Во-первых, слитки прокатывают на блюминге, как правило, за нечетное число проходов. Следовательно, при прокатке слитка прямоугольного сечения обжатие по одной стороне будет на один проход больше, что обеспечит получение квадратного блюма. Во-вторых, слитки прямоугольного сечения обеспечивают лучшие условия кристаллизации и нагрева. Узкие слябы можно прокатывать из слитков квадратного или прямоугольного сечения с небольшим отношением сторон. Широкие слябы прокатывают из слитков прямоугольного сечения. Ширина слитков определяется шириной прокатываемых слябов, а толщина — необходимой массой слитка и отношением толщины к ширине не менее $\frac{2}{3}$.

Слитки кипящей стали получают в изложницах, расширяющихся книзу. Слитки спокойной стали в большинстве случаев получают в изложницах, расширяющихся вверх, с прибыльной надставкой.

Уклон боковых сторон для слитка спокойной стали принимают равным 3—4% (на каждую сторону) его высоты. Масса прибыли равна 14—16% общей массы слитка. Уклон боковых сторон для слитка кипящей стали принимают равным 1—1,5%. Отношение высоты к стороне среднего сечения слитка кипящей стали составляет 3—3,5, а слитка спокойной стали — не более 3 (если принять высоту слитка без прибыли)

При определении размеров слитка следует учитывать, что плотность спокойной стали равна $7,3 \text{ г/см}^3$, а кипящей $6,9 \text{ г/см}^3$ вследствие меньшей плотности слитка.

За последние годы на отечественных металлургических заводах начали широко применять способ непрерывной разливки стали, осуществляемый с помощью специальной установки непрерывной разливки стали (УНРС). Жидкую сталь из ковша большой емкости непрерывно подают в 2—4 медных водоохлаждаемых кристаллизатора с квадратным или прямоугольным отверстием (рис. 25). По выходе из кристаллизаторов литые заготовки охлаждаются водой, разрезаются на мерные длины (6—12 м) и направляются на склад или без дополнительного подогрева на станы для дальнейшей прокатки. В этом случае блюминги или слябинги не нужны [III. 2].

4. НАГРЕВ СЛИТКОВ

Нагрев исходных материалов слитков и заготовок [III. 8] перед прокаткой должен обеспечить высокую пластичность стали и наименьшее сопротивление деформации. Поэтому чем выше температура нагрева, тем лучше, так как при этом уменьшается расход энергии при прокатке, увеличиваются обжатия и уменьшается число случаев поломки валков и других деталей стана. Наряду с этим нагрев должен обеспечить повышение механических свойств, уменьшение чувствительности стали к флокенам и др.

Однако высокая температура и неправильный режим нагрева могут вызвать значительное окалинообразование, обезуглероживание, вскрытие подкорковых пузырей, перегрев и пережог, ухудшающие качество металла или приводящие его к браку.

При нагреве материалов в существующих нагревательных устройствах всегда происходит окисление металла с образованием окалины. Образование окалины при нагреве является источником потерь годного металла. Угар металла при нормальной работе нагревательных устройств составляет 1—2% массы металла, а при неудовлетворительной работе — до 4—5%. Если учесть, что при прокатке слитка в готовый прокат металл нагревают несколько раз, то можно принять угар в среднем 3—4% массы металла. Кроме того, окалина при прокатке вдавливается в металл, что ухудшает качество поверхности.

На образование окалины влияют температура, продолжительность пребывания металла при высоких температурах, скорость нагрева и печная атмосфера. Образование окалины протекает более энергично при температурах выше $900\text{—}1000^\circ\text{C}$. Окисление металла в печи тем больше, чем больше металл находится в печи при высоких температурах. Угар тем меньше, чем больше скорость нагрева. Для уменьшения угара процесс горения газов должен протекать при наименьшем избытке воздуха и с наибольшей полнотой, причем давление в печи должно быть положительным.

На окисление металла оказывает также влияние отношение поверхности нагреваемого металла к его объему: чем больше это отношение, тем больше окисление металла. Это особенно следует учитывать при нагреве сутунок и листов, имеющих большую поверхность. Для уменьшения окалины сутунки и тонкие листы нагревают до более низких температур ($800\text{—}900^\circ\text{C}$).

Наряду с окислением металла происходит и обезуглероживание поверхностного слоя. С этим явлением приходится считаться при нагреве сталей с повышенным содержанием углерода (инструментальной и ша-

рикоподшипниковой). В этом случае обезуглероживание делает сталь непригодной для изготовления режущего инструмента или шариков вследствие уменьшения твердости стали. Из-за большой разности в коэффициентах расширения обезуглероженных и нормальных слоев металла в быстрорежущей стали иногда образуются трещины.

На процесс обезуглероживания влияют те же факторы, что и на окалинообразование. Установлено, что наиболее обезуглероживающей средой являются пары воды, затем уголекислота и, наконец, водород. При высокой температуре и длительном нагреве обезуглероживание увеличивается.

При нагреве стали выше критической точки A_{c3} происходит рост зерен, которые при известных условиях настолько укрупняются, что связь между ними ослабляется и механические свойства ухудшаются, вследствие чего при прокатке на металле образуются трещины и рванины. Такой случай на практике называют перегревом. Рванины и трещины образуются часто по углам слитка или заготовки, которые легче подвергаются перегреву.

Наряду с перегревом стали наблюдается и пережог. При температурах, близких к точке плавления составляющих стали, внутрь ее проникает кислород, который окисляет зерна. В результате связь между зернами стали настолько ослабляется, что металл при прокатке или другой обработке давлением разваливается на части.

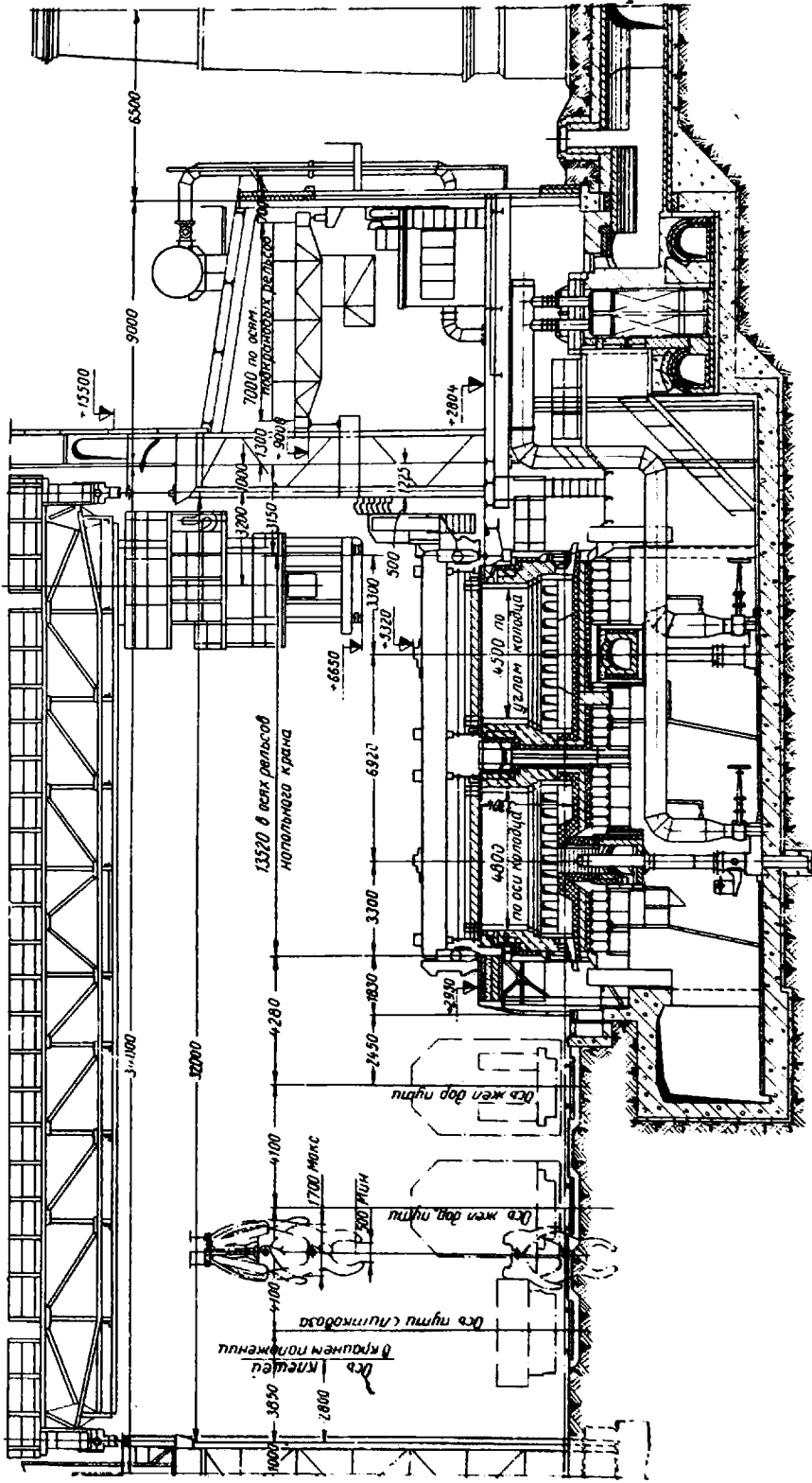
Пережог происходит тем легче, чем выше температура нагрева и чем более окислительная атмосфера в печи. Окислительные газы могут диффундировать в металл при температурах ниже температуры плавления чистого металла или сплава. Однако практически при температуре ниже 1250°C пережога не наблюдается. Чем выше содержание углерода в стали, тем при более низкой температуре происходит пережог. Из легированных сталей наиболее чувствительны к пережогу хромистые, никелевые и хромоникелевые стали. Особенно подвержены пережогу высоколегированные стали, что объясняется легкоплавкостью межкристаллитного вещества.

Явления перегрева и пережога чаще всего возможны при вынужденной задержке металла в печи. Во избежание перегрева и пережога в этих случаях понижают температуру печи и уменьшают количество подаваемого воздуха.

Слитки для прокатки блюмов и слябов нагревают в нагревательных колодцах. По конструкции нагревательные колодцы можно разделить на регенеративные, рекуперативные и электроколодцы [III. 1].

Каждая группа регенеративных колодцев состоит из четырех камер емкостью по 6—8 слитков. Камера представляет собой самостоятельную нагревательную печь, имеющую регенераторы для подогрева газа и воздуха. Колодцы отапливают доменным газом или смесью доменного и коксовального газов. Существенным недостатком колодцев является неодинаковое расположение слитков относительно потока тепла, а следовательно, неодинаковый их нагрев. Слитки, расположенные со стороны регенераторов, нагреваются быстрее, чем слитки в средней части камеры. Кроме того, при отоплении колодцев газом и особенно жидким топливом возможно оплавление (иногда и пережог) крайних слитков. Механическое оборудование колодцев очень громоздкое, что затрудняет их автоматизацию. На новых блюмингах и слябингах регенеративные колодцы, как правило, не строят.

В настоящее время на новых металлургических заводах предпочитают строить рекуперативные колодцы (рис. 26). В этих колодцах пламя горелки, расположенной в центре подины, движется вверх, ударяется



Р и с. 26. Регуперативные нагревательные колодцы с отоплением из центра подины

о крышку, растекается по ее поверхности и омывает слитки сверху вниз, после чего дымовые газы проходят через каналы в нижней части двух боковых стен и керамические рекуператоры, расположенные с обеих сторон каждой камеры. Каждая группа колодцев состоит из двух камер емкостью 10—20 слитков.

В настоящее время рекуперативные колодцы строят с подогревом воздуха и газа. Воздух нагревается в керамическом рекуператоре, а газ — в металлическом сварном трубчатом рекуператоре, установленном последовательно за керамическим. Температура подогрева воздуха может достигать 800—850 °С, а газа 300—350 °С. При таких температурах подогрева воздуха и газа колодцы могут отапливаться доменным газом.

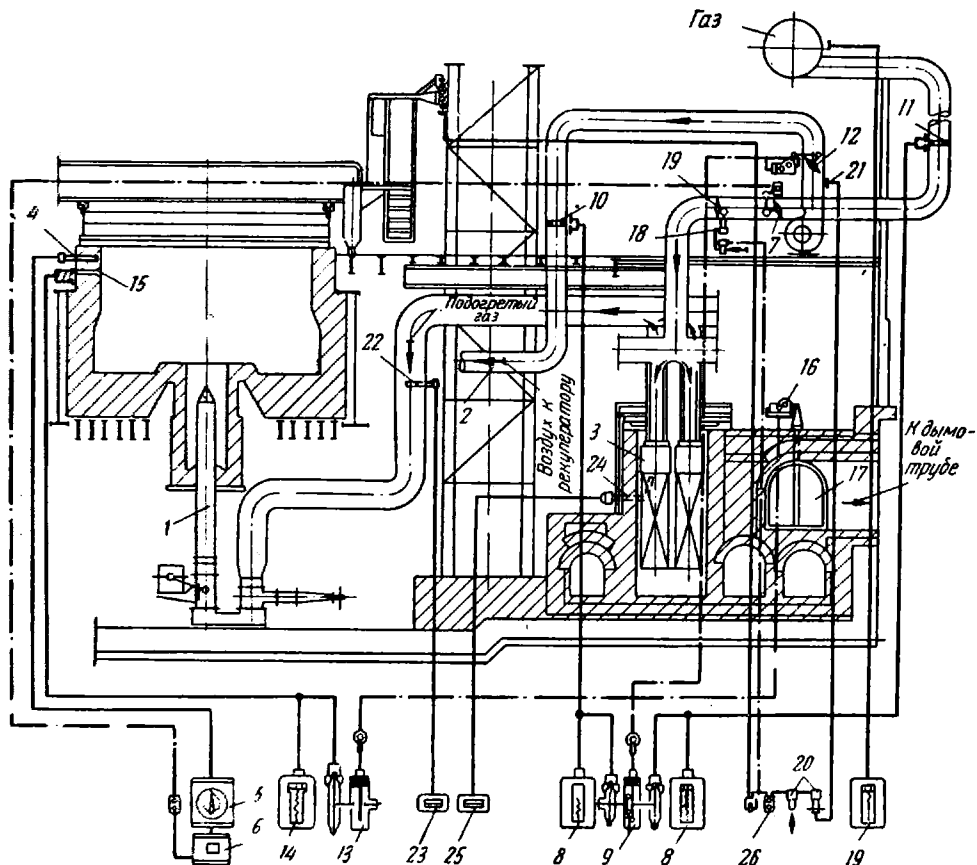


Рис. 27. Схема автоматического регулирования рекуперативных колодцев

Рекуперативные колодцы по сравнению с регенеративными более простые по устройству и компактнее. В этих колодцах достигается большая равномерность нагрева слитков, весьма редки случаи их оплавления и пережога. Колодцы хорошо работают не только на газообразном, но и на жидком топливе. Благодаря полной автоматизации облегчается управление процессом нагрева.

Целью автоматизации работы нагревательных колодцев является достижение равномерного нагрева слитков до заданной температуры при оптимальной длительности их нагрева в колодцах. Автоматизация нагревательных колодцев должна обеспечивать контроль и регулирование: 1) температуры в колодцах, рекуператорах и регенераторах; 2) соотношения количества газа и воздуха; 3) давления газов в колод-

це; 4) отключения газа при открывании крышки колодца; 5) положения перекидных клапанов.

Температуру в колодцах регулируют аппаратурой, состоящей из термопар (или радиационных пирометров) и электронных потенциометров. Соотношение газа и воздуха регулируют при помощи гидравлических струйных регуляторов. Давление в рабочем пространстве регулируют при помощи гидравлических или электрических регуляторов.

На рис. 27 показана схема автоматического регулирования рекуперативных колодцев. Камера рекуперативных колодцев имеет одну газовую горелку 1 в центре подины; воздух подогревается в керамическом рекуператоре 2, а газ — в металлическом рекуператоре 3.

Газовый клапан управляется регулятором температуры, состоящим из термопары 4, установленной сбоку колодца, электронного потенциометра 5 и регулятора 6, воздействующего на клапан 7.

Подача воздуха для горения производится пропорционально расходу газа; регулирование соотношения газа и воздуха производится расходомерами 8 и гидравлическим регулятором 9, получающим импульсы давлений от измерительных диафрагм 10 и 11 на газо- и воздухопроводах; регулятор воздействует на воздушный клапан 12.

Постоянное давление газов в колодце поддерживается регулятором 13 с напоромером 14, получающим отбор давления в стенке 15 камеры и воздействующим на механизм 16 поворота дымового клапана 17.

При открывании крышки колодца происходит автоматическое отключение газа при помощи импульса от конечного выключателя подъемного механизма напольного крышечного крана: импульс передается через привод 18 клапану 19. Сигнализатор 20 падения давления воздуха подключен к вентилятору 21. Температуру подогретого газа измеряют термопарой 22 с милливольтметром 23, а температуру газового рекуператора — термопарой 24 с милливольтметром 25. Переход от автоматического управления на ручное производится кнопкой 26.

На рис. 28 показаны рекуперативные нагревательные колодцы с отоплением одной верхней горелкой, которые в последнее время получили широкое распространение.

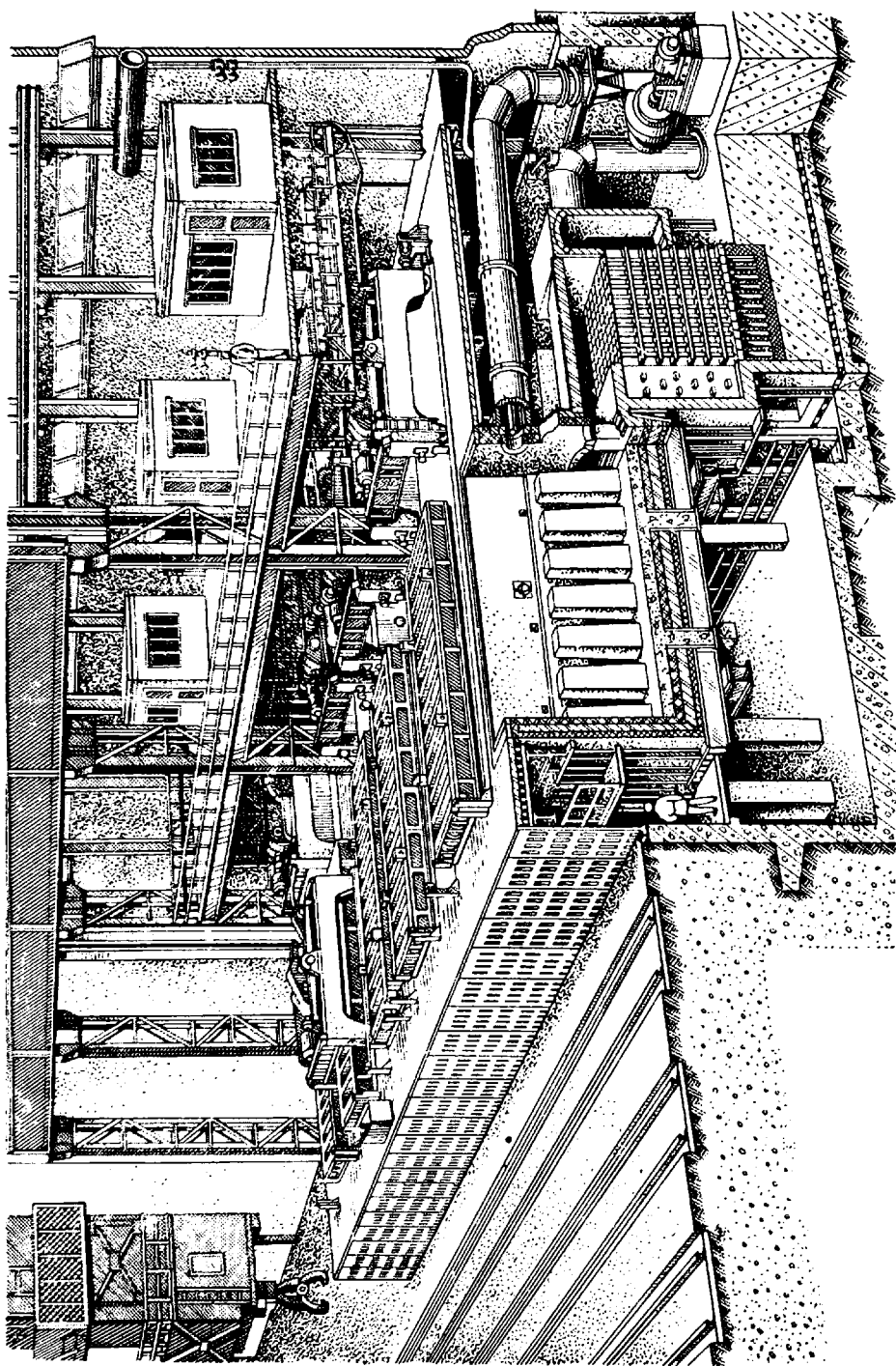
Нагревательные колодцы этого типа имеют вытянутую камеру длиной до 10 м, шириной 2,5—3,5 м и глубиной 3,5—4,5 м; каждая группа таких колодцев состоит из четырех камер с индивидуальными крышками. Слитки в этих камерах устанавливаются в два ряда у стен с проходом между ними для продуктов сгорания топлива. По сравнению с колодцами других типов рекуперативные колодцы с отоплением одной верхней горелкой имеют наибольшую емкость (3—4 слитка) на единицу длины здания нагревательных колодцев. Это значительно сокращает общую длину здания колодцев и улучшает условия работы слитковоза.

Горелка расположена в верхней части одной из торцовых стен. В нижней части той же стены устроены проемы для отвода продуктов сгорания топлива. Сжигание топлива в этих колодцах происходит в пространстве над слитками и, следовательно, металл в них нагревается в основном сверху. Однако благодаря проходу между слитками и подковообразному пламени условия нагрева значительно улучшаются.

Нагревательные колодцы, как правило, располагают в специальном здании, примыкающем к основному зданию блюминга или сляббинга.

Обычно здание нагревательных колодцев является продолжением здания блюминга (см. рис. 9) и состоит из двух пролетов: в одном расположены колодцы, а в другом устройства для подачи газа и воздуха и для управления колодцами.

Такое расположение здания нагревательных колодцев является ти-



Р и с. 28. Рекуперативные нагревательные колодцы с одной верхней горелкой

повым для крупных металлургических заводов; оно обеспечивает удобную транспортировку слитков из сталеплавильного цеха в здание нагревательных колодцев и возможность ввода железнодорожных путей во все пролеты здания блюминга.

Характерным для современных прокатных цехов является горячий всад слитков в нагревательные колодцы. К горячему всаду обычно относят слитки с температурой 400—1000 °С, а к холодному — ниже 400 °С.

Горячий всад слитков обеспечивает значительную экономию топлива и увеличивает производительность нагревательных колодцев. По данным практики, при повышении температуры слитков при посадке на 50 град производительность нагревательных колодцев увеличивается примерно на 7%. С понижением температуры слитков при посадке значительно увеличивается длительность нагрева и расход топлива. Так, при нагреве холодных слитков длительность нагрева почти в два раза больше, а расход топлива примерно в три раза больше, чем при нагреве слитков с температурой поверхности примерно 800 °С.

В сталеплавильном цехе крупного металлургического завода сталь разливают в изложницы, установленные на специальных платформах. На этих платформах слитки сначала подают в стрипперное отделение, где специальным краном освобождают их от изложниц, уширенных книзу. В случае разливки стали в изложницы, уширенные сверху, в стрипперном отделении производят только отрыв слитка от изложницы, чтобы его легко было вытащить краном в здание нагревательных колодцев. После этого слитки в горячем состоянии поступают по двум железнодорожным путям в здание нагревательных колодцев (см. рис. 26).

Следовательно, температура поверхности слитков при посадке в нагревательные колодцы определяется временем, требующимся для разливки стали в слитки, транспортировки состава со слитками в стрипперное отделение и в здание нагревательных колодцев, раздевания слитков и посадки их в колодцы. К этому надо прибавить время простоев состава со слитками из-за неритмичности работы сталеплавильного цеха и цеха блюминга или слябинга, недостаточной емкости нагревательных колодцев и других причин.

Обычно до 90% слитков поступают в нагревательные колодцы блюмингов и слябингов в горячем состоянии при средней температуре примерно 800 °С. На передовых заводах количество слитков горячего всада достигает 95% при средней температуре примерно 850 °С.

Передачу слитков из сталеплавильного цеха в здание нагревательных колодцев и посадку их в камеры нагревательных колодцев производят строго по плавкам, а слитков качественной легированной стали и по сифонам.

Посадку и выдачу слитков из колодцев производят обычно тремя специальными кранами. Грузоподъемность главного подъема кранов зависит от массы слитков и колеблется в пределах 50—500 кн (5—50 тс), а вспомогательного подъема 50—100 кн (5—10 тс). При помощи последнего выполняют различные подъемно-транспортные операции по ремонту колодцев и механизмов. В этом же пролете здания нагревательных колодцев имеется также обычный мостовой кран, который предназначен для подъема крышек колодцев во время их ремонта. Второй пролет здания нагревательных колодцев обслуживает мостовой кран грузоподъемностью 100 кн (10 тс).

В нагревательные колодцы слитки сажают в вертикальном положении, что предотвращает опасность смещения усадочной раковины. Кроме того, благодаря вертикальному положению слитков большая часть поверхности их омывается продуктами горения и получает тепло

излучением от кладки, что обеспечивает более равномерный и быстрый нагрев, чем в нагревательных устройствах другого типа.

На рис. 29 приведена примерная схема размещения слитков в камерах рекуперативных нагревательных колодцев с отоплением из центра подины. Слитки в этих колодцах устанавливаются, как правило, в один ряд вдоль стен камеры. Слитки, уширенные книзу, устанавливают вертикально узким концом кверху (рис. 29, а). Слитки с прибыльной частью

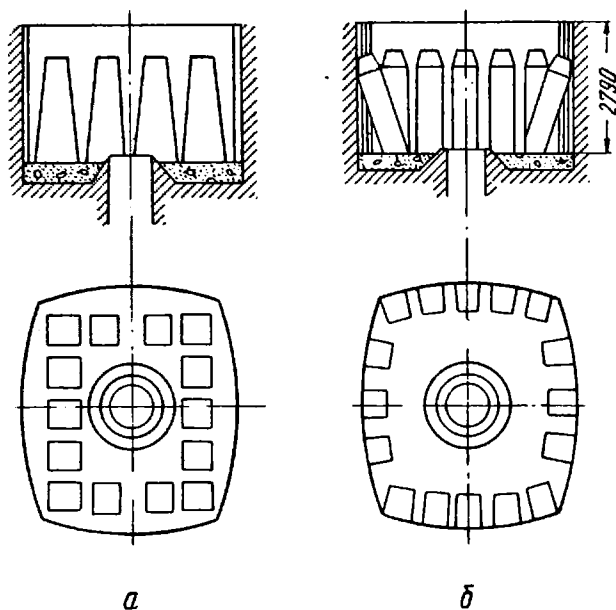


Рис. 29. Схема размещения слитков в камерах рекуперативных нагревательных колодцев с отоплением из центра подины

(уширенные кверху) устанавливают наклонно широким концом кверху с опорой на стенки камеры (рис. 29, б). Масса садки одной камеры должна быть кратна массе плавки, что обеспечивает поплавоочный контроль и устраняет возможность перепутывания слитков различных плавов.

При нагреве слитков необходимо также учитывать теплопроводность стали. Особенно это относится к нагреву специальных сталей, так как они обладают пониженной теплопроводностью.

Следует отметить сравнительно низкую пластичность многих высокоуглеродистых и легированных сталей при температурах до 500—600 °С. В этом случае посадка слитков и блюмов в печь с высокой температурой или их нагрев со слишком большими скоростями могут привести к образованию трещин. Эти трещины образуются в результате возникновения больших внутренних напряжений из-за большого перепада температур между поверхностными и внутренними слоями. Поэтому нагрев слитков и заготовок из стали с малой теплопроводностью и пластичностью следует вести медленно, особенно до 600—650 °С, так как при низких температурах больше всего возникает опасность образования трещин.

При нагреве углеродистой инструментальной стали с содержанием углерода более 1,0%, высокомарганцевой, шарикоподшипниковой, быстрорежущей и других сталей наблюдается образование «скворечников» — сквозных трещин. Причиной их образования являются напряжения, которые возникают при быстром нагреве слитков и блюмов.

При температурах нагрева выше 700 °С пластичность стали достаточно высокая, поэтому все стали можно нагревать с максимально возможной скоростью. Следует отметить, что большая скорость нагрева обеспечивает не только высокую производительность нагревательных устройств, но и предотвращает образование некоторых дефектов. Например, при небольшой скорости нагрева увеличивается окисление и обезуглероживание металла, а нагрев высокоуглеродистых магнитных сталей при небольшой скорости не только способствует сильному обезуглероживанию, но и понижает магнитные свойства. В нержавеющей стали при медленном нагреве интенсивно растут зерна, что способствует понижению пластичности и появлению трещин.

При нагреве слитков в нагревательных колодцах необходимо обеспечить высокую производительность, высокое качество нагрева, минимальный угар и минимальное обезуглероживание поверхностных слоев металла, а также минимальный расход топлива.

Режим нагрева слитков в нагревательных колодцах зависит от температуры слитка при посадке, теплопроводности и пластичности сталей. В течение первого периода нагрева температура поверхности слитка повышается до заданной. Во втором периоде происходит выравнивание температур по толщине слитка; температура поверхности слитка во время выдержки остается постоянной.

Продолжительность первого периода, или периода нагрева, зависит от температуры слитка при посадке, химического состава стали и тепловой мощности нагревательных колодцев.

Продолжительность второго периода, или периода выдержки, во многом зависит от допустимой разности температур между поверхностью и центром слитка в момент выдачи его из колодцев. Чем меньше эта разность, тем продолжительнее выдержка.

Важной задачей является обеспечение равномерного нагрева металла по поперечному сечению до заданной температуры. Неравномерный нагрев способствует получению свертышей при прокатке, образованию внутренних разрывов, увеличению износа валков и опасности их поломки, увеличению расхода энергии и т. д.

Температура нагрева стали различных марок должна быть различной. Обычно для углеродистых сталей максимальную температуру устанавливают в соответствии с линией солидуса на диаграмме железо — углерод, так как наиболее опасное явление при нагреве металла (пережог) связано с началом его плавления. Вследствие того, что ликвирующие примеси, неметаллические включения и другие неоднородности способствуют понижению температуры плавления, максимальную температуру нагрева углеродистых сталей принимают на 100—150 град ниже линии солидуса. Самая высокая температура (1350 °С) допускается при нагреве стали с содержанием углерода около 0,10%; с повышением содержания углерода температура нагрева металла соответственно понижается.

На заводах режим нагрева слитков сталей различных марок устанавливают на основании специальных исследований и опытных данных.

Стали с примерно одинаковым химическим составом, одинаковой теплопроводностью, одинаковым сопротивлением деформации, одинаковой пластичностью и склонностью к пережогу и поверхностному обезуглероживанию объединяют в одну группу, для которой устанавливают общий режим нагрева слитков.

К первой группе обычно относят мягкие углеродистые стали с содержанием углерода не выше 0,3%. Слитки этих сталей при горячей и холодной посадке нагревают с максимальной скоростью подъема тем-

пературы, используя полностью тепловую мощность колодцев. Перед посадкой слитков температура камеры нагревательных колодцев не снижается.

Ко второй группе относят углеродистые стали с содержанием углерода до 0,5% и углеродистые стали с содержанием углерода 0,15—0,4%, но с повышенным содержанием марганца — до 1,0%, а также хромистые стали с содержанием хрома примерно 1,0%, хромомолибденовые стали с содержанием хрома примерно 1,0% и 0,15—0,25% молибдена. Режим нагрева слитков этих сталей отличается от режима нагрева слитков сталей первой группы. При посадке слитков с температурой ниже 400°C температура камеры снижается в зависимости от содержания углерода до 650—800°C.

К третьей группе могут быть отнесены углеродистые стали с содержанием углерода до 0,7% и легированные стали различного химического состава.

В зависимости от химического состава и свойств прокатываемых сталей таких групп может быть 5—6 и более.

Особенно осторожно нагревают холодные слитки высокоуглеродистых и легированных сталей, так как эти стали имеют низкую теплопроводность и пластичность при температурах до 500—600°C. Посадка слитков этих сталей в сильно нагретые камеры колодцев или нагрев со слишком большими скоростями может привести к образованию трещин. В этом случае слитки нагревают медленно до 600—650°C, так как при меньшей пластичности стали в области низких температур особенно велика опасность образования трещин. После достижения температуры примерно 700°C скорость нагрева должна быть повышена, так как пластичность и теплопроводность стали при этих температурах выше. Кроме того, медленный нагрев при высоких температурах может привести к окислению и обезуглероживанию стали.

Чтобы не снижать температуру колодцев при посадке холодных слитков высокоуглеродистых и легированных сталей, последние подогревают в специальной группе колодцев или в методических печах.

Нагревательные колодцы работают на сухой подине или с жидким шлакоудалением. При нагреве слитков в регенеративных нагревательных колодцах применяют жидкое шлакоудаление, особенно если нагревают слитки углеродистой стали обыкновенного качества. В этом случае после выдачи слитков из камеры ее разогревают до 1400—1450°C и спускают шлак через специальное отверстие (шлаковик). Однако на некоторых заводах шлак удаляют без потери рабочего времени, т. е. в процессе нагрева садки.

Рекуперативные колодцы обычно работают на сухой подине. В этом случае на подину колодцев насыпают слой коксика, который впитывает шлак. В подине камеры имеются отверстия, через которые шлак с коксиком удаляют в коробку, установленную на вагонетке. Эта работа очень трудоемкая и требует большой затраты времени. Поэтому в последнее время все больше стремятся переходить на работу с непрерывным жидким шлакоудалением и на рекуперативных нагревательных колодцах.

Технически возможную суточную производительность одной камеры нагревательных колодцев определяют по формуле

$$A = \frac{24Gn}{t}, \quad (II.2)$$

где 24 — число часов в сутках;

G — масса слитка, т;

n — число слитков в одной камере;

t — продолжительность нагрева, ч, включающая время на нагрев слитков, на вспомогательные операции (посадку и выдачу слитков), на удаление шлака и ремонт подины.

Практически возможная суточная производительность одной камеры с учетом простоев блюминга, задержки в подаче слитков из сталеплавильного цеха, некоторых отклонений от графика из-за одновременной готовности слитков в нескольких камерах к выдаче и разных случайных задержек

$$A_1 = Ak,$$

где k — коэффициент, учитывающий указанные выше задержки (обычно его принимают равным 0,8—0,85).

Производительность одной группы рекуперативных нагревательных колодцев с отоплением из центра подины достигает 250 тыс. т в год слитков, а часовая производительность 0,7—0,8 т/ч на 1 м² площади пода камеры.

Для нагрева слитков начинают применять также электрические нагревательные колодцы. Нагревательными элементами в этих колодцах являются карборундовые желоба, наполненные нефтяным коксом, который при прохождении электрического тока раскаляется и передает тепло окружающему пространству. Для лучшего разогрева нефтяного кокса в желоба иногда укладывают электроды. Эти колодцы компактные, так как отсутствуют рекуператоры, дымоходы и трубы.

Большим преимуществом электроколодцев является снижение утраты металла до 0,2%, что достигается созданием защитной атмосферы. Последняя образуется при введении в камеры колодцев небольшого количества нефти. При нагреве слитков в колодцах достигается более равномерный нагрев металла. Уменьшаются также расходы на обслуживание, связанные с чисткой колодцев. По литературным данным, расход электроэнергии составляет 60—70 квт·ч на 1 т слитков при горячем ваде.

Слитки, нагретые до температуры прокатки, вынимают из нагревательных колодцев краном и укладывают на слитковоз, который подвозит и укладывает их на приемный рольганг блюминга или слябинга. По рольгангу слиток поступает к рабочей клетке стана. В настоящее время применяют слитковозы с установленным на его раме приводом.

Слитковоз должен остановиться точно против того нагревательного колодца, из которого мостовой кран будет вынимать нагретый слиток. После укладки слитка в люльку слитковоза включается двигатель. Эти две операции осуществляет оператор с поста управления, расположенного у первой группы нагревательных колодцев. Все остальные операции работы слитковоза (разгон, торможение при подходе к приемному рольгангу, остановка и опрокидывание слитка на первые ролики приемного рольганга) производятся автоматически.

Таким образом, управление слитковозом является дистанционным (с пульта управления) и полуавтоматическим.

Принцип работы слитковоза аналогичен кнопочному управлению подъемного лифта. На пульте управления ПУ-1 (рис. 30) имеются кнопки управления: 10—12 кнопок (по числу групп нагревательных колодцев) для пуска двигателя и движения слитковоза от приемного рольганга к требуемой группе нагревательных колодцев 1 и одна для пуска двигателя слитковоза 2 при движении его со слитком от колодца к приемному рольгангу 3. Команда с указанием номера нагревательного колодца для выемки очередного нагретого слитка поступает на пульт управления по радиотелефону от дежурного мастера нагревательных ко-

лодцев. После этого оператор нажимает одну из кнопок пуска двигателя «к колодцу». Слитковоз разгоняется до максимальной скорости, а затем при подходе к заданному колодцу его движение замедляется. Торможение двигателя слитковоза осуществляется при помощи индуктивных путевых выключателей ($И1, И2, \dots, И10$).

При движении слитковоза по рельсам плоская стальная пластина при проходе над индуктивными выключателями (с небольшим воздушным зазором) последовательно замыкает их магнитную цепь. При этом сра-

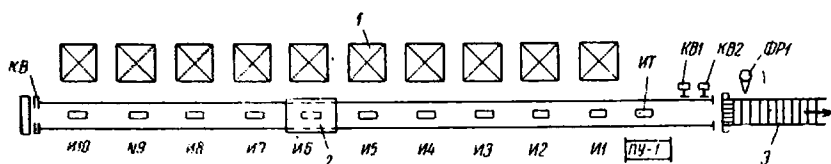


Рис. 30. Схема полуавтоматического управления слитковозом

батывают реле магнитных выключателей, двигатель переводится в тормозной режим и слитковоз останавливается против заданной (нажатием кнопки) группы нагревательных колодцев.

После установки клещевым краном слитка в люльку слитковоза оператор нажимает кнопку «к приемному рольгангу», двигатель слитковоза разгоняется до максимальной скорости, а при подходе к приемному рольгангу начинает тормозиться. Торможение двигателя начинается на расстоянии 15—20 м от рольганга при замыкании самостоятельного индуктивного выключателя $ИТ$; окончательная остановка двигателя производится конечными рычажными выключателями $КВ1$ и $КВ2$. При этом автоматически включается двигатель поворота люльки со слитком, слиток укладывается на первые ролики рольганга, а люлька возвращается в исходное положение; при этом реле $ФР1$ дает команду двигателю привода рольганга на подачу слитка к стану.

Для надежной работы индуктивных выключателей в описанной схеме автоматизации требуется жесткое бетонное основание для рельсов, по которым движется слитковоз, что необходимо для обеспечения постоянной величины воздушного зазора между якорем (пластинкой внизу или сбоку слитковоза) и электромагнитными катушками индуктивных выключателей, расположенных на фундаменте по пути движения слитковоза.

В последние годы производительность блюмингов значительно возросла. Так, производительность одноклетевого дуо-реверсивного блюминга 1150 равна 3,0—3,5 млн. t в год, а автоматизированного блюминга 1300 5,0—5,5 млн. t в год. При такой производительности длина здания нагревательных колодцев значительно увеличивается, а слитки должны подаваться к стану через 45—60 сек. Чтобы обеспечить такой ритм прокатки, слитковоз должен двигаться с большими скоростями. В настоящее время скорость передвижения слитковоза составляет 6,7—7,7 м/сек.

Следует отметить, что для увеличения скорости движения слитковоза в некоторых случаях применяют канатный привод от барабанов, расположенных по концам пути движения.

Для облегчения работы слитковоза в здании нагревательных колодцев вводят приемный рольганг блюминга (иногда до третьей группы колодцев) с установкой на нем стационарного опрокидывателя. В этом случае уменьшается пробег слитковоза, а применение стационарного

опрокидывателя позволяет осуществить подачу слитков из первых групп колодцев на приемный рольганг клещевыми кранами, что также облегчает работу слитковоза. Опрокидыватель используют для подъема в вертикальное положение слитков и недоката, возвращенных со стана, для захвата их клещевым краном.

При продольном расположении нагревательных колодцев в двух параллельных пролетах используют два слитковоза (см. рис. 22). Первым слитковозом слитки подают на приемный рольганг рабочей клетки

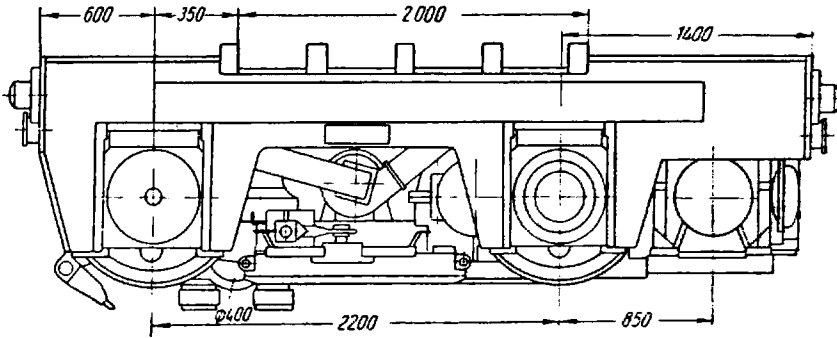


Рис. 31. Слитковоз блэуинга 1300 конструкция УЗТМ

слябинга; вторым слитковозом слитки подают на боковой вспомогательный приемный рольганг, а с него на рольганг-тележку, передвигающуюся по рельсам и соединяющую оба приемных рольганга. При таком расположении нагревательных колодцев пробег слитковоза уменьшается в два раза, причем сохраняются хорошие условия транспортировки слитков из сталеплавильного цеха в здание колодцев.

Наилучшая схема расположения здания нагревательных колодцев приведена на рис. 10. Здесь применена кольцевая подача слитков от колодцев к приемному рольгангу. По замкнутому кольцевому пути непрерывно движутся по заданной программе четыре слитковоза с горизонтальными платформами для слитков. Прямые участки кольцевого пути расположены один вдоль фронта нагревательных колодцев, другой — с наружной стороны здания. Каждый из слитковозов, приняв очередной слиток, доставляет его к приемному рольгангу. Слитковоз автоматически останавливается сбоку у приемного рольганга и слиток сталкивается с него на рольганг при помощи стационарного сталкивателя.

Слитковоз (рис. 31) представляет собой самоходную тележку с горизонтальной сварной платформой.

Преимущества этого слитковоза следующие:

1) простота конструкции (отсутствие люльки-опрокидывателя со сложным шатунно-кривошипным механизмом для опрокидывания) и надежность в эксплуатации, необходимые для бесперебойной работы;

2) небольшая масса слитковоза (26,5 т) и небольшой расход энергии на его передвижение;

3) возможность включения в автоматический цикл кольцевой подачи слитков нескольких слитковозов, обеспечивающей высокую производительность блэуинга (до 800 т/ч слитков);

4) возможность укладки слитка на платформу в горизонтальном положении, соответствующем положению слитка при прокатке.

Для облегчения работы слитковоза на некоторых заводах США применяют поперечное расположение здания нагревательных колодцев. В этом случае пробег слитковоза также уменьшается. Однако такое рас-

положение здания нагревательных колодцев затрудняет транспортировку слитков из сталеплавильного цеха в здание нагревательных колодцев и усложняет ввод железнодорожных путей в пролеты здания блюминга или слябинга.

Наиболее совершенной схемой поперечного расположения здания нагревательных колодцев является схема, представленная на рис. 32. Особенностью этой схемы является островное расположение колодцев; железнодорожные пути для подачи слитков в здание колодцев расположены с одной стороны нагревательных колодцев, а путь слитковоза —

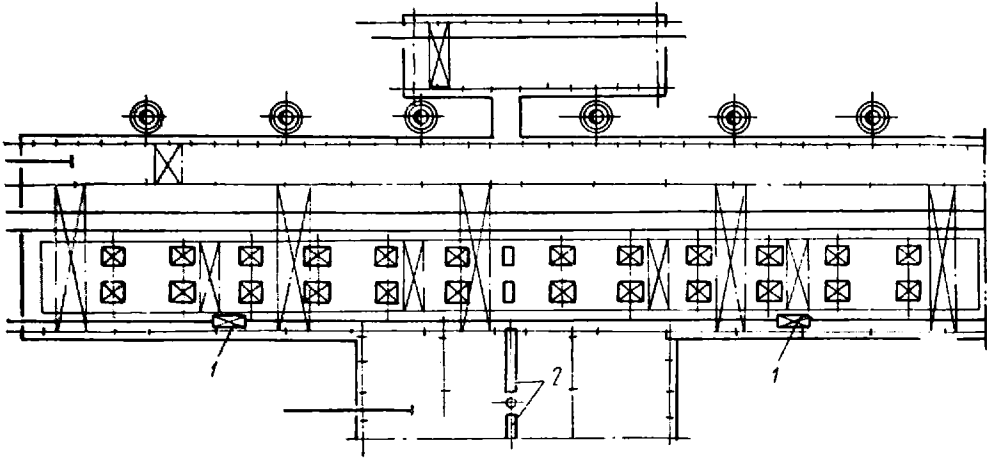


Рис. 32. Поперечное расположение здания нагревательных колодцев:
1 — слитковоз; 2 — рольганги блюминга

с другой стороны. Этим достигается лучшая организация грузопотока и облегчается работа кранов, так как слитки загружают в колодцы с одной стороны, а выдают из колодцев на другую сторону. Островное расположение нагревательных колодцев применяют и при продольном расположении здания.

5. РЕЖИМЫ ОБЖАТИЙ И КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

Прокатка блюмов, заготовок и слябов осуществляется за несколько проходов, число которых устанавливают в зависимости от размеров исходного и конечного сечений [11, 4, 6, 28, 29, 30, 31].

Заготовки, сортовую сталь и фасонные профили прокатывают в калиброванных валках, т. е. в валках, на рабочей поверхности которых вытачивают специальные вырезы в соответствии с требуемой формой прокатываемой полосы. Врез в тело одного валка называют ручьем. Просвет, образованный двумя ручьями в плоскости, проходящей через оси валков, называют калибром. Границу этих ручьев называют разъемом валков. Если линия разьема валков находится вне пределов калибра, то последний называют закрытым (рис. 33а), а если в пределах калибра, то его называют открытым (рис. 33, б) [1, 1, 5].

При прокатке блюмов и заготовок во всех калибрах происходит лишь уменьшение поперечного сечения прокатываемого металла. Калибры, предназначенные только для уменьшения сечения прокатываемого металла, называют обжимными или вытяжными. К наиболее распространенным вытяжным калибрам относят прямоугольные (ящичные), квадратные, ромбические и овальные (рис. 34).

Калибры, применяемые для последующих проходов при прокатке сортовой стали, называют черновыми или подготовительными. В этих калибрах, кроме уменьшения площади сечения прокатываемого металла, происходит изменение формы поперечного сечения с постепенным приближением к готовому профилю.

Калибры, применяемые для предпоследнего прохода, называют предотделочными или предчистовыми. Калибры, применяемые для последнего прохода, называют отделочными или чистовыми. В этих калибрах прокатываемый профиль получает окончательные размеры и форму.

По форме и размерам чистовые калибры соответствуют прокатываемому профилю. Различие между ними состоит только в том, что чистовой калибр конструируют с учетом коэффициента линейного расширения металла и допусков на размеры профиля.

При прокатке в калибрах частично или полностью ограничивают уширение, что повышает пластические свойства металла и позволяет увеличить обжатие за каждый проход. Кроме того, прокатка в калибрах характеризуется неравномерностью деформации.

Расчет режима обжатий и конструирование калибров для получения заданного профиля проката составляет предмет калибровки валков.

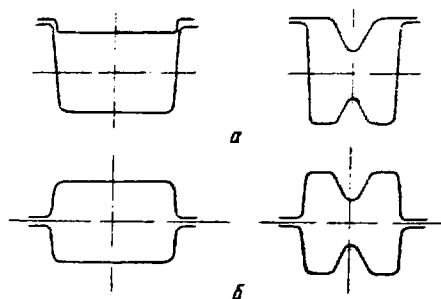


Рис. 33. Закрытые (а) и открытые (б) калибры

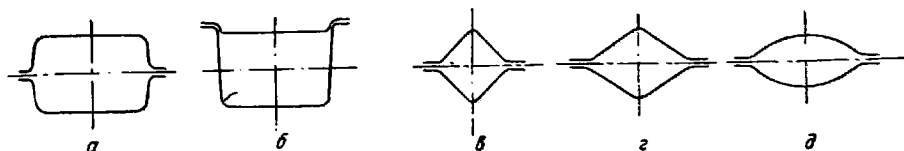


Рис. 34. Вытяжные калибры:

а и б — прямоугольные; в — квадратный; г — ромбический; д — овальный

Сначала составляют схему прокатки (калибровки), которая дает представление о форме калибров, применяемых для получения заданного профиля. При составлении схемы прокатки устанавливают также число проходов, обжатия (вытяжку) за проход, порядок и число кантовок, распределение проходов по клетям стана и т. п.

В зависимости от конкретных условий для прокатки одного и того же профиля могут быть применены различные схемы калибровки. Выбор рациональной схемы прокатки (калибровки) обычно достигается в результате анализа разных вариантов калибровки с учетом технико-экономических показателей.

Правильно выполненная калибровка должна обеспечить получение точного профиля с качественной поверхностью и требуемыми механическими свойствами, наибольшую универсальность схемы и простоту настройки стана, минимальный расход энергии, высокую производительность стана, минимальную себестоимость проката, возможность механизации и автоматизации процесса прокатки.

При прокатке блюмов во всех калибрах происходит лишь уменьшение его поперечного сечения. Поэтому прокатку слитков в блюмы удоб-

нее осуществлять в прямоугольных калибрах. Каждый такой калибр можно применять для нескольких проходов перемещением верхнего вала после каждого прохода (рис. 35). Благодаря этому сокращается число калибров и имеется возможность в одной клетке блюминга осуществлять большое число проходов. Кроме того, в этом случае можно прокатывать слитки в блюмы при различных исходном и конечном сечениях.

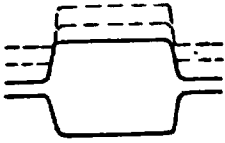


Рис. 35. Схема прокатки в калибре валков блюминга

Прокатка в прямоугольных калибрах обеспечивает равномерное обжатие по всей ширине раската, при этом деформация может происходить с различной степенью ограничения уширения. При прокатке в этих калибрах окалина легко удаляется с боковых граней раската.

Большое распространение на металлургических заводах получила система калибровки, приведенная на рис. 36, а. Особенностью этой системы калибровки является наличие гладкой части бочки посредичне вала, на которой производят первые проходы. Требуемое сечение блюмов получается после нескольких проходов в калибрах, распо-

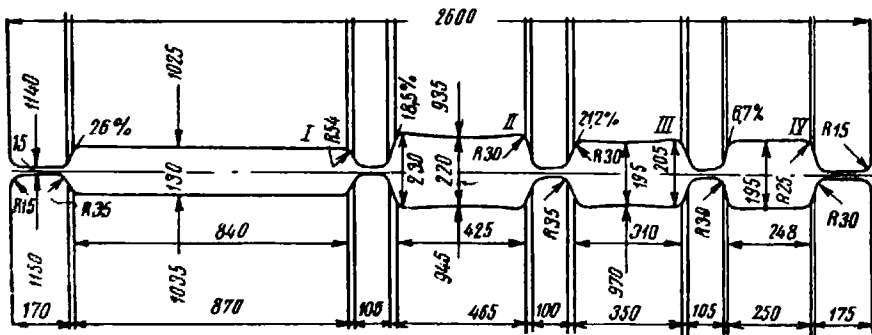
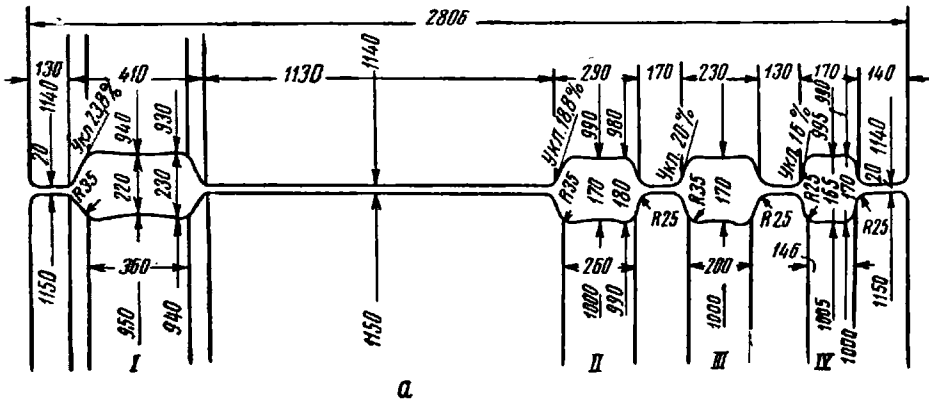


Рис. 36. Калибровка валков блюминга 1150

женных по обе стороны гладкой части бочки. Эта система калибровки имеет следующие преимущества:

1) гладкая часть бочки используется для предварительной прокатки слитка и для прокатки слябов;

2) опасное сечение, находящееся посредине бочки валка, не ослаблено, поэтому имеется возможность вести прокатку с большими обжатиями;

3) давление металла на валки при прокатке на гладкой части бочки распределяется равномерно на обе шейки, что уменьшает неравномерный износ вкладышей подшипников валков;

4) большая часть окалины удаляется в первых проходах, вследствие чего уменьшается возможность попадания окалины на шейки валков;

5) более высокая производительность стана достигается за счет больших обжатий на гладкой части бочки и в калибрах, а также за счет сокращения пауз.

Применение гладкой части бочки для первых проходов позволяет использовать максимальный диаметр валков для улучшения условий захвата и увеличения глубины проникновения деформации. Кроме того, отсутствие буртов позволяет более рационально использовать длину бочки валков.

На рис. 36, б приведены валки блюминга 1150 с системой калибровки другого типа, которая получила большое распространение на металлургических заводах СССР. Эта система калибровки отличается от рассмотренной тем, что гладкая часть бочки валка выполнена в виде калибра с небольшой глубиной вреза и расположена не посредине, а с краю, со стороны привода валков. Остальные калибры располагают по ходу прокатки.

Эта система калибровки сокращает время прокатки и повышает производительность блюминга. Недостатком является то, что давление металла при прокатке на гладкой части бочки валка распределяется на обе шейки неодинаково, в результате чего получается неравномерный износ вкладышей подшипников валков. Кроме того, возможно попадание окалины на шейку валка.

Калибровка валков первого типа менее распространена (чаще всего ее применяют в тех случаях, когда блюминг прокатывает большое количество слябов).

Расчет режима обжатий и калибровки валков для прокатки блюмов и слябов выполняют применительно к заданным условиям, главными из которых являются:

1) характеристика блюмов и слябов: размеры, допускаемые отклонения, требования, предъявляемые к качеству поверхности и форме поперечного сечения, и др.;

2) характеристика исходного материала: размеры и масса слитка, марка стали, температура металла перед прокаткой и по ходу процесса;

3) характеристика блюминга: диаметр и длина бочки валков, скорость прокатки, мощность двигателя, прочность валков и деталей стана, скорость перемещения нажимных винтов, механическое оборудование стана и др.

Наряду с получением качественного блюма или сляба при составлении режима обжатий необходимо учитывать следующее:

1) обжатия за проход не должны вызывать перегрузку двигателя, превышать допускаемые давления металла на валки и затруднять условия захвата раската валками;

2) продолжительность цикла прокатки должна быть минимальной, для чего необходимо стремиться к сокращению общего числа проходов, кантовок и перемещений раската от калибра к калибру;

3) обеспечение минимальной себестоимости проката и возможности механизации и автоматизации процесса прокатки.

Ввиду того, что из слитка одной массы прокатывают блюмы нескольких сечений, необходимо стремиться к возможной унификации режима в начальных проходах; при этом различие в режимах обжатий должно быть лишь в последних проходах. Это мероприятие значительно облегчит автоматизацию процесса прокатки и обеспечит увеличение производительности стана.

Производительность блюминга в значительной мере зависит от обжатия за каждый проход; чем больше обжатие, тем меньше нужно проходов и меньше ритм прокатки, следовательно, тем больше производительность стана. Следует отметить, что уменьшение числа проходов влияет на рост производительности блюминга в большей мере, чем повышение скорости прокатки. С уменьшением числа проходов увеличивается коэффициент полезного действия стана.

Для увеличения производительности блюминга необходимо применять возможно большие обжатия за каждый проход. Кроме того, большие обжатия обеспечивают лучшую прорабатываемость центральных слоев металла, уменьшают неравномерность деформации по толщине раската и улучшают качество проката.

К основным факторам, ограничивающим обжатие при прокатке за каждый проход, относят пластичность металла, условия захвата металла валками, прочность валков, мощность двигателя стана, износ валков, уширение (при прокатке в калибрах).

По данным практики и исследований пластичность стали ограничивает обжатие лишь в первых проходах при прокатке слитков главным образом легированной стали. В этих случаях обжатие за проход и суммарная деформация определяются на основании опытных данных. Следует отметить, что применение в этих случаях большой дробности деформации позволяет довести суммарную деформацию без разрушения до значительной величины. Опыты показывают, что чем меньше частные обжатия, тем большей суммарной деформации можно достигнуть.

В большинстве случаев прокатки блюмов и слябов на современных блюмингах обжатие за каждый проход ограничивается условиями захвата полосы валками. В этих случаях режим обжатий рассчитывают, исходя из условия надежного захвата с последующей проверкой прочности валков и деталей стана и мощности двигателей.

Максимальное обжатие за проход по условию захвата раската валками может быть определено по формуле

$$\Delta h_{\max} = \frac{D_p}{2} \alpha^2, \quad (\text{II.3})$$

где D_p — катающий диаметр валков, мм;

α — угол захвата, рад.

Катающим или рабочим диаметром валков называют диаметр валка в калибре, которому соответствует скорость полосы при выходе из валков без учета опережения. При прокатке в прямоугольных калибрах катающий диаметр принимают равным диаметру валков по дну калибра.

В процессе эксплуатации валки многократно перетачивают. Диаметр валков данного стана изменяется с D_{\max} (новые валки) до D_{\min} (валки после последней переточки).

Коэффициент переточки валков

$$k = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{н}}},$$

где $D_{\text{н}}$ — номинальный диаметр валков.

Для заготовочных станков коэффициент k может быть принят в пределах 0,08—0,12.

Катающий диаметр валков с учетом уменьшения номинального диаметра валков после переточки на 10% (рис. 37)

$$D_p = 0,9(D_n - h),$$

где 0,9 — коэффициент, учитывающий переточку валков;
 h — высота калибра.

Максимальное обжатие за отдельный проход по условиям захвата раската валками может быть определено также по формуле

$$\Delta h_{\text{макс}} = D_p \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right), \quad (\text{II.4})$$

где f — коэффициент трения между прокатываемой полосой и валками.

Допустимые значения углов захвата при прокатке на блюмингах и слябингах следующие (при скорости захвата до 1,5 м/сек): на гладкой бочке $\alpha = 22 \div 24^\circ$; в калибрах $\alpha = 24 \div 27^\circ$; на валках с насечкой $\alpha = 30 \div 32^\circ$. При скорости захвата свыше 1,5 м/сек допустимые углы захвата соответственно уменьшаются (например, на 50% при скорости до 3 м/сек).

Коэффициент трения можно определить по формуле [1, 6, 8, 9].

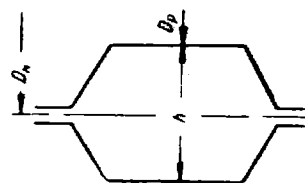


Рис. 37. Катающий диаметр валков

$$f = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t), \quad (\text{II.5})$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий состояние поверхности и материал валков;

k_2 — коэффициент, учитывающий влияние скорости прокатки;

k_3 — коэффициент, учитывающий влияние легирующих элементов прокатываемого металла;

t — температура прокатываемого металла.

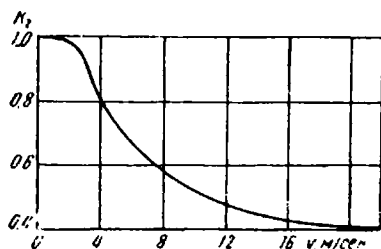


Рис. 38. Зависимость коэффициента k_2 от скорости прокатки (по Б. П. Бахтинову)

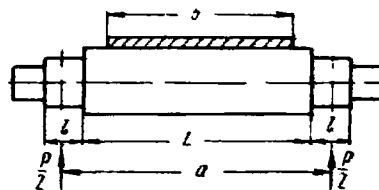


Рис. 39. Схема усилий, действующих при прокатке в валках слябинга

Значения коэффициента k_1 можно принимать следующие: для валков стальных шероховатых $k_1 = 1$ и для валков чугунных шероховатых $k_1 = 0,8$.

Значение коэффициента k_2 можно принимать по графику, приведенному на рис. 38.

Ниже приведены значения коэффициента k_3 по данным Ю. М. Чижикова для разных сталей:

Углеродистые (Ст. 1)	1,0
Ледебуритные (P18)	1,10
Перлитно-мартенситные (ШХ15, 38ХМЮА, 4Х13)	1,24—1,30
Аустенитные (Х13Н4Г9)	1,40
То же, с включениями феррита или ледебурита (1Х18Н9Т)	1,45
Ферритные (1Х17ЮА)	1,55
Аустенитные с карбидами (Х15Н60)	1,60

Ограничение обжатия мощностью двигателя наблюдается на существующих блюмингах с валками диаметром 1100—1150 мм при мощности электродвигателя 5148 кВт. Эта мощность является недостаточной при прокатке с обжатиями, которые могут быть определены из условий захвата раската валками.

Обжатие за каждый проход будет определяться из условия одинаковой мощности во всех проходах. Следовательно, минимальные обжатия будут в первых проходах, а максимальные — в последних.

Ограничение обжатия условиями захвата раската валками наблюдается на всех новых блюмингах, двигатели которых имеют достаточную мощность. Обжатие во всех проходах в этом случае будет примерно одинаковым.

В некоторых случаях обжатие за каждый проход может ограничиваться прочностью валков, например при прокатке широких слябов. Обжатие за каждый проход определяется усилием, допускаемым прочностью валков. Для рабочей клетки дуо (рис. 39) изгибающий момент

$$M_{изг} = P \left(\frac{a}{4} - \frac{b}{8} \right) = 0,1D^3R_B.$$

Отсюда
$$P = \frac{0,8D^3R_B}{2a - b}, \quad (II.6)$$

где D — диаметр валка;

$a = L + l$ — длина бочки и шейки валка;

b — ширина прокатываемого сляба;

R_B — допускаемое напряжение на изгиб.

При определении усилия по формуле (II. 6) моментом кручения валка ввиду незначительности его влияния пренебрегаем.

Давление металла на валки в каждом проходе не должно превышать давления, допускаемого прочностью валков, и может быть определено по формуле

$$P = pb \sqrt{R \Delta h}, \quad (II.7)$$

где R — радиус валка;

Δh — обжатие за данный проход;

p — среднее удельное давление металла на валки.

Обжатие за каждый проход

$$\Delta h = \frac{1}{R} \left(\frac{P}{pb} \right)^2. \quad (II.8)$$

Задаваясь средним удельным давлением металла на валки, исходя из практических данных определяют обжатие за проход.

Иногда обжатие в первых проходах уменьшают и по другим причинам. Так, при прокатке кипящей стали в первых проходах применяют небольшое обжатие с целью предотвратить вскрытие подкорковых пузы-

рей. При прокатке некоторых легированных сталей с сильно развитой дендритной структурой и, следовательно, пониженной пластичностью в первых проходах иногда также применяют небольшое обжатие, чтобы предотвратить образование трещин на боковых поверхностях. Обжатие в первых проходах уменьшают иногда при ухудшении захвата раската валками из-за окалины, образующейся в процессе нагрева.

Вследствие весьма сложного характера изменения пластичности и сопротивления деформации при совместном действии разных условий (схема напряженного состояния, температура, скорость деформации, коэффициент внешнего трения, форма полосы и т. п.) невозможно задачу выбора обжатий по проходам решить строго математически. В каждом проходе необходимо выбирать максимальное обжатие при наиболее полном использовании пластических свойств металла, условий захвата, прочности валков и мощности двигателя. Это возможно только при помощи расчета и анализа основных условий процесса прокатки.

При расчете режима обжатий рекомендуется придерживаться следующего порядка. Выбрав размеры и массу слитка, определяют максимальное обжатие за проход по формуле (II.3) или (II.4).

Учитывая опыт работы других заводов, имеющих аналогичные условия, принимают среднее обжатие за проход $\Delta h_{\text{ср}}$. После этого определяют суммарное обжатие по формуле

$$\Sigma \Delta h = (1 + C_{\text{ср}}) [(A - a) + (B - a)], \quad (\text{II.9})$$

где $(A - a)$ и $(B - a)$ — обжатие одной и другой сторон слитка (рис. 40);

$C_{\text{ср}}$ — средний показатель уширения.

Средний показатель уширения можно принять равным 0,15. Тогда суммарное обжатие

$$\Sigma \Delta h = 1,15 [(A - a) + (B - a)].$$

Число проходов определяют по формуле

$$n = \frac{1,15 [(A - a) + (B - a)]}{\Delta h_{\text{ср}}}. \quad (\text{II.10})$$

Полученное число проходов должно быть нечетным (для одноклетевого блюминга). После этого распределяют обжатия по проходам, составляют таблицу обжатий и определяют число калибров и их размеры.

При составлении схемы обжатий, определении числа калибров и их размеров необходимо учитывать возможность прокатки на одних и тех же валках сталей различных марок, а также блюмов и слябов различных сечений. В зависимости от программы прокатки на практике приходится на одних и тех же валках осуществлять несколько схем обжатий (особенно на заводах качественной стали). В этом случае стали с одинаковой пластичностью и одинаковым сопротивлением деформации объединяют в группы, причем для каждой из них составляют режим обжатий.

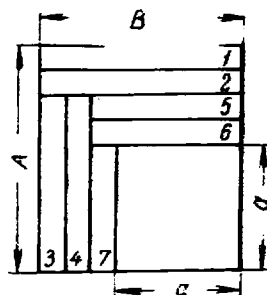


Рис. 40. Схема прокатки квадратной заготовки из слитка

Весьма важным при распределении обжатий по проходам является определение числа кантовок раската и распределение их по ходу прокатки. Для увеличения производительности стана желательно применять возможно меньшее число кантовок. Однако для получения блюмов высокого качества желательно кантовки производить возможно чаще, так как большое обжатие в одном направлении может привести к образованию скворечников, трещин, рванин и других дефектов на боковой поверхности раската.

Кантователь обычно устанавливают с передней стороны блюминга, поэтому кантовку раската предусматривают после соответствующих четных проходов.

Практически первую кантовку производят после двух-четырех проходов, вторую после четырех-шести следующих проходов, третью после двух-четырех следующих проходов и т. д. Последнюю кантовку производят перед последним проходом.

При распределении кантовок при прокатке блюмов учитывают условия устойчивости раската против сваливания. В связи с этим необходимо, чтобы отношение ширины к толщине раската не превышало 1,5 при прокатке на гладкой части бочки валка и 1,5—2,0 при прокатке в калибрах. При прокатке некоторых легированных и высокоуглеродистых сталей для получения блюмов высокого качества обычно кантовки осуществляют через каждые два прохода независимо от отношения сторон прокатываемого раската.

При составлении режима обжатий блюмов в первых проходах из-за плохого захвата (пониженный коэффициент трения из-за окалины) и большой ширины раската обжатие принимают несколько меньше средней величины и в последующих проходах больше этой величины. Учитывая конусность слитка, обжатие в первом проходе и в проходе после первой кантовки можно принимать максимальным.

Для расчета размеров раската по проходам, кроме обжатия, числа проходов и порядка кантовок, надо знать уширение в каждом из них.

Обычно в первом проходе и в проходе после первой кантовки уширение принимают равным нулю. В остальных проходах уширение можно определять по формуле

$$\Delta b = C \Delta h, \quad (\text{II.11})$$

где C — показатель уширения, определяемый по графику, приведенному на рис. 41.

Уширение в каждом проходе можно также определять по формулам Б. П. Бахтинова:

при отношении $\frac{h_0}{b_0} \leq 1$

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2h_0} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right); \quad (\text{II.12})$$

при отношении $\frac{h_0}{b_0} > 1$

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2h_0} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \left(1 + \frac{h_1 + 0,5 \Delta h - f \sqrt{R \Delta h}}{D} \right), \quad (\text{II.12a})$$

где h_0 и h_1 — толщина раската до прохода и после него;

R — катающий радиус валков;

b_0 — ширина раската до прохода;

f — коэффициент трения между прокатываемой полосой и валками, определяемый по формуле (II.5).

После определения режима обжатий находят число калибров и их размеры. Ширину первого калибра (гладкая часть бочки) при прокатке только блюмов принимают равной максимальной ширине слитков плюс 50 мм. При прокатке блюмов и слябов ширину калибра принимают обычно на 150—200 мм больше максимальной ширины слябов, прокатываемых на блюминге.

Высота калибра при прокатке слябов должна обеспечивать прокатку слябов минимальной толщины. При отсутствии в сортаменте блюминга слябов высота первого калибра иногда достигает 100 мм и

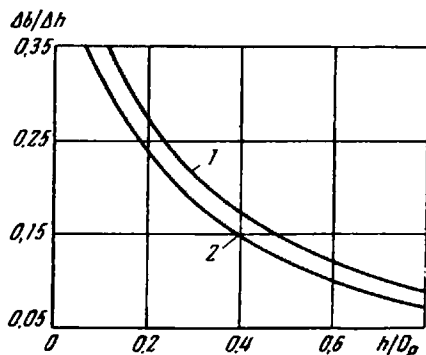


Рис. 41. Изменение показателя уширения при прокатке на блюминге: 1 — гладкая бочка; 2 — ящичный калибр

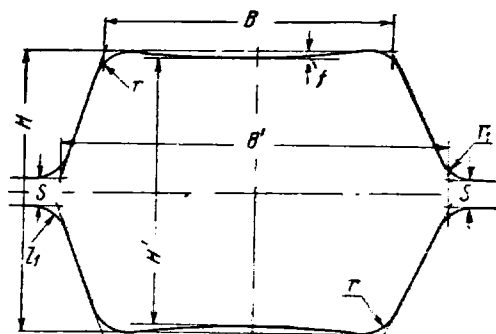


Рис. 42. Построение калибра валков блюминга

более. Однако следует помнить, что при этом уменьшается диаметр валика, а следовательно, ухудшаются условия захвата и уменьшается глубина проникновения деформации. Дно калибра плоское или слегка выпуклое для компенсации износа валков.

Высоту следующих калибров принимают сравнительно небольшой и почти одинаковой для всех калибров (не более 200 мм).

Боковые стенки калибра делают с наклоном к оси валков, который называют выпуском (рис. 42). Выпуск выражают в мм, процентах глубины ручья ($\frac{e}{h} 100\%$) или в градусах (φ°).

Выпуск имеет весьма важное значение для входа полосы в валки и выхода из них. Задача полосы в калибр не представляет каких-либо затруднений; так же легко полоса выходит из калибра. В калибр с почти вертикальными стенками полосу труднее задать, так как при малейшей неточности направления она будет ударяться о края калибра (бурты) и отбрасываться назад; вследствие уширения раскат может защищаться боковыми стенками калибра и оковать валки.

Наклон боковых стенок калибра имеет еще и другое значение. По мере износа валков размеры калибра увеличиваются, форма его искажается, а рабочие поверхности покрываются неровностями и мелкими трещинами. Дальнейшая прокатка в таких калибрах сопряжена со многими дефектами проката, поэтому валки перетачивают для восстановления первоначальной формы, размеров и требуемой поверхности калибра.

Если боковые стенки калибра не имеют наклона, то при переточке невозможно восстановить его прежние размеры. В калибре с выпуском имеется возможность восстановить прежние размеры за счет соответствующего углубления; при этом чем больше выпуск, тем меньше приходится стачивать валки по диаметру

Выпуск на блюминге принимают от 15 до 30%. Это позволяет производить в каждом калибре несколько проходов без кантовки, применяя большие обжатия за каждый проход и прокатывать блюмы без лампасов. Почти одинаковые катающие диаметры валков в этих калибрах позволяют делать первые станинные ролики гладкими.

Ширину калибров в глубине вреза обычно принимают несколько меньше минимальной ширины раската, задаваемого в калибр, так как при этих условиях может быть обеспечено надежное удержание раската в калибре и предотвращено его свертывание.

Ширину калибров у разъема принимают равной максимальной ширине раската, прокатываемого в данном калибре, плюс 3—10 мм. Ширину первого калибра после гладкой бочки принимают равной 350—400 мм.

Выпуклость дна калибра допускается во всех промежуточных калибрах, кроме первого и последнего (чистового).

В первых проходах происходит преимущественное развитие уширения у контактных поверхностей, затем уширение становится равномерным, и вертикальные стороны раската становятся плоскими.

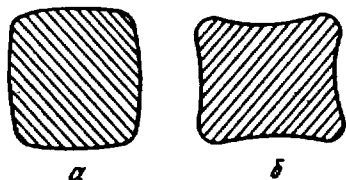


Рис. 43. Блюм неустойчивой (а) и устойчивой (б) формы

При кантовке раската он плотно ложится на ролики рольганга. При дальнейшей прокатке уширение в максимальной степени развивается посередине толщины раската, и стороны его получают выпуклыми (рис. 43, а). После кантовки такой раскат очень неустойчив на рольганге. Образование выпуклости боковых сторон раската предупреждают тем, что дну калибра придается выпуклость. После прокатки в

таком калибре раскат имеет выпуклые углы, которые придают ему необходимую устойчивость на рольганге (рис. 43, б). Полученная впадина в сторонах раската после кантовки на 90° и последующей прокатки несколько сглаживается. Однако она все же не переходит в выпуклость и после второй кантовки полоса сохраняет устойчивость. Обычно выпуклость дна калибра принимают не более 5 мм.

При расточке калибров на валках в редких случаях допускают углы без закруглений; обычно их закругляют или притупляют. Закругления или притупления углов весьма целесообразны. Углы прокатываемого раската быстрее охлаждаются, а углы калибра в значительной степени ослабляют прочность валков.

Радиус закругления в чистовом калибре принимают по ГОСТу для соответствующего блюма, а в промежуточных калибрах последовательно увеличивают на 5 мм. Радиусы закруглений также могут быть определены в зависимости от ширины раската, задаваемого в калибр:

$$r = (0,12 \div 0,20) B$$

и

$$r_1 = (0,08 \div 0,12) B.$$

Ширину буртов принимают не менее 50% глубины вреза калибра.

Зазор между валками следует принимать несколько больше отдачи валков. Отдача валков пропорциональна давлению металла на валки. Поэтому рекомендуется зазор между валками определять исходя из диаметра валков. Например, для блюмингов зазор между валками принимают равным 1—1,5% диаметра валков. Обычно его принимают равным 10—15 мм.

Для достижения высокой производительности и безопасной работы на стане весьма важно обеспечить прямолинейный выход полосы из валков. Однако валки стремятся увлечь за собой раскат, в результате чего он изгибается, а иногда и оковывает валок. Оковывание валка расстраивает стан и часто приводит к поломкам валков, муфт и т. п.

Для обеспечения прямолинейного выхода раската из валков казалось бы естественным изготавливать их одинакового диаметра. Однако практика показывает, что всегда могут появиться причины, которые в одном случае будут загибать полосу на нижний валок, а в другом — на верхний.

При таком неопределенном изгибе раската пришлось бы устанавливать выводные проводки на нижнем и верхнем валках. Чтобы избежать установки проводок на обоих валках, а раскату заранее задать определенное направление, применяют валки с разными диаметрами. Если диаметр верхнего валка, например, на 5 мм больше диаметра нижнего, то это означает, что имеется верхнее давление 5 мм. При верхнем давлении выводные проводки устанавливают только на нижнем валке, так как вследствие большей окружной скорости верхнего валка раскат изгибается вниз. Вначале конец раската при выходе из валков скользит по проводке, а затем получает прямолинейное направление.

Прокатка сортовой стали обычно осуществляется с верхним давлением. Рекомендуется принимать следующие величины верхнего давления от диаметра валков:

- 1) для вытяжных прямоугольных калибров не более 2—3%;
- 2) для других типов обжимных и вытяжных калибров открытой формы не более 1%;
- 3) для чистовых калибров любой формы близкое к нулю.

По существу правильнее было бы пользоваться не разностью диаметров, а разностью их окружных скоростей. Чтобы полосу при выходе из валков направить вверх или вниз, необходимо создать определенную разность скоростей валков.

Следовательно, верхнее или нижнее давление надо выбирать также с учетом числа оборотов валков.

Нижнее давление применяют значительно реже верхнего, в частности его применяют при прокатке на блюминге. Крупные сечения являются слишком жесткими для того, чтобы оковать валки. В этих случаях целесообразнее иметь нижнее давление, чтобы создать некоторый подъем переднего конца раската для улучшения условий работы передних роликов рольганга. При этом передний конец (рис. 44) не будет при выходе из валков упираться в ролики рольганга. Нижнее давление обычно незначительное (не более 10 мм). В этом случае катающий диаметр верхнего валка

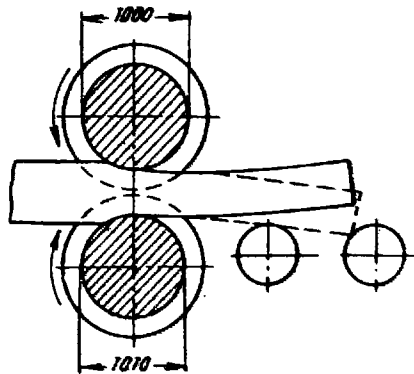


Рис. 44. Влияние нижнего давления на направление выхода раската при прокатке на блюминге

$$D_p = D_n - h - \frac{\Delta}{2},$$

где D_n — номинальный диаметр валка; h — высота калибра; Δ — нижнее давление.

Катающий диаметр нижнего валка больше катающего диаметра верхнего валка на величину нижнего давления.

Для выполнения чертежа валков необходимо ознакомиться с некоторыми понятиями (рис. 45, а). Расстояние между осями двух валков называют средним диаметром валков $D_{\text{ср}}$. Горизонтальную линию AB , делящую это расстояние пополам ($D_{\text{ср}}/2$), называют средней линией валков.

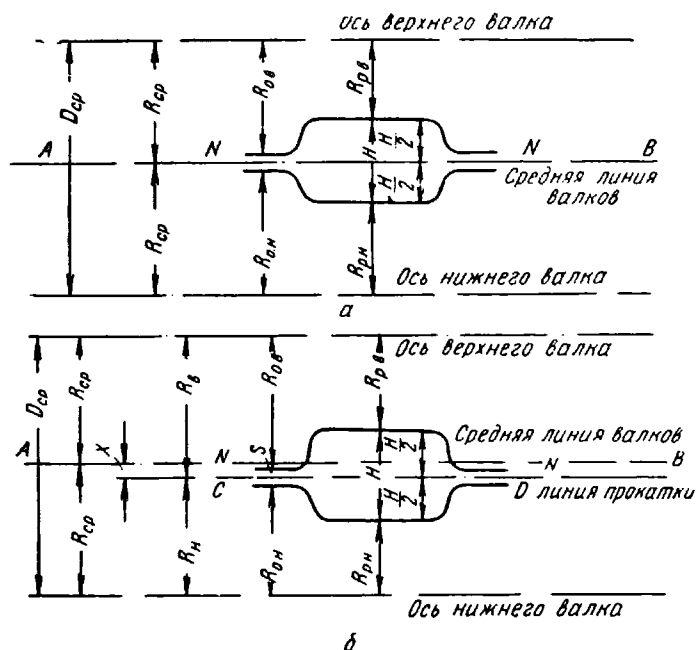


Рис. 45. Линия прокатки и средняя линия валков:
а — при отсутствии давления; б — при верхнем давлении

Очевидно, что если нужно врезать в валки калибр, симметричный относительно горизонтальной оси, так, чтобы давление в нем равнялось нулю (диаметры верхнего и нижнего валков равны), то необходимо совместить среднюю линию валков с осью симметрии калибра (нейтральной линией).

В случае, когда требуется врезать калибр с верхним давлением, необходимо нейтральную линию NN калибра сместить вниз относительно средней линии валков так, чтобы диаметр верхнего валка был больше диаметра нижнего.

Новую линию CD (рис. 45, б), которая обеспечивает заданное давление в калибре, называют линией прокатки.

При заданном давлении положение линии прокатки относительно средней линии валков определяется довольно точно.

Допустим, что

$$D_{\text{в}} - D_{\text{н}} = \Delta D \text{ или } R_{\text{в}} - R_{\text{н}} = \frac{\Delta D}{2}.$$

По схеме на рис. 45, б имеем

$$R_{\text{в}} = R_{\text{ср}} + x \text{ и } R_{\text{н}} = R_{\text{ср}} - x,$$

$$R_{\text{в}} - R_{\text{н}} = 2x, \quad 2x = \frac{\Delta D}{2} \text{ и } x = \frac{\Delta D}{4}.$$

Из этого следует, что линия прокатки при верхнем давлении проходит ниже средней линии валков на расстоянии $\Delta D/4$, а при нижнем давлении выше средней линии валков также на расстоянии $\Delta D/4$.

Для выполнения чертежа валков необходимо предварительно определить нейтральную линию калибров. Нейтральная линия калибра выражает условия симметричности процесса прокатки относительно горизонтальной оси. Если ее совместить со средней линией валков, то получим идеальные условия прокатки: одинаковые окружные скорости валков, прямолинейный выход полосы, отсутствие напряжений в полосе и ударов в стане и т. п.

В симметричных калибрах нейтральная линия проходит посередине высоты калибра. К таким калибрам относятся прямоугольные, квадратные, ромбические, овальные, круглые и т. п.

Расчет калибровки валков блюминга заканчивается составлением таблицы режима обжатий (табл. 2). После этого режим обжатий проверяют по перегрузке двигателя и прочности валков.

Таблица 2

Режим обжатий при прокатке blooms 250×250 мм из слитков низкоуглеродистой стали массой 6,7 и 7,1 т на блюминге 1150

Номер прохода	Размеры после прокатки, мм		Обжатие мм	Уширение мм	Угол захвата α
	толщина	ширина			
1	680	685	80	5	23°35
2К	600	690	80	5	23°35
3	615	605	75	5	22°55
4	540	610	75	5	22°55
5	470	615	70	5	22°05
6К	400	620	70	5	22°05
7	540	410	80	10	23°50
8	460	420	80	10	23°50
9	380	435	80	15	23°50
10К	300	450	80	15	23°50
11	370	315	80	15	23°20
12К	290	330	80	15	23°20
13	280	300	50	10	17°40
14К	240	310	40	10	16°30
15	250	250	60	10	20°30

Примечание. Буква К означает кантовку раската после соответствующего прохода.

При прокатке слябов необходимо получить ровные боковые кромки. На блюминге такие кромки получают в ребровых проходах. На слябинге это достигается прокаткой в вертикальных валках.

Получение качественной поверхности слябов достигается удалением окалины с поверхности слитков. Для этого в первых проходах слитки прокатывают на ребро и раздробленную окалину смывают водой высокого давления (12 Мн/м^2) [120 атм].

Обжатие за проход при прокатке узких слябов на блюминге лимитируется обычно условиями захвата. В первых двух проходах слиток прокатывают на ребро для удаления окалины, снятия конусности и получения необходимой ширины сляба, после чего прокатка производится плашмя. После нескольких таких проходов осуществляют ребровые проходы. Перед последним проходом плашмя производят также 1—2 ребровых прохода.

Обжатие за проход при прокатке широких слябов на блюминге ограничивается мощностью двигателя или прочностью валков. Порядок расчета режима обжатий в этом случае следующий. Определяют максимальный допустимый момент прокатки. По этому моменту прокатки определяют максимальное обжатие за проход и среднее обжатие по формуле

$$\Delta h_{\text{ср}} = (0,7 \div 0,8) \Delta h_{\text{макс}}.$$

Далее определяют число проходов плашмя по формуле

$$n_{\text{пл}} = \frac{h_0 - h_{\text{к}}}{\Delta h_{\text{ср}}}, \quad (\text{II.13})$$

где h_0 — толщина слитка;

$h_{\text{к}}$ — толщина сляба.

Затем определяют число проходов на ребро. В зависимости от разности ширины слитка и ширины сляба сначала назначают 2—4 прохода на ребро. В дальнейшем для снятия уширения назначают еще 1—2 ребровых прохода и один ребровой проход перед последним проходом.

В некоторых случаях, если позволяет качество поверхности раската, вначале осуществляют прокатку плашмя, затем полосу кантуют и прокатывают на ребро для получения необходимой ширины. Затем раскат прокатывают плашмя и за 1—2 прохода до конца прокатки применяют 1—2 ребровых прохода для получения окончательной ширины сляба. В последних проходах полосу прокатывают плашмя. Если суммарное обжатие в ребровых проходах невелико (100—250 мм), то ребровые проходы назначают только перед окончанием прокатки. Такой метод прокатки позволяет уменьшить число ребровых проходов и, следовательно, увеличить производительность блюминга. Уменьшение числа ребровых проходов осуществляется за счет сокращения первых ребровых проходов и более интенсивного обжатия раската в ребровых проходах.

При составлении режима обжатий необходимо учитывать конусность слитка и пониженный коэффициент трения при наличии окалины в первых проходах.

Гладкую часть бочки валков при прокатке слябов целесообразно располагать посередине валка, а калибры для ребровых проходов — слева и справа от нее.

Ширина калибров, в которых осуществляют ребровые проходы, равна или несколько больше ширины задаваемого раската. Уклон боковых стенок калибров принимают с учетом уширения. В этом случае уширение можно определить по уравнению

$$\Delta b = (0,10 \div 0,15) \Delta h. \quad (\text{II.14})$$

Заключительной частью расчета режима обжатий является проверка его по условиям захвата раската валками и прочности валков. При прокатке плашмя угол захвата не должен превышать 24° , а в ребровых проходах 28° .

Процесс прокатки слябов на слябинге проще, чем на блюминге. Вертикальные валки обеспечивают прокатку сляба без ребровых проходов. Лишь в отдельных случаях, когда ширина слитка значительно больше ширины сляба, применяют ребровые проходы, используя их также для удаления окалины и снятия конусности слитка.

Поскольку фактором, ограничивающим обжатие за проход при прокатке широких слябов на слябинге, является мощность двигателя. метод расчета обжатий тот же, что и для прокатки широких слябов на блюминге. Однако при прокатке широких слябов на слябинге обжатие за проход больше, чем при прокатке на блюминге. Более высокие обжатия при прокатке слябов на слябинге объясняются тем, что валки слябинга не имеют калибров, бочки валков короче, чем у валков блюминга, а мощность двигателей стана больше, чем у блюмингов.

Таблица 3

Режимы обжатий при прокатке слябов на слябингах

Номер прохода	Прокатка в вертикальных валках			Прокатка в горизонтальных валках			
	Толщина мм	Ширина мм	Обжатие мм	Толщина мм	Ширина мм	Обжатие мм	Упирение мм
<i>Прокатка сляба 150×1520 мм из слитка 760×1580 мм</i>							
1	760	1565	15	725	1568	35	3
2	690	1565	6	690	1751	35	3
3	690	1560	5	650	1564	40	4
4К	610	1560	8	610	1568	40	4
5	610	1550	10	570	1555	40	5
6	530	1550	10	530	1560	40	5
7	530	1545	5	490	1550	40	5
8	445	1545	11	445	1556	45	6
9	445	1540	5	405	1546	40	6
10	360	1540	13	360	1553	45	7
11	360	1535	5	320	1542	40	7
12	275	1535	15	275	1550	45	8
13	275	1530	5	235	1538	40	8
14	200	1530	15	200	1545	35	7
15	200	1525	5	175	1530	25	5
16	160	1525	7	160	1532	15	2
17	160	1518	7	150	1520	10	2
<i>Прокатка сляба 172×1565 мм из слитка 950×1670 мм</i>							
1	—	—	—	1630	950	40	—
2	—	—	—	1595	950	35	—
3К ¹	—	—	—	1565	950	30	—
4	—	—	—	900	1575	50	10
5	855	1565	19	855	1584	45	9
6	—	—	—	810	1574	45	9
7	765	1565	18	765	1583	45	9
8	—	—	—	720	1574	45	9
9	675	1565	18	675	1583	45	9
10	—	—	—	635	1573	40	8
11	595	1565	16	595	1581	40	8
12	—	—	—	555	1573	40	8
13	515	1565	16	515	1581	40	8
14	—	—	—	475	1573	40	8
15	435	1565	16	435	1581	40	8
16	—	—	—	400	1572	35	7
17	365	1565	14	365	1579	35	7
18	—	—	—	330	1572	35	7
19	300	1565	13	300	1578	30	6
20	—	—	—	270	1571	30	6
21	245	1565	11	245	1576	30	6
22	—	—	—	220	1570	25	5
23	200	1565	9	200	1574	20	4
24	—	—	—	185	1568	15	3
25	172	1565	6	172	1571	13	3

Примечание. Буква К означает кантовку полохы после соответствующего прохода на 180°, а К¹ — то же, на 90°.

Обжатие вертикальными валками определяется прочностью их и деталей привода и максимальным углом захвата. Чем тоньше раскат, тем больше обжатие вертикальными валками и в отдельных случаях оно может достигать 120 мм.

Если вертикальные валки установлены перед клетью с горизонтальными валами, то они перемещаются только перед нечетными проходами. В четных проходах в вертикальных валках снимается лишь уширение, полученное за два прохода в горизонтальных валках.

В табл. 3 приведены режимы обжатий при прокатке слябов на слябинге.

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК

1. ЗАГОТОВОЧНЫЕ СТАНЫ

Заготовочные станы предназначены для прокатки блюмов в заготовки $50 \times 50 \div 150 \times 150$ мм, которые применяют в качестве исходного материала для прокатки сортовой стали и проволоки. Кроме квадратных заготовок, прокатывают круглые заготовки; их используют на трубопрокатных станах для прокатки бесшовных труб.

Непрерывные заготовочные станы являются основными станами для производства заготовок на металлургических заводах СССР, США и других крупных стран [1, 7, 10].

Схема расположения непрерывного заготовочного стана старого типа показана на рис. 46. Стан состоит из двух групп по шесть клеток в

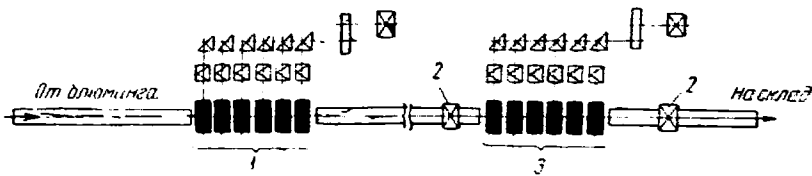


Рис. 46. Схема расположения непрерывного заготовочного стана 630/450 с групповым приводом:

1 — непрерывная группа с вальками диаметром 630 мм; 2 — ножницы; 3 — непрерывная группа клеток с вальками диаметром 450 мм

каждой, расположенных последовательно по оси отводящего рольганга ножниц блюминга.

Слитки прокатывают на блюминге, как правило, до сечения 200×200 мм; дальнейшее обжатие блюмов осуществляется на непрерывном заготовочном стане. После прокатки в первой группе клеток заготовки имеют сечение 100×100 мм и более, а после прокатки во второй группе клеток 45×45 мм (минимальное сечение).

Валки всех клеток каждой группы приводятся во вращение от одного электродвигателя мощностью 3680 квт через редуктор и шестеренные клетки.

Для этих станов большое значение имеет обеспечение автоматической кантовки полосы в процессе прокатки.

В настоящее время кантовка полосы осуществляется кантующими проводками и роликами. Кантующие или геликоидальные проводки (рис. 47) состоят из двух половин, образующих полость, сечение которой соответствует сечению прокатываемой полосы. С момента входа полосы в проводки и до момента выхода переднего конца из них

полоса движется по винтовой линии, отклоняясь на угол φ_0 . При дальнейшем движении полоса продолжает поворачиваться вокруг своей оси до заданного угла кантовки φ .

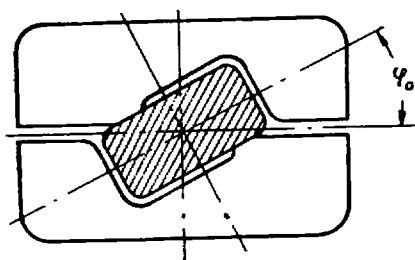
Угол поворота полосы (угол кантовки) зависит от длины проводок l , расстояния между соседними клетями L и угла начального поворота полосы φ_0 за время прохождения ее через проводки. Связь между этими величинами выражается уравнением:

$$\varphi_0 = \varphi \frac{l}{L}.$$

Процесс кантовки полосы в геликоидальных проводках сопровождается ее скручиванием, в результате которого возникают напряжения, могущие привести к образованию трещин. Кроме того, вследствие давления, оказываемого на стенки проводки со стороны полосы, происходит быстрый износ проводки, наваривание металла на рабочие стенки. в результате чего поверхность прокатываемой полосы ухудшается.

Опыт работы некоторых заводов показывает, что до 40% всех поверхностных дефектов металла (риски, задиры и пр.), удаляемых вырубкой или огневой зачисткой, получается вследствие применения геликоидальных проводок.

Для уменьшения трения и износа проводок применяли роликовые проводки, в которых полоса скользила по вращающимся роликам. Од-



Р и с. 47. Кантующие проводки

нако эти проводки не получили широкого распространения вследствие сложности конструкции и малой стойкости в работе.

Дальнейшее развитие непрерывных заготовочных станов характеризуется стремлением увеличить их производительность, максимально устранить поверхностные дефекты и тем самым повысить качество заготовок, а также расширить сортамент станов, прокатывая на них круглые заготовки для трубопрокатных станов и заготовки для прокатки фасонных профилей.

Увеличение сечения блюмов способствует значительному повышению производительности блюмингов. В этом случае непрерывные заготовочные станы состоят из двух групп по шесть клетей в каждой с валками диаметром 720—800 мм (первая группа) и 500—550 мм (вторая группа).

Для кантовки полосы при прокатке на непрерывных заготовочных станах, у которых отсутствуют клетки с вертикальными валками, наиболее удачными оказались кантующие ролики (рис. 48). На кантующих роликах вырезают наклонные калибры. Попадая в такой наклонный калибр, конец полосы скручивается на некоторый угол. При движении полосы происходит дальнейшее скручивание переднего конца вокруг своей оси, и к моменту приближения к калибру следующей клетки кантование полосы на заданный угол завершается.

Кантующие ролики полностью устраняют недостатки, которые свойственны геликоидальным проводкам. Они имеют примерно такой же диаметр и длину бочки, как и рабочие валки. Монтируют их в специальной раме, которую прикрепляют к станине рабочей клетки.

Кантующие ролики отличаются весьма высокой стойкостью по сравнению с геликоидальными проводками. По данным некоторых за-

водов, стойкость кантующих роликов больше в 100 раз и более стойкости геликоидальных проводок.

Кантующие ролики успешно применяют не только на непрерывных заготовочных станах, но и на непрерывных сортовых.

Практика эксплуатации кантующих роликов показала, что угол скручивания на непрерывных заготовочных станах чаще всего при-

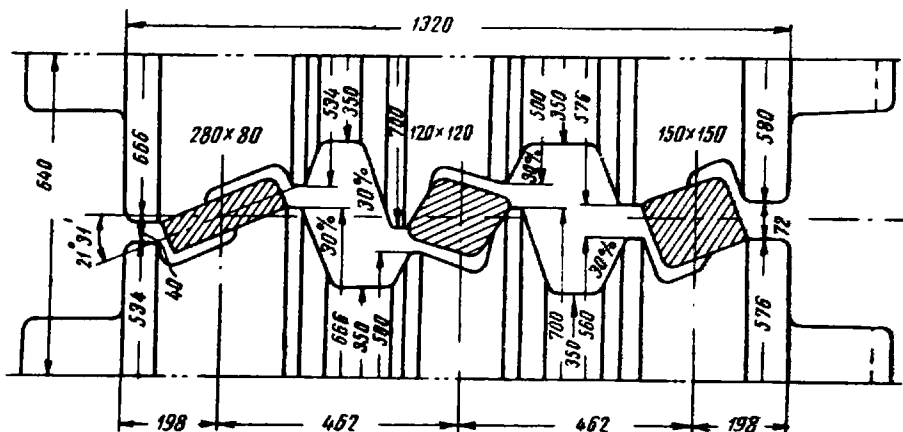


Рис. 48. Кантующие ролики

нимают в пределах 18—23°; больший угол скручивания принимать не рекомендуется.

Кантующие ролики неприводные. Для регулировки кантующих роликов в вертикальной плоскости предусматривают нажимные устрой-

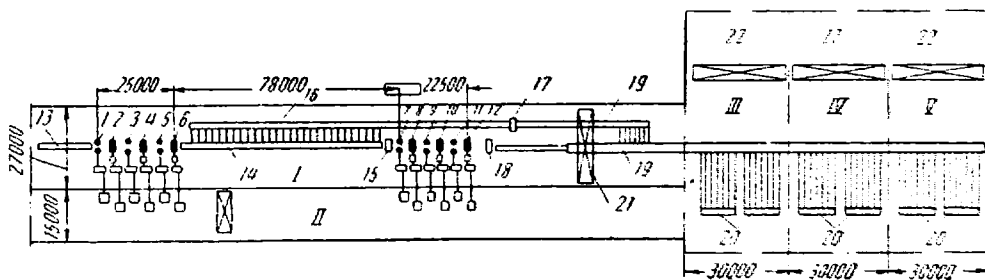
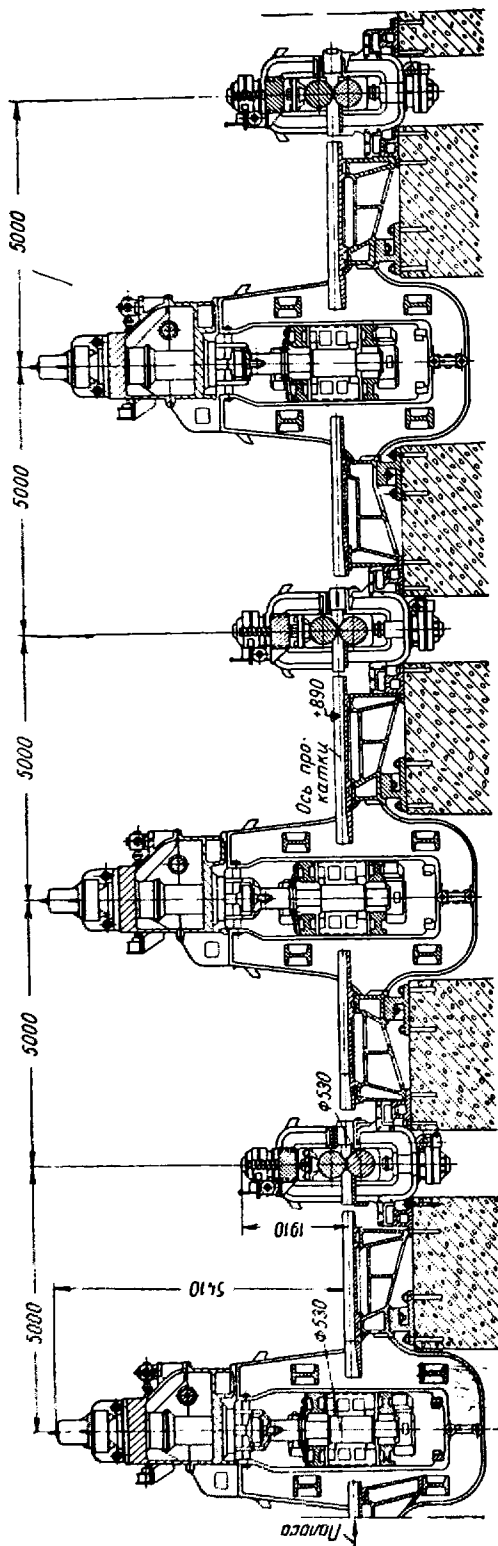


Рис. 49. Схема расположения оборудования непрерывного заготовочного стана

730/530 с чередованием клеток с горизонтальными и вертикальными валками:

1 — пролет стана; II — машинный зал; III—V — пролеты склада заготовок; 1—6 — рабочие клетки с валками диаметром 730 мм; 7—12 — рабочие клетки с валками диаметром 530 мм; 13 — подводящий рольганг; 14 — промежуточный рольганг; 15 — маятниковые ножницы; 16 — обводный рольганг; 17 — ножницы усилием 8,5 Мн (850 тс); 18 — летучие ножницы; 19 — отводящий рольганг; 20 — холодильники для заготовок; 21 — мостовой кран грузоподъемностью 50/100 кн (50/10 тс); 22 — мостовой кран грузоподъемностью 150 кн (15 тс)

ва. Установку и регулировку кантующих роликов в осевом направлении производят с помощью болтов и планок. Калибры кантующих роликов отличаются от калибров рабочих валков тем, что дно калибров имеет кантующий пояс, ширина которого составляет 0,3—0,4 ширины прилегающей к нему грани кантуемой полосы. Углубление в остальной части калибра обеспечивает возможность изменения угла кантовки. При этом просвет между дном калибра в углублении и полосой составляет 15—25 мм.



Р и с. 50. Вторая группа клетей непрерывного заготовочного стана 730/530

Характерными особенностями современных непрерывных заготовочных станов являются: чередование клетей с горизонтальными и вертикальными валками и индивидуальный привод для валков каждой клетки с регулированием числа оборотов, причем суммарная мощность двигателей каждой группы клетей больше, чем у станов с групповым приводом. Прокатываемая полоса обжимается поочередно в вертикальном и горизонтальном направлениях без кантовки, поэтому образование трещин и царапин здесь исключается. Индивидуальный привод валков стана обеспечивает регулировку скорости прокатки, упрощает настройку и калибровку валков.

Непрерывные заготовочные станы обеспечивают возможность получения заготовок более точных размеров, расширяют возможности прокатки круглых заготовок и других профилей, для которых трудно кантование скручиванием полосы между клетями.

На рис. 49 приведена схема расположения оборудования современного непрерывного заготовочного стана 730/530, установленного за алюмингом 1150. Первая группа состоит из шести клетей, из которых клетки 1, 3 и 5 с вертикальными валками, а остальные с горизонтальными. Валки каждой клетки стана вращаются от отдельного электродвигателя мощностью

1324 квт и числом оборотов 250—500 в минуту. Вертикальные валки имеют длину бочки 1000 мм, а горизонтальные 1200 мм.

Вторая группа также состоит из шести клеток (рис. 50), из которых клетки 7, 9 и 11 с вертикальными валками, а остальные с горизонтальными. Валки всех клеток имеют одинаковый диаметр 530 мм. Длина бочки вертикальных валков 600 мм, а горизонтальных 800 мм. Валки каждой клетки этой группы вращаются от отдельного электродвигателя мощностью 1324 квт и числом оборотов 250—500 в минуту.

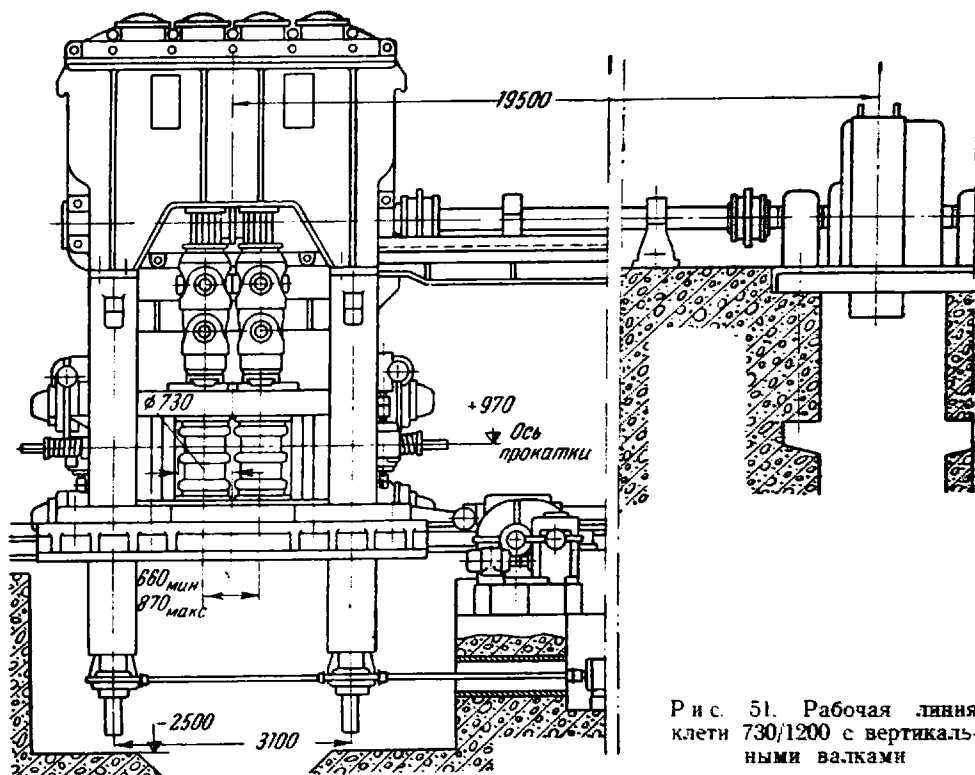


Рис. 51. Рабочая линия клетки 730/1200 с вертикальными валками

Скорость прокатки в каждой клетке непрерывного заготовочного стана повышается в соответствии с вытяжкой полосы. Скорость прокатки в последней клетке первой группы обычно составляет 1,5—2,5 м/сек. При таких скоростях прокатки производительность стана опережает производительность блюминга, поэтому повышение скорости не требуется. В последней клетке второй группы скорость прокатки лимитируется возможной скоростью резки на летучих ножницах и в настоящее время не превышает 5—7 м/сек.

Расстояние от оси последней клетки первой группы до оси первой клетки второй группы равно 78 м. Это расстояние определяется наибольшей длиной полосы, выходящей из первой группы.

Для прокатки заготовок 55×55 мм из блюмов 300×300 мм требуется 12 клеток, для прокатки заготовок 120×120 мм необходимо шесть клеток. Разделение стана на две самостоятельные группы клеток позволяет обеспечивать заготовками 120×120 мм и более сортовые станы, минуя вторую группу клеток. Вышедшая из первой группы полоса поступает во вторую группу только в том случае, если требуются заготовки сечением меньше 120×120 мм.

Для подачи полосы от первой группы клетей на сторону имеются шлепперы, которые передают ее на обводный рольганг, транспортирующий полосу к ножницам для резки на мерные длины. Разрезанные полосы шлепперами передают на центральный рольганг за станом, по которому они поступают на холодильники с карманами.

Конструктивно рабочие линии клетей в обеих группах аналогичны; отличаются они только размерами.

Характерной особенностью клетки с вертикальными валками (рис. 51) является верхний привод валков. Так как редуктор расположен на рабочей клетке, оказалось целесообразным главный двигатель расположить в машинном зале на высоком фундаменте и соединить его длинным валом с редуктором.

Валки всех клетей установлены на четырехрядных роликовых подшипниках. Подушки валков смонтированы в двух внутренних горизонтальных станинах прямоугольной формы. Верхний роликовый подшипник укреплен в верхней подушке; последняя имеет боковые направляющие приливы, которыми вес валка, подушек и возможная осевая нагрузка при прокатке передаются на верхнюю внутреннюю станину. Эта горизонтальная станина при помощи вертикальных боковых траверс соединена с такой же нижней внутренней горизонтальной станиной, в которой смонтированы подушки нижних подшипников. Нижняя горизонтальная станина опирается на два нижних нажимных винта, а в боковых траверсах смонтированы устройства для уравнивания вертикальных валков. Таким образом, вертикальные валки смонтированы в обычной клетке, имеющей две станины и два боковых нажимных устройства, и эта клетка помещена в две вертикальные станины, наверху которых находится комбинированный редуктор для привода валков.

Внешние вертикальные станины лапами опираются на плитовины и между собой соединены траверсами сварной конструкции (одна сверху и две внизу). В нижних поперечинах этих станин смонтированы нажимные винты для перемещения по высоте внутренней рабочей клетки.

Вертикальные валки в горизонтальном направлении устанавливаются при помощи боковых нажимных устройств, смонтированных на внутренних станинах.

Внутреннюю рабочую клетку устанавливают в окна вертикальных станин, имеющих внутренние направляющие планки; от осевого перемещения внутренняя рабочая клетка фиксируется двумя нажимными винтами, которые через отверстия в приливах стоек наружных станин упираются в скошенные грани на вертикальных траверсах, соединяющих внутренние горизонтальные станины.

Смену валков осуществляют опусканием нижними нажимными винтами всего комплекта внутренней рабочей клетки; при этом втулки нижних шарниров шпинделей сойдут со шпонок на концах валков, шпиндели будут закреплены сверху, а скоба на нижней станине войдет в зацепление с крюком на конце зубчатой рейки. После этого весь комплект валков внутренней рабочей клетки по направляющим балкам выталкивается рейкой из наружных станин влево (в сторону, противоположную приводу рейки, см. рис. 51).

На рис. 52 представлена рабочая линия клетки с горизонтальными валками. Валки рабочей клетки установлены на четырехрядных подшипниках качения; станины клетки закрытого типа. Для точной установки валков по высоте имеются два нажимных устройства: верхнее и нижнее. Уравнивание верхнего валка — пружинное. Так как линия прокатки для всех клетей стана является постоянной, при износе калибра валки необходимо передвигать в горизонтальном направлении. Эта наст-

ройка валков осуществляется передвижением вправо и влево рабочей клетки. Для этого освобождается крепление станин к плитовинам и рабочая клетка передвигается боковым нажимным устройством. Для обеспечения передвижения рабочей клетки универсальные шпиндели устроены так, что они выдвигаются из шестеренной клетки и вместе с пружинным уравновешиванием следуют за клетью.

Шестеренная клетка имеет два шестеренных валка, установленных на двухрядных конических подшипниках. Внутри этих валков имеются шлицевые отверстия для концов шпинделей. Межосевое расстояние ше-

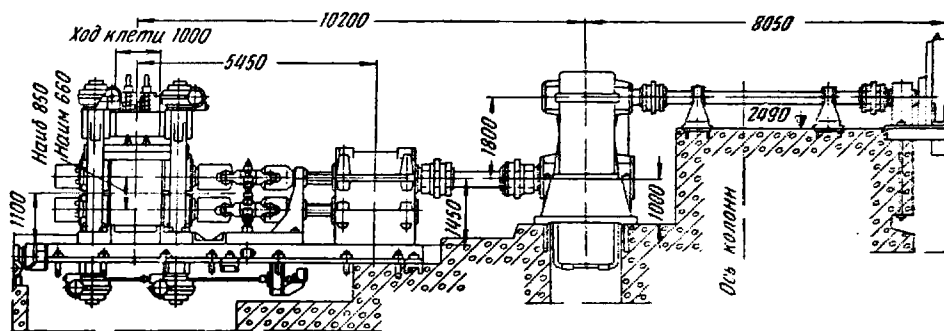


Рис. 52. Рабочая линия клетки 730×1200 с горизонтальными валками

стерен 700 мм, длина бочки шестерен 1120 мм. Для облегчения монтажа и выверки главной линии шестеренная клетка установлена на общих с рабочей клетью и шпинделями плитовинах, а после монтажа ее прикрепляют к плитовинам наглухо.

Так как высота расположения главного двигателя горизонтальной клетки определена высотой фундамента двигателя вертикальной клетки, а шестеренная клетка расположена на уровне рабочей клетки, потребовалась установка редуктора с верхней приводной шестерней. Для уменьшения его габаритов приводным сделан верхний шестеренный валок.

В качестве главных муфт на заготовочных станах применяют зубчатые муфты. Благодаря простоте конструкции и возможности передачи больших крутящих моментов (до 30 Мн·м) (300 тс·м) при некотором перекосе валков эти муфты получили широкое применение в прокатных станах и вытеснили все остальные типы муфт (кроме упругих).

Двигателями непрерывных заготовочных станов при индивидуальном приводе клеток являются электродвигатели постоянного тока с регулировкой числа оборотов 1:2. Питание этих электродвигателей осуществляется от преобразователей генератор — двигатель или ртутных выпрямителей.

Перед второй группой установлены маятниковые ножницы и кантователь. Маятниковые ножницы предназначены для обрезки переднего конца полосы, когда он имеет дефекты (разлохмаченный конец и т. п.), препятствующие задаче его в валки первой клетки. Кантователь кантует полосу в тех случаях, когда прокатка осуществляется в калибрах системы ромб — квадрат.

Для разрезки длинной полосы, выходящей из второй группы, на мерные заготовки, обычно длиной до 12 м, имеются летучие ножницы, позволяющие разрезать полосу на ходу. Установка этих ножниц устранила ограничение массы слитка, способствовала увеличению производительности станом и позволила комбинировать блюминг с непрерывным заготовочным станом.

На рис. 53 представлены летучие кривошипно-эксцентрикковые ножницы. Эти ножницы установлены после второй группы клетей непрерывного заготовочного стана 730/530 и предназначены для резки заготовок сечением до 100×100 мм. Скорость движения заготовок при резке изменяется с 1,8 до 5,2 м/сек.

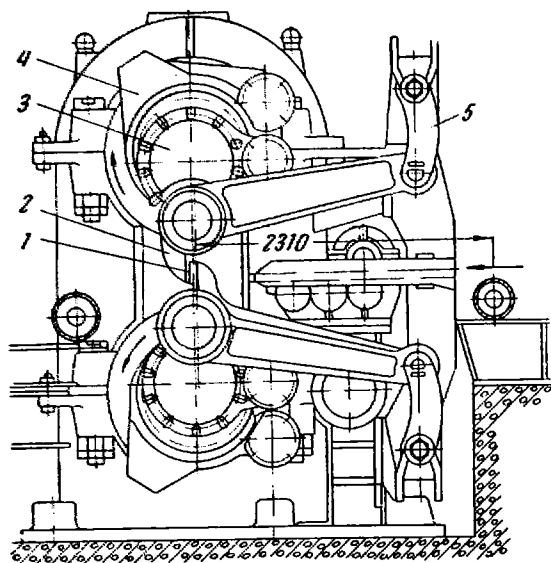


Рис. 53. Кривошипно-эксцентрикковые летучие ножницы:

1 — ножи; 2 — шатуны; 3 — кривошип; 4 — водило; 5 — серьга

Оба ножа укреплены в шатунах, головки которых шарнирно связаны с двумя кривошипами. Оси кривошипов находятся в эксцентричных расточках валов, связанных друг с другом зубчатыми колесами и паразитными шестернями. Привод кривошипов осуществляется от водил через серьги. Водила жестко связаны с зубчатыми колесами, находящимися в зацеплении друг с другом. Зубчатые колеса вращаются от электродвигателя через

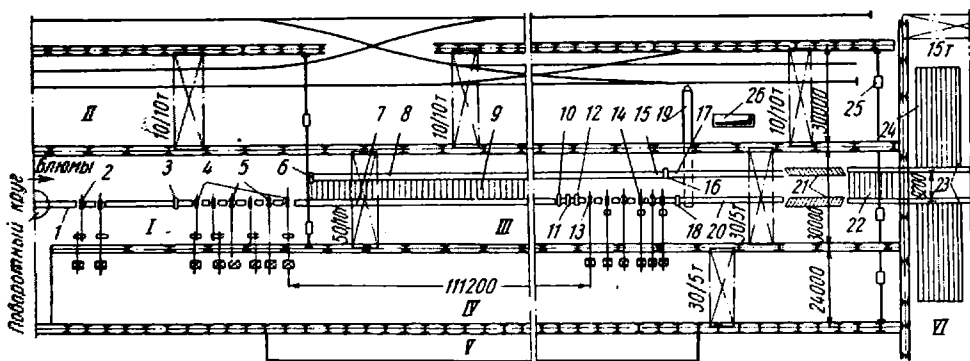


Рис. 54. Схема расположения оборудования непрерывного заготовочного стана 900/730/530:

I и III — пролеты стана; II — скрапной пролет; IV — электромашиный зал; V — трансформаторная; VI — склад заготовок; 1 — рольганг; 2 — клетки 900; 3 — кантователь; 4 и 5 — первая непрерывная группа клетей; 6 и 10 — упор; 7 — отбодящий рольганг; 8 — боковой рольганг; 9 и 22 — шлеппер; 11 — летучие маятниковые ножницы; 12 — кантователь; 13 и 14 — вторая непрерывная группа клетей; 15, 17, 20 и 23 — рольганги; 16 — ножницы с нижним резом; 18 — летучие быстросходные ножницы; 19 — транспортер обрезков; 21 — пакетирующий рольганг; 24 — холодильник; 25 — тельфер; 26 — яма для окалины

шестерню, находящуюся в зацеплении с нижним колесом. Эксцентрики приводятся через нижнюю паразитную шестерню от коробки передач, имеющей число передаточных отношений, равное числу мерных длин, на которые разрезается заготовка. Коробка передач имеет привод от двигателя.

Параллельность реза полосы обеспечивается шатунно-рычажным механизмом; во избежание заклинивания этого механизма радиус рыча-

га принят несколько большим, чем сумма радиуса кривошипа и эксцентриситета эксцентрика.

На ножницах отрезают передний конец длиной 150—200 мм, задний конец остается произвольной длины. Уборка обрезки осуществляется следующим образом. Передний отрезанный конец полосы проваливается на наклонный желоб и попадает на боковой транспортер, который сбрасывает его в яму обрезки, откуда их магнитным краном убирают в вагоны. Так как перед ножами расстояние от конца вводного желоба до направляющего в станине ролика равно 1400 мм, все задние концы также проваливаются на желоб и далее в яму обрезки.

За летучими ножницами устанавливают машину для клеймения заготовок. Клеймо, состоящее из 6—11 цифр, ставится сбоку на расстоянии 50—100 мм от переднего конца каждой заготовки.

Далее имеется пакетирующий (косой) рольганг, ролики которого расположены под углом 75° к его оси. Разрезанные летучими ножницами заготовки одной полосы собирают в пакет в конце рольганга при помощи плиты опускающегося упора. После набора пакета плита упора опускается и пакет по обычному рольгангу следует к холодильникам.

Ролики рольгангов непрерывного заготовочного стана имеют индивидуальный привод (за исключением пакетировочного). Рольганг с индивидуальным приводом роликов применяют для транспортировки полос большой длины, поэтому нагрузка, приходящаяся на каждый ролик, небольшая.

На рис. 54 показана схема расположения оборудования другого современного непрерывного заготовочного стана 900/730/530, установленного за блюмингом 1300. Характеристика рабочих клеток и двигателей стана приведена в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика рабочих клеток и двигателей непрерывного заготовочного стана

Номер клетки	Валки	Размеры вала, мм		Двигатели	
		диаметр	длина бочки	мощность квт	число оборотов в минуту
<i>Первая группа клеток</i>					
1	Горизонтальные	900	1300	2000	125—300
2	То же	900	1300	2000	125—300
3	» »	900	1300	2000	125—300
4	» »	900	1300	2000	125—300
5	Вертикальные	730	1300	2000	125—300
6	Горизонтальные	730	1300	2000	125—300
7	Вертикальные	730	1300	2000	125—300
8	Горизонтальные	730	1300	2000	125—300
<i>Вторая группа клеток</i>					
9	Вертикальные	530	900	2000	125—300
10	Горизонтальные	530	900	2000	125—300
11	Вертикальные	530	900	2000	125—300
12	Горизонтальные	530	900	2000	125—300
13	Вертикальные	530	900	3200	250—420
14	Горизонтальные	530	900	3210	250—420

Стан предназначен для прокатки заготовок 80×80÷200×200 мм из блюмов 370×370 мм.

Стан в отличие от стана, приведенного на рис. 49, состоит из 14 клеток, причем первая группа состоит из восьми клеток, а вторая группа из шести клеток.

Первые две рабочие клетки с горизонтальными валками диаметром 900 мм установлены отдельно от остальных клеток первой группы стана. Расстояние между второй и третьей клетями этой группы позволяет осуществлять кантовку полосы при помощи кантователя.

Следующие две клетки первой группы с горизонтальными валками диаметром 900 мм по конструкции аналогичны первым двум клетям. Остальные четыре клетки имеют валки диаметром 730 мм, причем пятая и седьмая имеют вертикальные валки.

В первой группе прокатывают заготовки 200×200 , 170×170 и 150×150 мм. Скорость прокатки в последней клетке первой группы достигает 2,3 м/сек.

Вторая группа стана состоит из шести чередующихся клеток с горизонтальными и вертикальными валками диаметром 530 мм. В этой группе клеток из заготовки 150×150 мм, поступающей от первой группы стана, прокатывают заготовки 120×120 , 100×100 и 80×80 мм. Скорость прокатки в последней клетке второй группы равна 7 м/сек.

Перед второй группой клеток установлены летучие маятниковые ножницы для обрезки переднего конца и кантователь. За второй группой клеток установлены летучие планетарные ножницы для резки полосы на мерные длины в пределах 8—12 м. Привод летучих ножниц 3

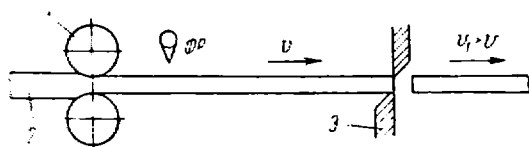


Рис. 55. Схема автоматизации летучих ножниц

(рис. 55) включается автоматически от импульса фотореле ФР или флажкового выключателя, установленных на некотором расстоянии впереди ножниц (в зависимости от длины отрезаемых заготовок). При выходе из последней клетки 1 передний конец заготовки 2 засвечивает фотореле ФР (или включает флажковый выключатель), которое дает импульс на включение привода ножниц. При выходе заднего конца заготовки из поля фотореле ФР оно выключает двигатель и ножницы останавливаются.

Все технологические операции на стане механизированы и автоматизированы. На стане применены: механизм для комплектной смены валков и передвижения горизонтальных клеток при переходе на прокатку в другом калибре; универсальные шпиндели с шарнирами на подшипниках качения, механизированная скиповая уборка обрезков от ножниц, месдозы для измерения давления металла на валки и натяжения заготовки при прокатке, водоохлаждаемые ролики рольгангов с приводом от двигателей с полым валом, автоматическое клеймение заготовки, программирующая цифровая вычислительная машина для управления работой стана.

Производительность стана примерно 750 т/ч или 5,3 млн. т в год.

Непрерывные заготовочные станы также применяют при прокатке сутунок. Это позволило уменьшить их толщину, а главное снизить стоимость сутунок.

Круглые трубные заготовки прокатывают в обеих группах стана. Из первой группы стана выпускают заготовки диаметром 110—150 мм и более, а из второй группы диаметром 60—100 мм.

В последнее время для прокатки круглой трубной заготовки на заводах устанавливают специальные трубозаготовочные станы, состоящие из 2—4 клеток (рис. 56). Первая клетка дуо-реверсивная с валками диаметром 900 мм и длиной бочки 2350 мм. Валки вращаются от электро-

двигателя постоянного тока мощностью 4045 квт и числом оборотов 0—70—120 в минуту. Клеть оборудована манипуляторами и кантователем; по конструкции подобна клетям блюминга такого же размера.

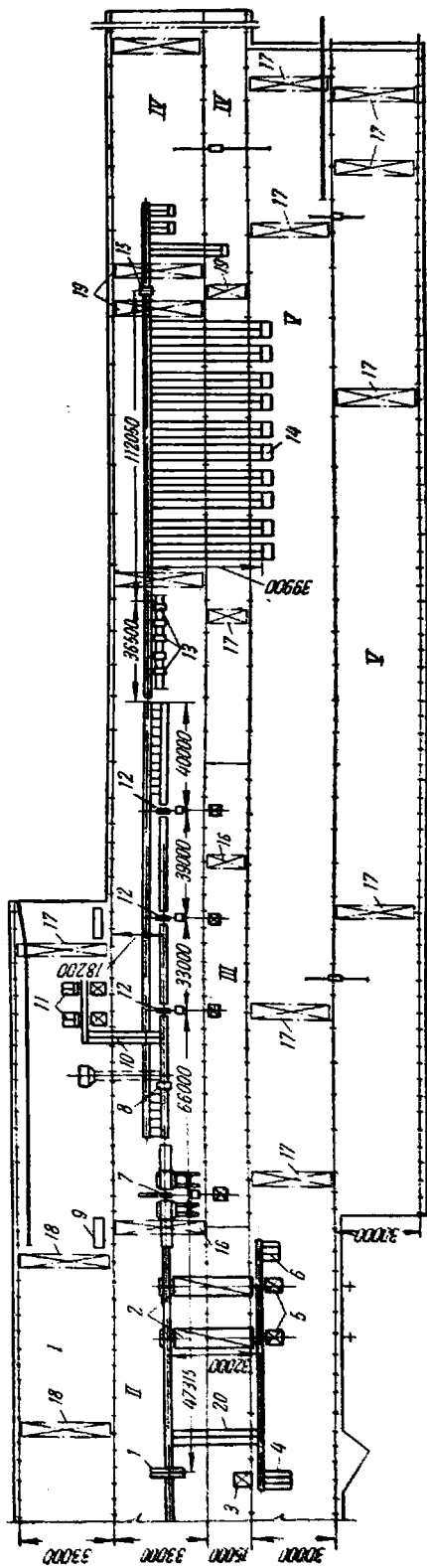
Все остальные клетки дуо-реверсивные с валками диаметром 750 мм и длиной бочки 1100 мм. Валки каждой клетки вращаются от электродвигателя постоянного тока мощностью 2500 квт и числом оборотов 0—80—160 в минуту. В этих клетях производится только по одному проходу.

Стан прокатывает круглые трубные заготовки диаметром 80—350 мм. После прокатки полосу разрезают салазковыми пилами на длины 3—6 м. На стане можно прокатывать заготовки и слябы.

Слябы прокатывают в первой дуо-реверсивной клетке, после чего на ножницах, установленных за этой клетью, их разрезают на длины 1—3 м и транспортером передают на стеллажи в боковой пролет, откуда кранами убирают на склад.

Производительность стана зависит от размеров заготовок и составляет 100—350 т/ч.

Заготовочные станы линейного типа обычно состоят из двух-трех клеток, расположенных в одну линию. Примером стана такого типа являются заготовочные станы старых прокатных цехов с небольшим объемом производства. Установка непрерывного заготовочного стана в таком цехе бы-



Р и с. 56. Схема расположения оборудования трубозаготовочного стана 900/750:

- 1 — склад слябов; 2 — пролет стана; 3 — машинный зал; 4 — склад сортовой заготовки; 5 — склад трубной заготовки; 6 — машина отечной заготовки; 7 — склад трубной заготовки; 8 — инвентарный пень; 9 — стеллажи; 10 — пила; 11 — ножницы; 12 — пила; 13 — пила; 14 — пила; 15 — пила; 16 — пила; 17 — пила; 18 — пила; 19 — пила; 20 — пила.

да бы нецелесообразна. В некоторых случаях, в частности на заводах качественной стали, эти станы прокатывают заготовки из слитков небольшой массы.

Часто станы линейного типа применяют для прокатки заготовок, сутунок и различных крупносортовых профилей. В этом случае стан не отличается от крупносортового стана с расположением клетей в одну линию. Исходным материалом для этих станов являются слитки массой 1100 кг или блюмы $250 \times 250 \div 300 \times 300$ мм. Готовым прокатом являются заготовки $50 \times 50 \div 150 \times 150$ мм. Производительность станов колеблется в пределах 250—400 тыс. т в год.

2. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

Калибровка валков непрерывных заготовочных станов

В первых клетях этих станов применяют прямоугольные калибры, которые по сравнению с квадратными и ромбическими калибрами в меньшей степени ослабляют прочность валков. Последнее особенно важно для первых клетей. Кроме того, в прямоугольных калибрах осуществ-

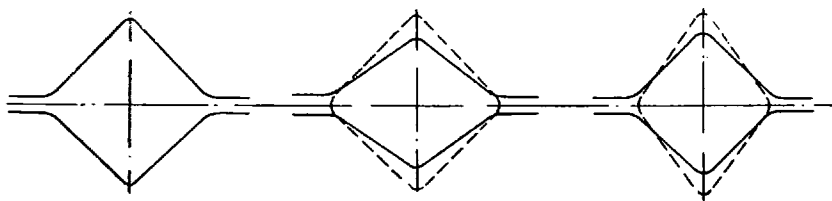


Рис. 57. Система вытяжных калибров ромб—квадрат

ляется хорошее удаление окалины и нет необходимости в кантовке блюма при задаче в первую клеть [1, 1, 5].

Обычно в прямоугольных калибрах заготовки прокатывают до сечения 150×150 мм. Дальнейшее обжатие полосы осуществляется в вытяжных калибрах системы ромб — квадрат.

Переход от прямоугольных калибров к вытяжным калибрам системы ромб — квадрат объясняется главным образом необходимостью получать заготовки более точной квадратной формы.

В вытяжных калибрах системы ромб — квадрат ромбические калибры чередуются с квадратными (рис. 57). При прокатке в этих калибрах полоса, вышедшая из большего квадратного калибра, кантуется на 90° и поступает в ромбический калибр. После выхода из ромбического калибра полоса кантуется на 90° и задается в меньший квадратный калибр и т. д.

Вытяжные калибры системы ромб — квадрат применяют также в черновых клетях средне- и мелкосортных станов. Эти калибры позволяют получать правильные квадраты, необходимые, например, для прокатки квадратной и полосовой стали. Кроме того, эта система калибров обеспечивает достаточно высокие вытяжки и хорошую устойчивость полосы при ее прокатке в квадратных и в ромбических калибрах.

Основным условием непрерывного процесса прокатки является постоянство секундного объема металла, проходящего через любую клеть стана. Это условие выражается уравнением

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 = \dots = F_n v_n = \text{const},$$

где $F_1, F_2, F_3 \dots F_n$ — площади поперечных сечений прокатываемой полосы при выходе из клеток;

$v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ — скорости прокатки в клетях.

Площадь поперечного сечения полосы определяют по данным калибровки. Скорость выхода полосы (скорость прокатки) отличается от окружной скорости валков вследствие опережения. С учетом опережения уравнение постоянства секундных объемов может быть выражено так:

$$F_1 D_{p1} n_1 (1 + s_1) = F_2 D_{p2} n_2 (1 + s_2) = \dots = F_n D_{pn} n_n (1 + s_n) = \text{const},$$

где $s_1, s_2 \dots s_n$ — опережение полосы в клетях;

$D_{p1}, D_{p2} \dots D_{pn}$ — рабочие (катающие) диаметры валков клеток.

Практически при калибровке валков непрерывных заготовочных станков подсчитывают не секундные объемы, а константы калибровки, представляющие собой произведение площади поперечного сечения полосы, катающего диаметра валков, числа оборотов валков и коэффициента опережения, т. е.

$$C = F D_p n (1 + s). \quad (\text{III. 1})$$

Прокатка на непрерывных заготовочных станах с образованием петли недопустима вследствие того, что она вызывает расстройство стана и

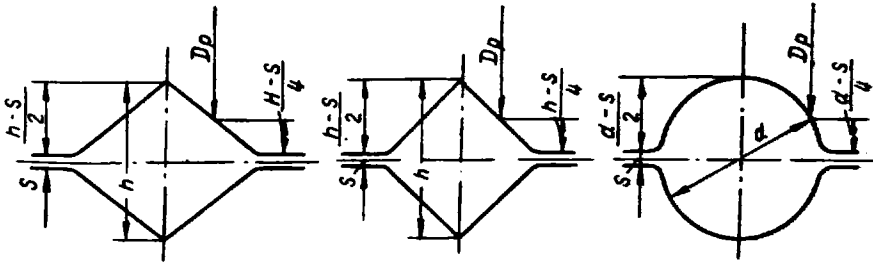


Рис. 58. Катающие (рабочие) диаметры калиброванных валков

проводок, нередко приводя к серьезным авариям. Во избежание этого на непрерывных заготовочных станах прокатку ведут с небольшим натяжением полосы между клетями. Так как опережение по мере уменьшения толщины полосы увеличивается ($s_n > s_1$), получающееся вследствие роста опережения увеличение скорости выхода полосы можно использовать на создание натяжения между клетями. Тогда уравнение постоянства секундных объемов имеет следующий вид:

$$F_1 D_{p1} n_1 = F_2 D_{p2} n_2 = \dots = F_n D_{pn} n_n = \text{const},$$

или

$$C = F D_p n. \quad (\text{III. 1a})$$

При расчете калибровки валков непрерывных станков особенно важно точно определить катающие диаметры. Последнее позволяет вести процесс прокатки так, что исключается образование петли или чрезмерное натяжение полосы между клетями.

При прокатке в прямоугольных калибрах катающий диаметр принимают равным диаметру валков по дну калибра. В ромбических и квадратных калибрах (рис. 58) диаметр валка переменный: максимальный у разъема калибра, а минимальный в вершине калибра. Различным точкам этих калибров соответствуют различные окружные скорости. По-

лоса выходит из калибра с некоторой средней скоростью, которая соответствует катающему диаметру. Катающий диаметр в этих калибрах и других приблизительно может быть определен по средней приведенной высоте калибра, которая получается делением площади калибра F на его ширину b , т. е.

$$h_{\text{ср}} = \frac{F}{b}.$$

В этом случае катающий диаметр

$$D_p = D - h_{\text{ср}} = D - \frac{F}{b},$$

где D — номинальный диаметр валков;

$h_{\text{ср}}$ — приведенная высота калибра;

F и b — площадь и ширина калибра.

Исходными данными для расчета калибровки валков являются размеры блюмов и заготовок, число клетей, диаметры валков, число оборотов валков в каждой клети, мощность и число оборотов электродвигателей и др.

Расчет калибровки валков для получения заготовки заданных размеров на стане с определенным числом клетей, диаметром валков, числом оборотов и мощностью электродвигателей в большинстве случаев сводится к выбору системы калибров и расчету режима обжатий (распределению коэффициентов вытяжки по проходам). В соответствии с распределением коэффициентов вытяжки по отдельным клетям выбирают форму калибра в каждой клети и общую схему калибровки.

При индивидуальном приводе каждой клети стана с регулировкой оборотов валков расчет калибровки облегчается. В этом случае расчет калибров ведут независимо от числа оборотов, которые потом определяют из формул (III. 1) или (III.1a).

При групповом приводе клетей расчет калибровки, наоборот, значительно усложняется. В этом случае изменение константы может быть достигнуто только изменением катающего диаметра валков или размеров поперечного сечения полосы.

При расчете вытяжных калибров системы прямоугольник — прямоугольник сначала определяют число калибров (проходов):

$$n = \frac{\Sigma \Delta h}{\Delta h_{\text{ср}}},$$

где $\Sigma \Delta h$ — суммарное обжатие в прямоугольных калибрах;

$\Delta h_{\text{ср}}$ — среднее обжатие за проход.

Суммарное обжатие в прямоугольных калибрах

$$\Sigma \Delta h = (1 + C_{\text{ср}}) (h_0 + b_0 - h_3 - b_3),$$

где $C_{\text{ср}}$ — средний показатель уширения, который можно принять равным 0,15;

h_0 и b_0 — размеры поперечного сечения блюма;

h_3 и b_3 — размеры поперечного сечения заготовки, выходящей из последнего прямоугольного калибра.

Среднее обжатие за проход можно принять равным 0,9 среднего максимального обжатия за проход в первом и последнем прямоугольных калибрах. Максимальное обжатие в каждом из этих калибров определяют из условия захвата по формуле (II. 3).

После этого устанавливают режим обжатий, причем обжатие в первом калибре принимают несколько меньше среднего, учитывая колеба-

ние размеров бруса и отсутствие подпора при захвате полосы валками в первой клетке.

Уширение при прокатке в прямоугольных калибрах можно определять по формуле Б. П. Бахтинова (II. 12). Наиболее точной и теоретически обоснованной является формула А. И. Целикова:

$$\Delta b = 0,58C_1C_2 \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (\text{III. 2})$$

где C_1 и C_2 — коэффициенты, характеризующие влияние ширины и натяжения полосы;

h_0 и h_1 — толщина полосы до прохода и после него;

R — катающий радиус валков;

f — коэффициент трения между прокатываемой полосой и валками, определяемой по формуле (II. 5).

Можно принимать, что при $\frac{b_0}{\sqrt{R\Delta h}} = 1; 2; 4; 8$ (где b_0 — ширина полосы до прохода) коэффициент C_1 равен соответственно 1,0; 0,75; 0,5; 0,4 при обжатиях около 30%; с увеличением обжатия значение этого коэффициента увеличивается.

Так как переднее натяжение незначительно влияет на уширение, коэффициент C_2 определяют в зависимости от заднего натяжения σ_0 по формуле

$$C_2 = 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_s},$$

где σ_s — предел текучести.

Прямоугольные калибры имеют одинаковую глубину вреза в нижний и верхний валки. Глубина вреза определяется зазором между буртами валков, величина которого колеблется в пределах 0,01—0,08 номинального диаметра валков. Большой зазор применяют тогда, когда необходимо увеличить катающий диаметр валков.

Ширину калибра у дна принимают несколько больше ширины задаваемой полосы. Ширина калибра у разъема определяется выпуском калибра, который принимают равным 15—25%. Такой большой выпуск калибра обеспечивает получение полос без заусенцев и закатов. В калибрах с небольшой глубиной вреза выпуск всегда большой.

Выпуклость дна калибра принимают равной 0,5—5 мм. Выпуклость применяют для создания вынужденного уширения в калибре или для предотвращения переполнения последующего калибра. Радиус закругления в углах калибра принимают равным 0,12—0,15 ширины калибра, а в чистовом калибре — в соответствии с ГОСТ 4693—57. Радиус закругления у буртов принимают равным радиусу закругления в углах калибра или немного меньше. Верхнее давление обычно принимают равным нулю и не более 0,5% номинального диаметра валков.

При расчете вытяжных калибров системы ромб — квадрат сначала также определяют число калибров:

$$n = \frac{\lg \mu_{\text{общ}}}{\lg \mu_{\text{ср}}},$$

где $\mu_{\text{общ}}$ — общая вытяжка в калибрах;

$\mu_{\text{ср}}$ — средняя вытяжка, которая практически колеблется в пределах 1,2—1,4.

Определив общую вытяжку для вытяжных калибров системы ромб — квадрат, распределяют ее по калибрам. Вытяжки в каждой паре калибров от квадрата к квадрату можно устанавливать на основании диаграммы, представленной на рис. 59. На непрерывных заготовочных станах промежуточные квадратные калибры часто используют в качестве чистовых для получения заготовки промежуточных размеров. В этих случаях вытяжка от квадрата к квадрату определяется размерами квадратных заготовок. Производство вытяжек в каждой паре калибров должно быть равно общей вытяжке в калибрах системы ромб — квадрат.

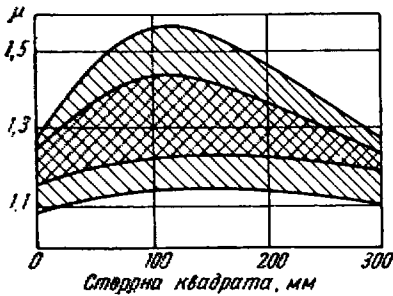


Рис. 59. График зависимости коэффициентов вытяжки от размеров стороны квадрата для вытяжных калибров системы ромб—квадрат

Далее определяют вытяжку в каждом калибре. Для этого необходимо знать отношение вытяжки в ромбическом калибре к вытяжке в квадратном калибре. По принятым отношениям определяют вытяжки в ромбических и квадратных калибрах. Вытяжка в квадратном калибре

$$\mu_k = \sqrt{\frac{\mu_{к.к.}}{\mu_p/\mu_k}}$$

где $\mu_{к.к.}$ — вытяжка в данной паре калибров (от квадрата к квадрату); μ_p/μ_k — отношение вытяжки в ромбическом калибре к вытяжке в квадратном калибре.

Вытяжка в ромбическом калибре

$$\mu_p = \frac{\mu_{к.к.}}{\mu_k}$$

Зная вытяжку в калибре, определяют его размеры, по которым строят калибр.

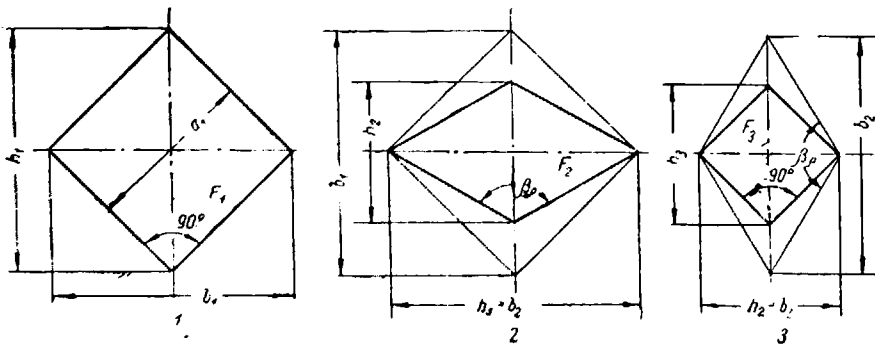


Рис. 60. Калибры, построенные по принципу «высота предыдущего равна ширине последующего»

При расчете ромбических и квадратных калибров приходится определять не только элементы отдельных калибров, но и учитывать их связь друг с другом.

На практике применяют два принципа построения калибров системы ромб — квадрат.

1. Система калибров построена так, что ширина (горизонтальная диагональ) последующего калибра равна высоте (вертикальная диагональ) предыдущего калибра (рис. 60). В данном случае ромбический калибр является промежуточным между двумя квадратными калибрами. Из условия построения следует, что

$$h_1 = b_2 \text{ и } h_2 = b_3.$$

Коэффициент вытяжки в ромбическом калибре при прокатке в нем квадратной полосы

$$\mu_p = \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_1^2}{b_2 h_2}.$$

Выразим диагонали ромба b_2 и h_2 через диагональ большего квадрата h_1 . В ромбическом калибре имеем следующую зависимость между диагоналями:

$$b_2 = h_2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}.$$

$$\text{Если } b_2 = h_1, \text{ то } h_1 = h_2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \text{ и } h_2 = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}.$$

Подставляя полученные значения для b_2 и h_2 в формулу для площади ромба, получаем

$$F_2 = \frac{b_2 h_2}{2} = \frac{h_1^2}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}.$$

Тогда коэффициент вытяжки в ромбическом калибре

$$\mu_p = \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_1^2}{2} : \frac{h_1^2}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}} = \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}. \quad (\text{III.3})$$

Формула (III.3) показывает, что коэффициент вытяжки в ромбическом калибре зависит от угла β_p .

Коэффициент вытяжки в меньшем квадратном калибре при прокатке в нем ромбической полосы

$$\mu_{\text{кв}} = \frac{F_3}{F_2}.$$

Выразим диагонали ромба b_2 и h_2 через диагональ меньшего квадрата b_3 :

$$b_2 = h_2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}.$$

$$\text{Если } h_2 = b_3, \text{ то } b_2 = b_3 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}.$$

Подставляя это значение в выражение для площади ромба, получаем

$$F_2 = \frac{b_2 h_2}{2} = \frac{b_3^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}{2}.$$

Тогда коэффициент вытяжки в меньшем квадратном калибре

$$\mu_{\text{кв}} = \frac{F_3}{F_2} = \frac{b_3^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}{b_3^2} = \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}. \quad (\text{III.4})$$

Эта формула показывает, что вытяжка в квадратном калибре, так же как и в ромбическом калибре, зависит от угла β_p ромбического калибра.

Типовой системой ромб — квадрат является система, у которой ромбические калибры имеют тупой угол, равный 120° . В этом случае ром-

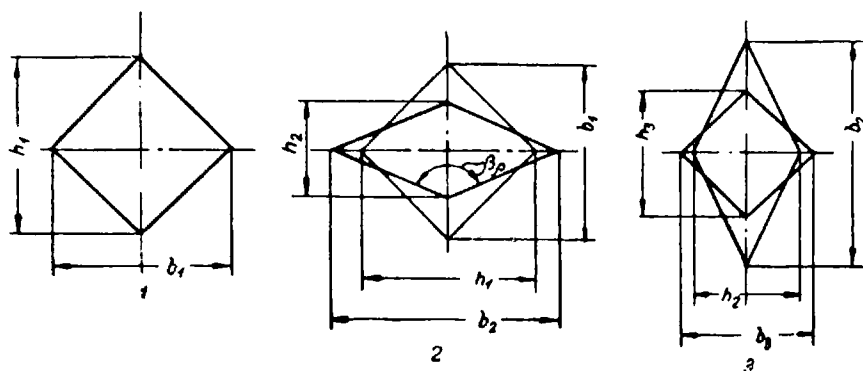


Рис. 61. Калибры, построенные по принципу «высота предыдущего меньше ширины последующего»

бические и квадратные полосы при прокатке в соответствующих калибрах достаточно устойчивы (разность между углами ромба и квадрата равна 30°). Тогда максимальный коэффициент вытяжки в калибрах системы ромб — квадрат при данном способе построения калибров

$$\mu_p = \mu_{кв} = \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} = \operatorname{tg} \frac{120}{2} = 1,732.$$

2. Система калибров построена так, что ширина (горизонтальная диагональ) последующего калибра больше высоты (вертикальной диагонали) предыдущего калибра (рис. 61). В этом случае коэффициент вытяжки в ромбическом калибре при прокатке в нем квадратной полосы

$$\mu_p = \frac{\left(\operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} + k\right)^2}{(1+k)^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}, \quad (\text{III.5})$$

где k — коэффициент пропорциональности между обжатием и уширением полосы, равный $\frac{b_2 - h_1}{b_1 - h_2}$.

Коэффициент вытяжки в квадратном калибре при прокатке в нем ромбической полосы

$$\mu_{кв} = \frac{(1+k)^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}{\left(1 + k \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}\right)^2}, \quad (\text{III.6})$$

где k — коэффициент пропорциональности между обжатием и уширением полосы, равный $\frac{b_2 - h_2}{b_1 - h_1}$.

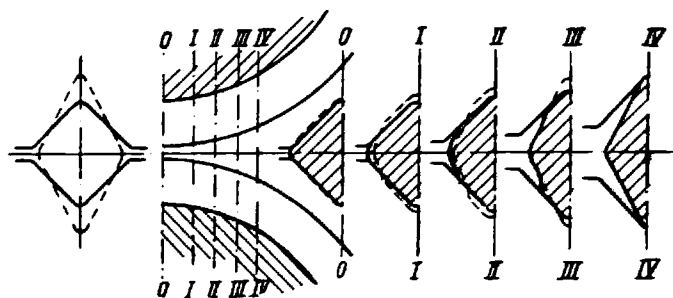
Формулы (III.5 и III.6) показывают, что вытяжка в ромбическом и квадратном калибрах зависит от угла β_p ромба и коэффициента пропорциональности k .

Пользуясь полученными формулами, можно определить коэффициенты вытяжки в ромбическом и квадратном калибрах при различных углах β_p и коэффициентах k .

Для оценки неравномерности деформации при прокатке в ромбическом и квадратном калибрах на рис. 60 и 61 приведены диаграммы относительных обжатий по ширине полосы.

При первом способе построения калибров (см. рис. 60) абсолютное обжатие по ширине полосы изменяется от нуля на краях полосы до максимума в ее середине. Однако увеличению абсолютного обжатия сопутст-

Рис. 62. Стадии прокатки ромбической полосы в квадратном калибре



вует такое же увеличение толщины полосы, поэтому относительное обжатие является постоянным по ширине полосы, и диаграмма очерчивается прямой линией.

При втором способе построения калибров (см. рис. 61) максимальное обжатие наблюдается посредине ширины полосы и диаграмма обжатий очерчивается кривой линией. Если учесть уширение, постепенно увеличивающее ширину полосы и высоту каждого сечения до того, как оно подвергнется обжатию в валках, то и в этом случае относительное обжатие во всех сечениях получается одинаковым.

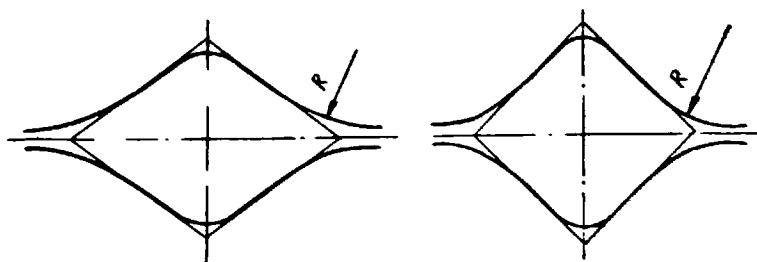


Рис. 63. Ромбический и квадратный калибры с закруглениями в вершинах и «развалом» у развеса валков

Эти диаграммы только фиксируют результаты суммарной деформации. Чтобы получить полное представление о последовательном процессе деформации, применяют метод сечений (рис. 62). Сущность этого метода состоит в том, что в очаге деформации проводят ряд последовательных поперечных сечений, отвечающих различным стадиям процесса прокатки полосы в калибре. Для каждой такой стадии прокатки выясняют формоизменение и характер распределения обжатий построением соответствующих диаграмм (рис. 62). Эти диаграммы показывают, что отдельные части полосы обжимаются по мере поступления в калибр не одновременно. При входе в валки обжатию подвергаются только центральные слои полосы. Стремление этих слоев получить вытяжку сдерживается остальной более массивной частью профиля. По мере

увеличения ширины очага деформации доля обжимаемых слоев быстро растёт. Крайние слои полосы в первой половине очага деформации утягиваются обжимаемыми центральными слоями, а в конце очага деформации, получая относительно большую вытяжку вследствие меньшей высоты, дают некоторое вынужденное уширение.

Практически в калибрах, построенных по первому принципу, прокатка возможна только при просторе для уширения, который может быть создан закруглениями в вершине калибра (рис. 63). Чем больше

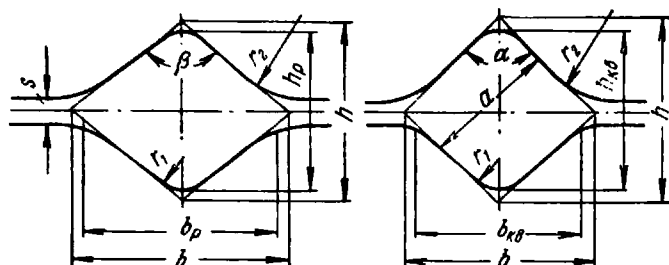


Рис. 64. Построение вытяжных калибров системы ромб—квадрат

уширение в последующем калибре, тем больше должен быть радиус закругления в вершине предыдущего калибра. Величина этого радиуса должна быть такая, чтобы разность высот данного калибра без учета закруглений и с учетом их была не меньше величины уширения и даже больше ее в последующем калибре.

Для создания еще большего простора для уширения калибры в этом случае делают с «развалом», т. е. расширением у разъема валков (рис. 63). Для придания калибру развала поступают следующим образом: на расстоянии $\frac{1}{3}$ стороны калибра, считая от разъема, восстанавливают к стороне перпендикуляр, затем радиусом R , равным стороне калибра, описывают дугу до пересечения ее с линией разъема валков.

В том случае, когда в калибре предусматривают простор для уширения (второй принцип построения калибров), калибры строят в виде правильных ромбов и квадратов с небольшими закруглениями в вершинах для предотвращения их охлаждения или даже совсем без закруглений.

Между элементами ромбических и квадратных калибров существует определенная геометрическая зависимость. Площадь квадратного калибра (рис. 64)

$$F = \frac{1}{2} bh.$$

Сторона квадратного калибра

$$a = \sqrt{F}.$$

При $b = h = 1,41a$

$$a = \sqrt{\frac{1}{2} b^2} = 0,707b.$$

Ширина вреза квадратного калибра в валки

$$b_p = b - s.$$

Высота квадратного калибра с учетом закруглений

$$h_p = h - 2r_1(\sqrt{2} - 1) \approx h - 0,83r_1.$$

Площадь ромбического калибра

$$F = \frac{1}{2} bh.$$

Высота ромбического калибра без учета закруглений у вершины

$$h = b - \Delta b,$$

где b — ширина ближайшего квадратного калибра;

Δb — уширение в ближайшем квадратном калибре.

Ширина ромбического калибра

$$b = \frac{2F}{h}$$

Ширина вреза ромбического калибра в валки

$$b_p = b - s \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

Высота ромбического калибра с учетом закруглений

$$h_p = h - 2r_1 \left(\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} - 1 \right).$$

Радиусы закруглений в чистовом калибре принимают по ГОСТу, а в остальных калибрах

$$r_1 = (0,1 \div 0,2) a$$

и

$$r_2 = (0,2 \div 0,5) b.$$

Зазор между валками

$$s = (0,01 \div 0,02) D_n.$$

Верхнее давление принимают равным нулю.

Заключительной частью расчета калибровки валков непрерывного заготовочного стана является соответствующая корректировка калибровки по константе в последней клетки. В результате корректировки должно быть обеспечено небольшое натяжение полосы между клетями.

На рис. 65 приведена калибровка первой группы непрерывного заготовочного стана 800/630/450, состоящей из восьми клеток с горизонтальными валками. Прокатка заготовки 150×150 мм и более производится в прямоугольных калибрах. При прокатке квадратной заготовки 106×106 и 120×120 мм в клетки V имеется ромбический калибр, а в клетки VI — квадратный. В табл. 5 приведены режимы обжатий при прокатке заготовок 106×106 и 120×120 мм.

На рис. 66 приведена калибровка второй группы того же непрерывного заготовочного стана. В эту группу клеток поступают заготовки 120×120 мм из первой группы. Из второй группы клеток получают заготовки 80×80 , 64×64 и 55×55 мм.

Заготовку 80×80 мм прокатывают за четыре прохода; при этом полоса без обжатия проходит через первую и последнюю клетки. Для по-

лучения указанной заготовки во II и III клетях имеются прямоугольные калибры, в IV — ромбический и в V — квадратный калибр.

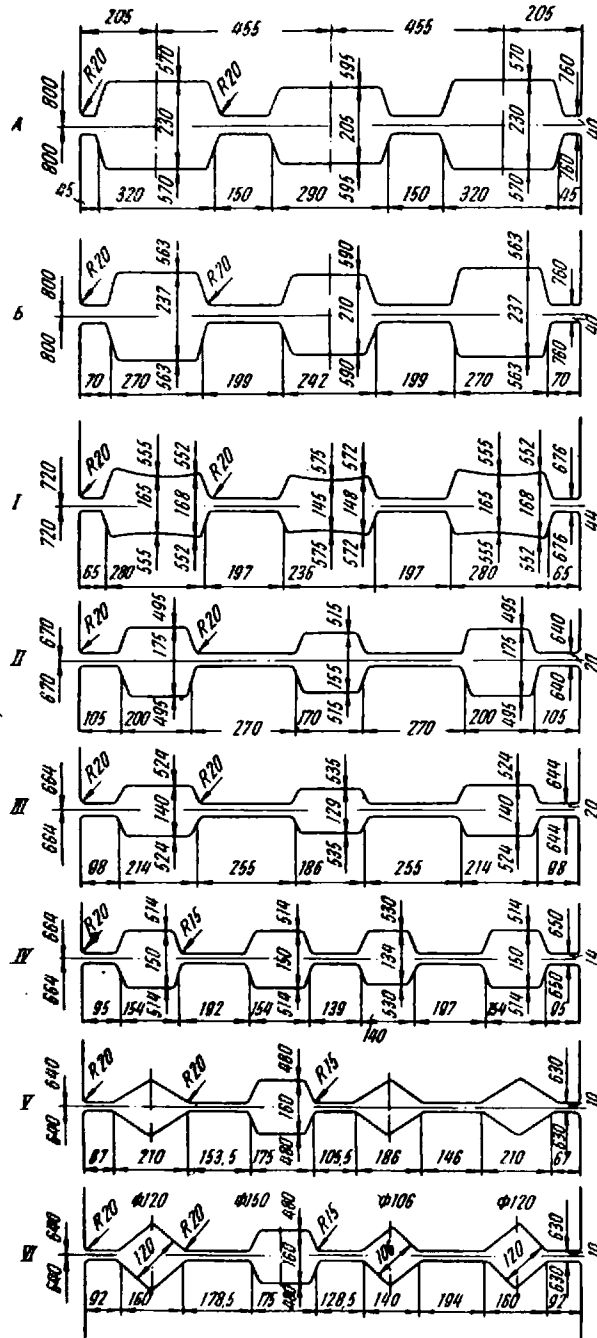


Рис. 65. Калибровка валков первой группы клетей непрерывного заготовочного стана 800/630/450

Заготовку 64×64 мм прокатывают за пять проходов. При этом в первых двух клетях используют прямоугольные калибры, в III и IV клетях — ромбические и в V клетях — квадратный калибр.

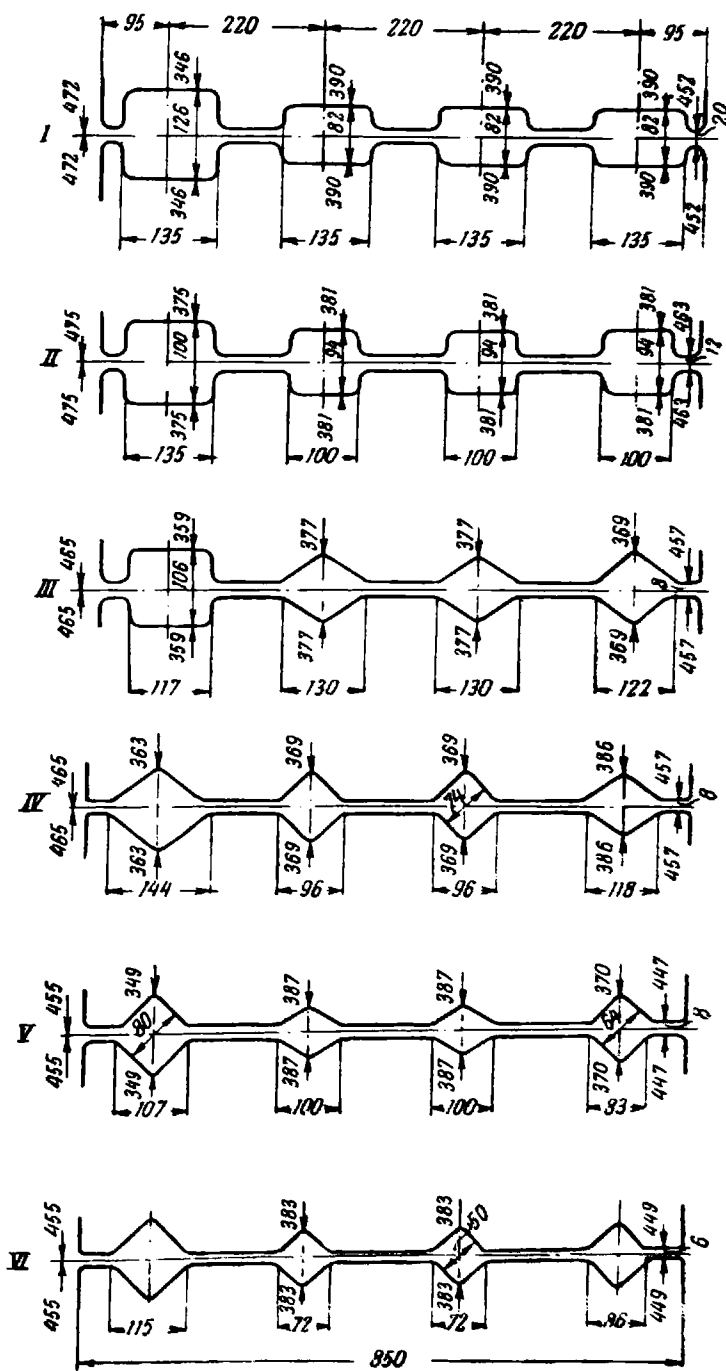


Рис. 66. Калибровка валков второй группы клетей непрерывного заготовочного стана 800/630/450

Таблица 5

Режимы обжатий при прокатке заготовок 106×106 и 120×120 мм на непрерывном заготовочном стане 800/630/450

Номер клетки	Размер стороны квадрата мм	Число оборотов в минуту	Диаметр валков, мм	Зазор между валками, мм	Катающий диаметр, мм	Размеры полосы, мм		Площадь сечения полосы $F \cdot 10^3$, мм ²	Обжатие Δ , %	Уширение Δb , мм	Константа калибровки $C \cdot 10^7$
						толщина h	ширина b				
А	106	9,20	760	40	595	205	265	552	45	15	30
	120				570	230	305	702	60	15	36,8
Б	106	11,60	760	40	590	210	210	440	55	5	30
	120				563	237	239	563	68	9	36,8
I	106	15,80	676	44	573	146,5	222	325	64	12	29,5
	120				554	166,5	250	416	72	12	36,8
II	106	24,20	640	30	515	155	155	240	67	10	29,9
	120				495	175	175	306	75	10	36,7
III	106	26,46	644	20	535	129	161	208	26	6	29,9
	120				524	144	182	262	31	7	36,6
IV	106	31,86	650	14	530	134	134	179,5	27	5	30
	120				514	150	150	225	32	6	36,8
V	106	38,74	630	10	562	135	190	140	38	17	30
	120				556	148	215	171	47	20	36,8
VI	106	48,42	630	10	555	106	106	112	52	3	30
	120				530	120	120	144	58	10	36,8

Заготовку 55×55 мм прокатывают за шесть проходов. Для этого в первых двух клетях применяют прямоугольные калибры, а в последующих клетях — вытяжные калибры системы ромб — квадрат.

В табл. 6 приведен режим обжатий при прокатке заготовки сечением 55×55 мм.

Таблица 6

Режим обжатий при прокатке заготовок 55×55 мм из заготовок 120×120 мм во второй группе клеток непрерывного заготовочного стана 800/630/450

Номер калибра	Толщина мм	Ширина мм	Площадь мм ²	Обжатие мм	Уширение мм	Коэффициент вытяжки	Угол захвата, град.	Рабочий диаметр, мм	Число оборотов валков в минуту
I	82	131	10700	38	11	1,34	25,5	300	56,25
II	94	94	8836	37	12	1,21	25,5	381	69,0
III	88	129	6580	32	9	1,34	22,3	414	85,5
IV	96	93	5476	33	5	1,20	24,5	406	105,2
V	68	97	4000	23	4	1,37	21,9	414	140,5
VI	72	72	3100	25	4	1,30	20,6	410	183,5

Примечание. Константа для всех калибров $C=23,4 \cdot 10^7$.

Калибровка валков заготовочных станов трио

Исходным материалом для этих станов являются блюмы 250×250 — 300×300 мм и слитки небольшой массы. Для прокатки заготовок 100×100 мм и более применяют прямоугольные калибры. Эти калибры

почти всегда располагают один над другим с таким расчетом, чтобы верхний ручей нижнего калибра являлся нижним ручьем верхнего калибра, т. е. вырез в среднем валке является частью нижнего и верхнего калибров (рис. 67).

Такое расположение калибров позволяет разместить большее число их и, следовательно, более экономно использовать бочку валков. Обычно первый калибр врезают между нижним и средним валками. После прокатки в этом калибре полосу прокатывают без кантовки в верхнем калибре. Затем ее кантуют на 90° и прокатывают в следующем нижнем калибре и т. д. Таким образом, все нечетные калибры расположены между нижним и средним валками, четные — между средним и верхним валками. Кантовка полосы осуществляется после каждого четного прохода.

Такие калибры в заготовочных станах трио называют сопряженными. Они должны врезаться в валки так, чтобы не было большой разницы катающих диаметров, т. е. большого верхнего давления и ослабления прочности валков.

Определим условия, при которых верхнее давление для сопряженных калибров будет наименьшим. Из рис. 67 следует, что

$$D_1 = \frac{D_{p.н}}{2} + \frac{D_{p.с}}{2} + h_1$$

и

$$D_2 = \frac{D_{p.с}}{2} + \frac{D_{p.в}}{2} + h_2.$$

Отсюда

$$D_{p.н} = 2D_1 - D_{p.с} - 2h_1$$

и

$$D_{p.в} = 2D_2 - D_{p.с} - 2h_2.$$

Допустим, что средние диаметры каждой пары валков одинаковые, т. е. $D_1 = D_2$. Тогда верхнее давление для нижнего калибра

$$D_{p.с} - D_{p.н} = D_{p.с} - 2D_1 + D_{p.с} + 2h_1 = 2D_{p.с} + 2h_1 - 2D_1,$$

и для верхнего калибра

$$D_{p.в} - D_{p.с} = 2D_2 - D_{p.с} - 2h_2 - D_{p.с} = 2D_2 - 2h_2 - 2D_{p.с}. \quad (III.7)$$

Сумма верхних давлений в обоих калибрах

$$(D_{p.с} - D_{p.н}) + (D_{p.в} - D_{p.с}) = 2(h_1 - h_2).$$

Таким образом, сумма верхних давлений при одинаковых средних диаметрах каждой пары валков равна удвоенному обжатию полосы в верхнем калибре.

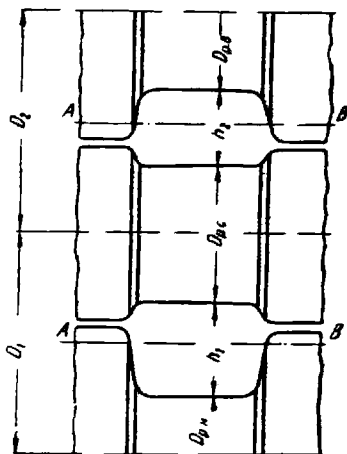


Рис. 67. Схема прямоугоньных сопряженных калибров (АВ — линия прокатки)

Врез в средний валок обычно делают так, чтобы верхнее давление у обоих калибров было одинаковым, т. е. равным обжатию в верхнем калибре:

$$(D_{p.c} - D_{p.n}) = (D_{p.v} - D_{p.c}) = h_1 - h_2.$$

Так как обжатие при прокатке часто достигает 50 мм, верхнее давление будет весьма большим.

Верхнее давление можно свести к нулю, если диаметр верхнего валка уменьшить, а нижнего увеличить на обжатие в верхнем калибре ($h_1 - h_2$). В этом случае все три валка будут иметь разные диаметры, причем наибольший диаметр будет у нижнего валка, наименьший у верхнего и промежуточный диаметр у среднего валка. Средние диаметры каждой пары валков также будут неодинаковы, т. е. $D_1 > D_2$. Тогда сумма верхних давлений у обоих калибров

$$(D_{p.c} - D_{p.n}) + (D_{p.v} - D_{p.c}) = 2(h_1 - h_2) - 2(D_1 - D_2). \quad (\text{III.8})$$

Таким образом, сумма верхних давлений при неодинаковых средних диаметрах каждой пары валков меньше удвоенного обжатия полосы в верхнем калибре на удвоенную разность средних диаметров каждой пары валков.

При равенстве верхних давлений у обоих калибров верхнее давление в каждом калибре будет меньше обжатия полосы в верхнем калибре на разность средних диаметров каждой пары валков:

$$(D_{p.c} - D_{p.n}) = (D_{p.v} - D_{p.c}) = h_1 - h_2 - (D_1 - D_2).$$

Из последнего уравнения видно, что можно выбрать такие средние диаметры валков, при которых верхнее давление будет равно нулю, т. е.

$$h_1 - h_2 - (D_1 - D_2) = 0.$$

Отсюда

$$D_1 - D_2 = h_1 - h_2.$$

Следовательно, верхнее давление будет равно нулю, если разность средних диаметров каждой пары валков равна обжатию в верхнем калибре.

В случае, если верхнее давление должно быть меньше обжатия в верхнем калибре на величину x , то следует на эту величину по отношению к среднему диаметру валка диаметр верхнего валка уменьшить, а нижнего увеличить или средний диаметр нижней пары валков увеличить, а верхней пары уменьшить на ту же величину. Однако не всегда можно допустить значительное увеличение диаметра нижнего и уменьшение диаметра верхнего валка, так как при одинаковых диаметрах шестеренных валков это мероприятие увеличивает угол перекоса соединительных шпинделей, что вредно отражается на службе рабочих и шестеренных клетей и соединительных муфт.

Порядок расчета калибровки валков заготовочных станов трио с прямоугольными калибрами аналогичен расчету таких же калибров непрерывных заготовочных станов.

В обжимных клетях многих линейных станов, особенно при прокатке качественной стали, после прямоугольных калибров применяют вытяжные калибры системы ромб — ромб (рис. 68).

При прокатке в ромбических калибрах полоса проходит один раз через каждый калибр, после чего ее кантуют на 90° и задают в следующий калибр.

Между элементами геометрически правильного ромба (рис. 69) существует определенная зависимость. Площадь ромба

$$F = \frac{bh}{2} \text{ или } F = a^2 \sin \gamma.$$

Зависимость между диагоналями имеет следующий вид:

$$b = 2a \sin \frac{\beta}{2} = h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Аналогично получаем

$$h = 2a \sin \frac{\gamma}{2} = b \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

Ширина ромба

$$b = 2a \sin \frac{\beta}{2}.$$

Отсюда

$$a = \frac{b}{2 \sin \frac{\beta}{2}}.$$

На рис. 69, б показан несколько видоизмененный ромб, который обычно применяют при калибровке валков.

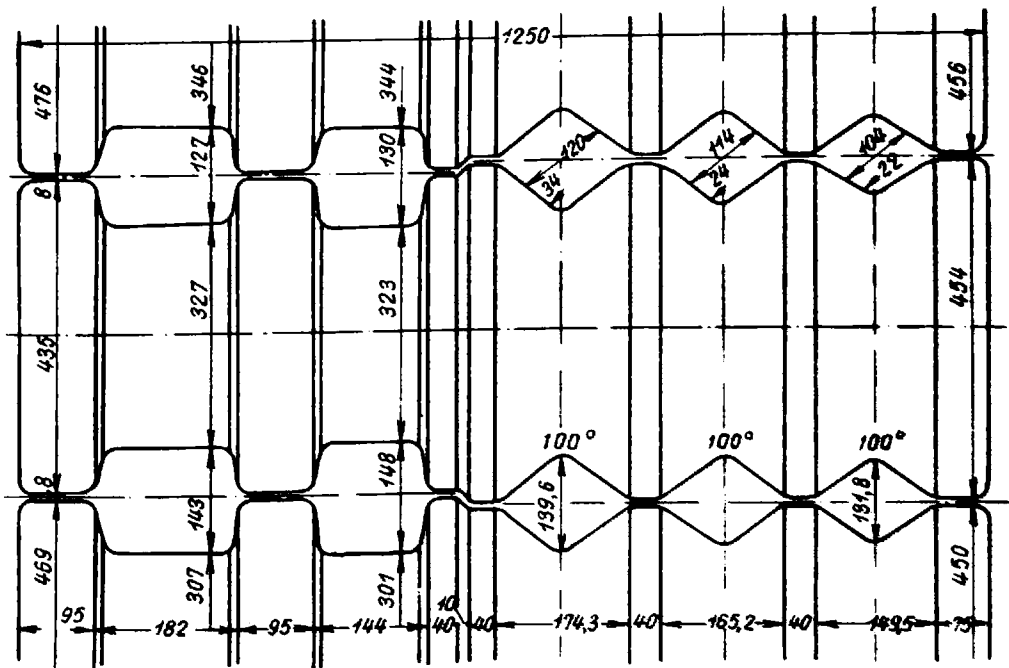


Рис. 68. Валки с прямоугольными и ромбическими калибрами

Между элементами ромбического калибра можно установить следующие зависимости:

$$h' = h - 2r \left(\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} - 1 \right),$$

$$b' = b - \frac{s}{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}},$$

$$r = (0,15 \div 0,20) a,$$

где r — радиус закругления в вершине калибра;

s — зазор между валками;

h' и b' — высота и ширина калибра.

При расчете ромбических калибров приходится определять не только элементы отдельных калибров, но и учитывать их взаимную связь друг с другом. Если из двух смежных ромбических калибров больший калибр имеет размеры a_1, b_1, h_1 , а меньший a_2, b_2, h_2 , то возможны следующие соотношения между элементами этих калибров:

1) высота h_1 (вертикальная диагональ) предыдущего калибра равна ширине b_2 (горизонтальной диагонали) последующего (рис. 70, а);

2) высота h_1 предыдущего калибра меньше ширины b_2 последующего (рис. 70, б);

3) высота h_1 предыдущего калибра больше ширины b_2 последующего (рис. 70, в).

Наиболее распространенным принципом построения ромбических калибров является первый ($h_1 = b_2$), далее идет второй ($h_1 < b_2$) и редко применяется третий ($h_1 > b_2$).

Для оценки неравномерности деформации при прокатке в ромбических калибрах на рис. 70 приведены диаграммы обжатий по ширине полосы. В первом случае обжатие является постоянным по ширине полосы, поэтому диаграмма очерчивается прямой линией. Во втором максимальное обжатие наблюдается посередине ширины полосы и диа-

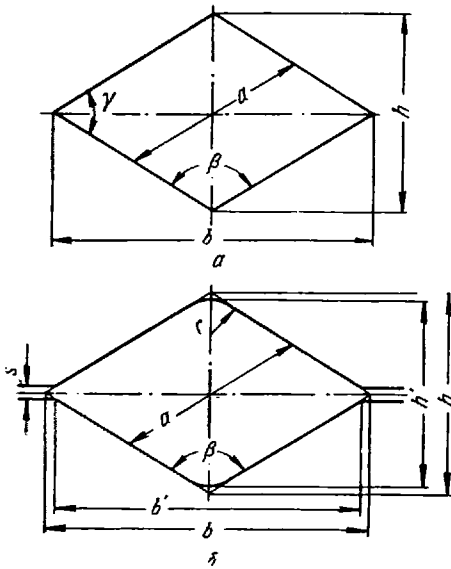


Рис. 69. Форма геометрически правильного ромба (а) и ромбического калибра (б)

грамма обжатий очерчивается кривой линией. В третьем максимальные обжатия наблюдаются по краям полосы и диаграмма обжатий очерчивается также кривой линией, но другого вида, чем в предыдущем случае.

Эти диаграммы только фиксируют результаты суммарной деформации. Чтобы получить полное представление о последовательном процессе деформации, применяют метод сечений, описанный при рассмотрении вытяжных калибров системы ромб — квадрат.

При построении ряда ромбических калибров по первому принципу (рис. 70, а) коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_1 b_1}{h_2 b_2}.$$

Так как $h_1 = b_2$, после сокращения получаем

$$\mu = \frac{b_1}{h_2}.$$

Выразим теперь h_2 и b_1 через b_2 :

$$h_2 = \frac{b_2}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \text{ и } b_1 = h_1 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = b_2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Тогда коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{b_2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{b_2 / \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} = \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}. \quad (\text{III.9})$$

Полученная формула показывает, что коэффициент вытяжки в системе ромбических калибров зависит только от угла при вершине ромба.

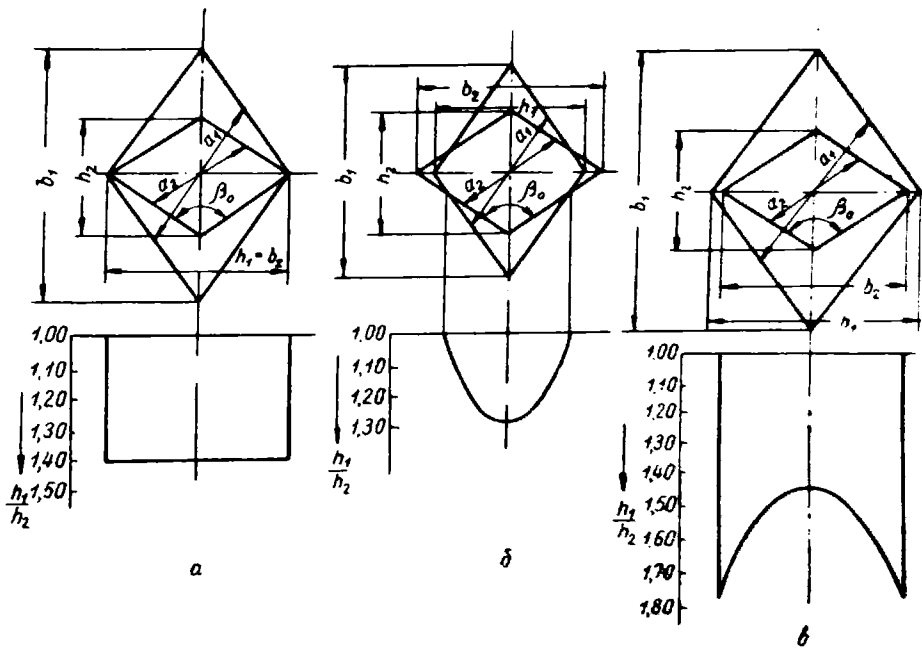


Рис. 70. Построение ромбических калибров при различных соотношениях размеров

Ниже приведены возможные коэффициенты вытяжки для некоторых типовых ромбических калибров:

β , град.	95	100	105
μ	1,19	1,42	1,69

Практически в ромбических калибрах, построенных по первому и третьему принципам, прокатка возможна только при просторе для уширения, который может быть создан за счет закруглений в вершине или развала в калибре.

При построении системы ромбических калибров по второму принципу простор для уширения предусматривается построением и расчетом калибров, так же как это делается при калибровке по системе ромб — квадрат.

Эти калибры имеют ряд достоинств, к которым можно отнести:

1) возможность получения квадратной заготовки из каждого ромбического калибра за два прохода с кантовкой между ними на 90° (рис. 71);

2) возможность получения из одного и того же калибра квадратной заготовки нескольких размеров, что достигается изменением зазора между валками;

3) легкое и простое изменение настройки валков при переходе на прокатку другого профиля или стали другой марки;

4) отсутствие проводок при прокатке в ромбических калибрах (применяют только линейки), что значительно облегчает работу обслуживающего персонала.

Однако следует отметить, что квадратная заготовка, прокатываемая в ромбических калибрах, имеет заметную восьмигранность

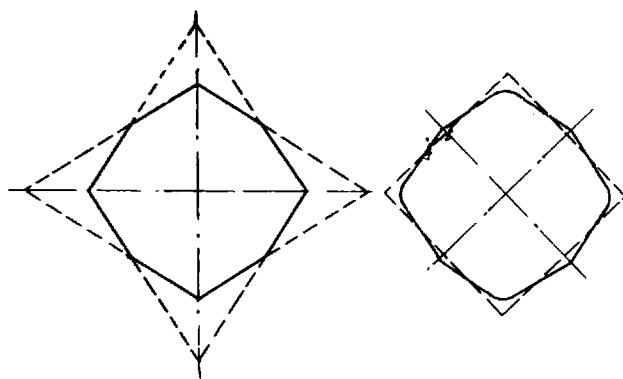


Рис. 71 Схема получения квадратной заготовки при прокатке в ромбических калибрах

(рис. 71), что отрицательно сказывается при загрузке и продвижении такой заготовки в методических печах (происходит выпучивание при проталкивании ее через печь). Кроме того, это преимущество ромбических калибров не может быть использовано на современных непрерывных заготовочных станах.

В ромбических калибрах плохо сбивается печная окалина с поверхности прокатываемых полос, что приводит к образованию различных дефектов. В связи с этим их не применяют для первых проходов. В этих случаях применяют сочетание прямоугольных калибров (для первых проходов) и ромбических (для последующих проходов). При этом можно применять прямоугольные калибры с большим наклоном боковых стенок. Кроме того, для полного удаления окалины желательно кантовать полосу после каждого прохода.

Допустимые углы захвата в ромбических калибрах при скорости прокатки около 3 м/сек находятся в пределах $24\text{--}26^\circ$ (при отсутствии насечки на поверхности валков).

Следует также отметить, что устойчивость полосы в ромбических калибрах меньше, чем в калибрах системы ромб — квадрат, причем она уменьшается с увеличением отношения диагоналей ромбических калибров. С увеличением отношения диагоналей этих калибров резко увеличивается обжатие и уменьшается заполнение калибра, что ведет к искажению профиля. В связи с этим вытяжки в вытяжных калибрах системы ромб — ромб меньше, чем в калибрах системы ромб — квадрат, и редко превышают 1,3.

**ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ, РАСХОД ЭНЕРГИИ
И МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ**

1. СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ ПРОКАТКИ БЛЮМОВ И СЛЯБОВ

Технически возможная производительность одноклетевого дуо-реверсивного блюминга или слябинга может быть определена по формуле (IV.1):

$$A = \frac{3600G}{T} \text{ т/ч.} \quad (\text{IV.1})$$

где G — масса слитка, т;
 T — ритм прокатки, сек.

Эта формула показывает, что часовая производительность блюминга прямо пропорциональна массе слитка и обратно пропорциональна ритму прокатки.

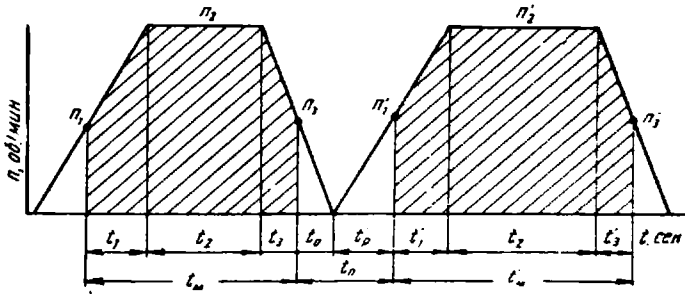


Рис. 72. Диаграмма изменения чисел оборотов валков при прокатке на дуо-реверсивных блюмингах

Для одноклетевого блюминга ритм прокатки представляет собой время от начала прокатки предыдущего слитка до начала прокатки следующего, т. е.

$$T = \Sigma t_M + \Sigma t_P,$$

где Σt_M — сумма времени всех проходов;

Σt_P — сумма всех пауз.

Тогда формула (IV. 1) может быть написана в виде

$$A = \frac{3600G}{\Sigma t_M + \Sigma t_P} \text{ т/ч.} \quad (\text{IV.1a})$$

Чтобы обеспечить минимальный ритм прокатки и, следовательно, максимальную производительность стана при данном режиме обжатий, необходимо установить наивыгоднейший скоростной режим прокатки

При прокатке слитков большой массы на дуо-реверсивных блюмингах и слябингах число оборотов валков в течение прохода изменя-

ется (рис. 72). Захват полосы валками происходит при числе оборотов n_1 , затем его повышают до максимального n_2 , а к концу прохода уменьшают до n_3 . После выхода полосы из валков двигатель останавливают и реверсируют для прохода полосы в обратном направлении.

На диаграмме различают следующие периоды: 1) ускорения стана без слитка, в течение которого число оборотов валков увеличивается с 0 до n_1 , 2) ускорения стана со слитком, в течение которого число обо-

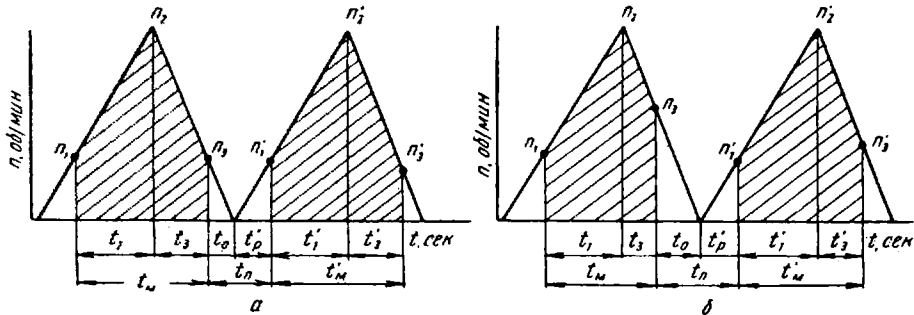


Рис. 73. Диаграмма изменения чисел оборотов валков при прокатке на дуо-реверсивных блюмингах (между проходами нет кантовки)

ротов валков увеличивается с n_1 до n_2 , 3) постоянной скорости, в течение которого число оборотов валков n_2 остается постоянным, 4) замедления стана со слитком, в течение которого число оборотов валков уменьшается с n_2 до n_3 , 5) замедления стана без слитка, в течение которого число оборотов валков уменьшается с n_3 до 0.

Если обозначить t_1 — время периода ускорения стана со слитком, t_2 — время постоянной скорости и t_3 — время периода замедления стана со слитком, то время прохода

$$t_m = t_1 + t_2 + t_3.$$

При выборе чисел оборотов n_1 , n_2 и n_3 необходимо учитывать, что режим обжатий и условия прокатки на реверсивных блюмингах не остаются постоянными для всех проходов. В связи с этим целесообразно изменять и числа оборотов для разных проходов.

Максимальное число оборотов валков n_2 зависит от длины полосы: чем больше длина полосы, тем больше число оборотов n_2 . При выборе числа оборотов валков n_1 и n_3 необходимо учитывать возможность обеспечения минимального времени прокатки в каждом проходе и минимальных пауз между проходами.

Изменение числа оборотов валков, показанное на рис. 72, типично для старых блюмингов с недостаточной мощностью двигателя и при прокатке длинных полос на реверсивных станах, например на рельсобалочных.

На рис. 73, а показано изменение числа оборотов валков на современных блюмингах в проходах, между которыми полоса не кантуется. Характерным для этой диаграммы является отсутствие периода прокатки с постоянным числом оборотов. Следовательно, время прохода в этом случае будет складываться из времени периодов ускорения и замедления, т. е.

$$t_m = t_1 + t_3.$$

Время периодов ускорения и замедления можно определить по формулам

$$t_1 = \frac{n_2 - n_1}{a} \text{ и } t_2 = \frac{n_2 - n_3}{b},$$

где a — ускорение валков, *об/мин* в секунду;

b — замедление валков, *об/мин* в секунду.

Тогда время прохода при отсутствии кантовки прокатываемой полосы

$$t_m = \frac{n_2 - n_1}{a} + \frac{n_2 - n_3}{b}.$$

Паузы без кантовки полосы включают реверсирование двигателя стана, установку верхнего валка и передвижение полосы по рольгангу. Все эти операции совмещаются во времени, чем достигается сокращение паузы до минимума.

Время передвижения полосы по рольгангу обычно меньше времени установки верхнего валка, так как в этом случае полоса отводится рольгангом от валков только на такое расстояние, чтобы можно было опустить верхний валок на величину обжатия в следующем проходе.

Следовательно, пауза без кантовки будет определяться временем установки верхнего валка.

Время реверсирования двигателя стана в этом случае (рис. 73, а)

$$t_{\text{рев}} = t_0 + t'_p, \quad (\text{IV}, 2)$$

где t_0 — время периода замедления стана без слитка в предыдущем проходе;

t'_p — время периода ускорения стана без слитка перед следующим проходом.

Так как время периода замедления стана без слитка

$$t_0 = \frac{n_3}{b},$$

а время периода ускорения стана без слитка

$$t'_p = \frac{n'_1}{a},$$

время реверсирования двигателя

$$t_{\text{рев}} = \frac{n_3}{b} + \frac{n'_1}{a}.$$

Время реверсирования двигателя стана при отсутствии кантовки полосы между проходами должно быть равно времени установки верхнего валка, т. е. времени паузы

$$t_{\text{рев}} = t_n = \frac{n_3}{b} + \frac{n'_1}{a}. \quad (\text{IV}, 3)$$

Отсюда

$$n_3 = b \left(t_n - \frac{n'_1}{a} \right). \quad (\text{IV}, 4)$$

Числа оборотов при выходе полосы из валков в предыдущем проходе и при захвате в последующем обычно принимают одинаковыми, т. е.

$$n_3 = n'_1 = \frac{ab}{a+b} t_n = k \frac{t_n}{2},$$

где k — среднее ускорение, равное $\frac{2ab}{a+b}$.

Число оборотов валков n_1 при захвате полосы в следующем проходе необходимо проверить по условию захвата полосы валками. Для этого можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 7.

Таблица 7

Допускаемые углы захвата при прокатке на блюминге

Валки	Допускаемые углы захвата, град., при окружной скорости валков, м/сек							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4—7
Гладкие	24,5	23,5	22,5	19,5	16	12,5	12	—
Калиброванные (без насечки)	27,5	26,0	24,5	21,0	17	13,0	12	—
Калиброванные (с насечкой)	32,0	31,0	30,0	28,0	26	24,0	21	20

Если окажется, что для надежности захвата полосы валками необходимо уменьшить число оборотов валков при захвате полосы в последующем проходе (n_1), то в этом случае число оборотов валков при выходе полосы из валков (n_3) можно будет определить по формуле (IV. 4). Диаграмма изменения числа оборотов в этом случае представлена на рис. 73, б.

Таким образом, чтобы сократить паузу между проходами при отсутствии между ними кантовки, желательно остановить полосу ближе к валкам, т. е. выпуск полосы производить при минимальном числе оборотов. Захват полосы валками в следующем проходе в этом случае также следует производить при минимальном числе оборотов, обеспечивающем лучшие условия захвата. На практике пауза без кантовки составляет 1—2 сек.

Следует отметить, что такой метод работы необходимо применять в первых проходах, так как захват полосы при большом числе оборотов приводит к сильным ударам. Это объясняется большими размерами полосы и тем, что окалина на поверхности полосы может вызвать буксование в валках и последующий сильный удар.

Для предварительного определения максимального числа оборотов валков применяют несколько формул. По формуле А. П. Виноградова число оборотов валков

$$n_2 = \sqrt{xL}, \quad (\text{IV.5})$$

где x — коэффициент, определяемый из условия, что наибольшая длина полосы L равна 25 м и максимальное число оборотов валков $n_2 = 110$ в минуту; тогда $x = 484$.

По методу, предложенному В. А. Тягуновым [III. 10, 13], максимальное число оборотов n_2 (если оно не ограничивается мощностью двигателя стана) определяют по формуле

$$n_2 = \sqrt{60kN} = \sqrt{120 \frac{ab}{a+b} N}, \quad (\text{IV.6})$$

где N — число оборотов валков за реверс;
число оборотов валков за реверс

$$N = N_1 + N_p + N_0,$$

где N_1 — число оборотов валков за время прохода, равное $L/\pi D_p$, где L — длина полосы в данном проходе, D_p — катающий диаметр валков;

N_p — число оборотов валков за время периода ускорения стана с 0 до n_1 , равное $t_p v / \pi D_p$, где t_p — время периода ускорения стана с нуля до n_1 , v — средняя окружная скорость валков за тот же период.

Так как $t_p = \frac{n_1}{a}$ и $v = \frac{\pi D_p n_1}{120}$,

$$N_p = \frac{n_1^2}{120a};$$

N_0 — число оборотов валков за время периода замедления стана с n_3 до нуля, определяемое по уравнению

$$N_0 = \frac{n_3^2}{120b}.$$

Тогда формулу (IV. 6) можно представить в следующем виде:

$$n_2 = \sqrt{120 \frac{ab}{a+b} \left(\frac{L}{\pi D_p} + \frac{n_1^2}{120a} + \frac{n_3^2}{120b} \right)}. \quad (\text{IV. 6a})$$

Длину полосы по проходам следует определять с учетом уплотнения слитка в первых проходах по уравнению

$$L = \frac{G10^3}{\rho hb},$$

где G — масса слитка, кг;

ρ — плотность стали, г/см³;

h и b — толщина и ширина полосы, мм.

Однако при прокатке на блюминге имеются проходы, после которых следует кантовка полосы. Паузы с кантовкой полосы включают, кроме указанных операций, еще кантовку полосы и передвижение ее линейками манипулятора. В этом случае желательно число оборотов при выходе полосы из валков принимать максимально возможным, чтобы отбросить полосу к кантовальным крючкам и этим самым сократить паузу. На рис. 74, а показано изменение числа оборотов валков, которое часто применяют в этих случаях. За время прохода, после которого следует кантовка, число оборотов валков увеличивается до n_2 , при котором полоса выбрасывается из валков, а замедление валков с n_2 до нуля происходит вхолостую. Время прохода состоит только из одного периода ускорения, т. е. $t_M = t_1$.

На рис. 74, а показано также изменение числа оборотов валков, которое можно принимать в проходах, следующих после кантовки. Чтобы полнее использовать предыдущую паузу, захват полосы валками производится при максимально возможном числе оборотов, учитывая главным образом условия захвата полосы валками. Время реверсирования двигателя стана в этом случае состоит из замедления с n_2 до нуля и разгона стана вхолостую до максимального числа оборотов n_1 .

В первом проходе и в проходе после первой кантовки угол захвата не ограничивает число оборотов валков при захвате, так как слиток имеет конусность и задается в валки более тонким концом. Поэтому число оборотов валков при захвате можно принимать равным максимальному числу оборотов (рис. 74, б), т. е. $n_1 = n_2$.

На практике пауза с кантовкой полосы равна 3,0—4,5 сек.
 Кроме указанных пауз с кантовкой и без кантовки полосы, на блюминге имеется пауза между концом прокатки предыдущего слитка и

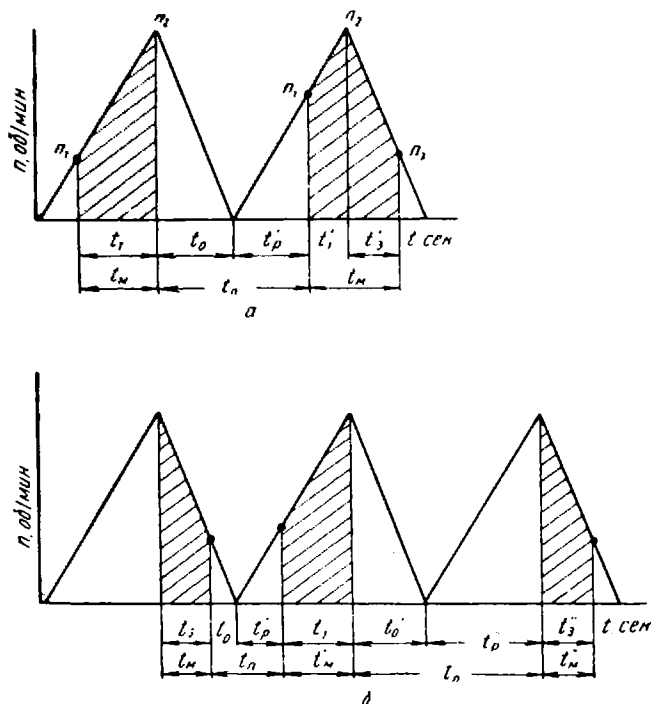


Рис. 74. Диаграмма изменения чисел оборотов валков при прокатке на дуо-реверсивных блюмингах (между проходами имеется кантовка)

началом прокатки следующего. Обычно эта пауза определяется временем подъема верхнего валка и равна 3—5 сек.

В случае $n_3 = n_2$ формула (IV. 6а) имеет вид

$$n_2 = \sqrt{120a \frac{L}{\pi D_p} + n_1^2}, \quad (IV.6a)$$

а в случае $n_1 = n_2$ формула (IV. 6а) примет вид

$$n_2 = \sqrt{120b \frac{L}{\pi D_p} + n_3^2}. \quad (IV.6b)$$

2. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ

Полное давление металла на валки можно представить в виде произведения среднего по дуге захвата давления p_{cp} на площадь контакта F металла с валком, т. е.

$$P = p_{cp} F. \quad (IV.7)$$

При прокатке слитков, блюмов, слябов и заготовок на гладких валках или в ящичном калибре горизонтальная проекция поверхности соприкосновения металла с валком (площадь контакта)

$$F = bl, \quad (IV.8)$$

где $b = \frac{b_0 + b_1}{2}$ — средняя ширина прокатываемой полосы с учетом уширения;

b_0 и b_1 — ширина металла до прокатки и после нее в данном проходе;

l — длина контакта металла с валком (проекция дуги захвата на горизонтальную ось).

Длина контакта

$$l = \sqrt{R\Delta h - \left(\frac{\Delta h}{2}\right)^2} \approx \sqrt{R\Delta h}, \quad (\text{IV.9})$$

где R — радиус валка (в данном калибре);

Δh — абсолютное обжатие полосы за проход,

$$\Delta h = h_0 - h_1. \quad (\text{IV.10})$$

Здесь h_0 и h_1 — толщина полосы до прохода и после него.

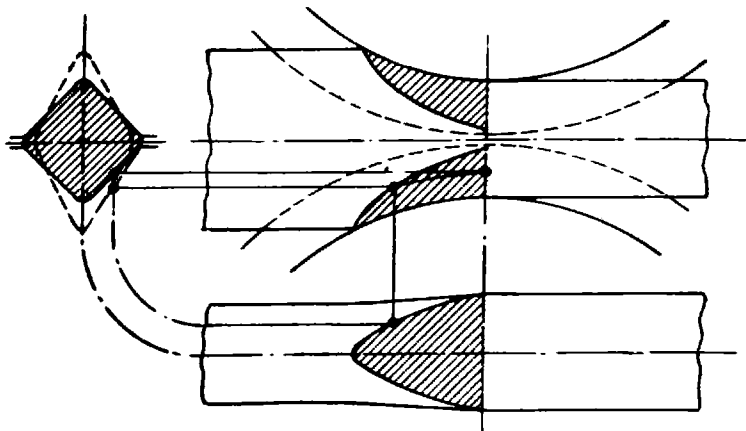


Рис. 75. Графическое определение площади поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке ромбической полосы в квадратном калибре

При прокатке полосы в прямоугольном калибре (например, квадратной заготовки в ромбическом калибре) контактную площадь определяют следующими способами:

1) по формулам (IV.8—IV.10), но толщину полосы до прохода и после него определяют исходя из начального ω_0 и конечного ω_1 сечений заготовки в данном проходе, т. е.

$$h_0 = \frac{\omega_0}{b_0} \text{ и } h_1 = \frac{\omega_1}{b_1}.$$

Тогда

$$\Delta h = \frac{\omega_0}{b_0} - \frac{\omega_1}{b_1}; \quad (\text{IV.11})$$

2) графически, для этого калибр с металлом вычерчивают в трех проекциях и по линиям пересечения соответствующих точек валка и металла определяют контур горизонтальной поверхности контакта металла с валками (рис. 75).

Среднее по дуге захвата давление зависит от двух основных факторов [I. 6, 9; II. 10, 11, 13, 15, 26, 27]:

1) механических свойств (фактического предела текучести) прокатываемого металла при данных условиях его деформации (температуре, скорости и степени деформации);

2) характера напряженного состояния металла при деформации, т. е. влияния контактных сил трения, внешних зон и внешних натяжений на условия пластической деформации.

Эту зависимость можно выразить следующим образом:

$$\rho_{cp} = \sigma_{s,\phi} (\beta n_{\sigma}). \quad (IV.12)$$

Ввиду сложности физико-механических процессов, протекающих в металле при одновременном изменении температуры t , скорости u и сте-

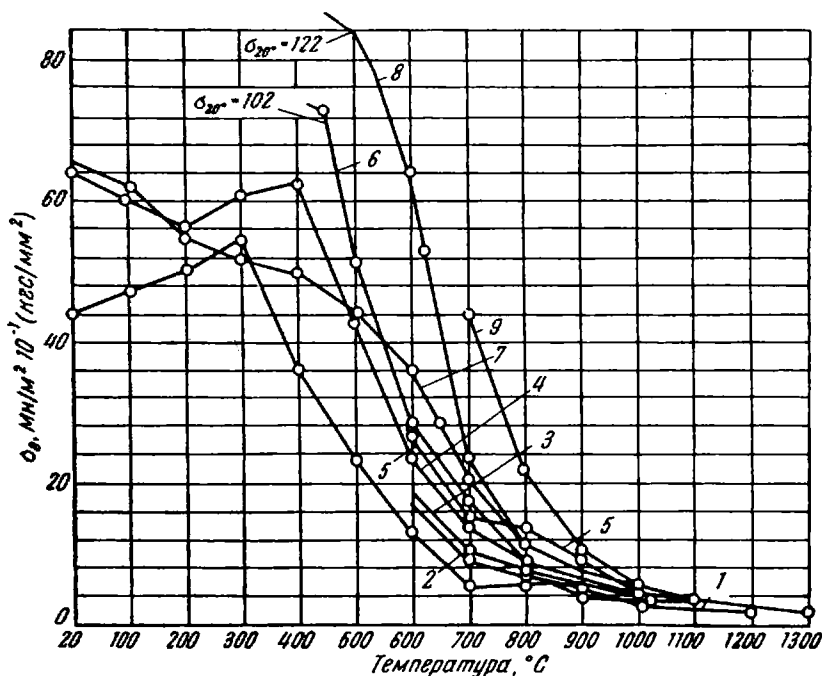


Рис. 76. Зависимость предела прочности различных сталей от температуры образцов:

1 — сталь 15; 2 — У7; 3 — 30ХГСА; 4 — 12ХН3А; 5 — Х12М; 6 — 60С2; 7 — Х18Н9Т; 8 — 12ХНВА; 9 — Х20Н80

пени деформации ϵ , достаточно удовлетворительного аналитического решения функции [II. 1, 7, 8, 9, 15, 20] $\sigma_{s,\phi} = \sigma_s f(t, u, \epsilon)$ в настоящее время нет. Поэтому для определения фактического (истинного) предела текучести $\sigma_{s,\phi}$ приходится пользоваться экспериментальными данными, которые характеризуют зависимость предела текучести σ_s (при растяжении или сжатии образцов) от каждого параметра в отдельности (например, температуры) или от двух параметров при постоянном третьем. Кроме того, при испытании образцов при высоких температурах принимают, что предел прочности и предел текучести металла практически одинаковы [II. 7, 23, 24, 32].

Из рассмотрения экспериментальных графиков, приведенных на рис. 76—78, можно сделать следующие выводы:

1) при высоких температурах (выше 1000 °C) предел прочности (текучести) углеродистых сталей не зависит от содержания углерода в

стали, т. е. практически одинаков для всех марок углеродистой стали. предел прочности (текучести) легированных сталей выше, чем углеродистых [П. 17, 26];

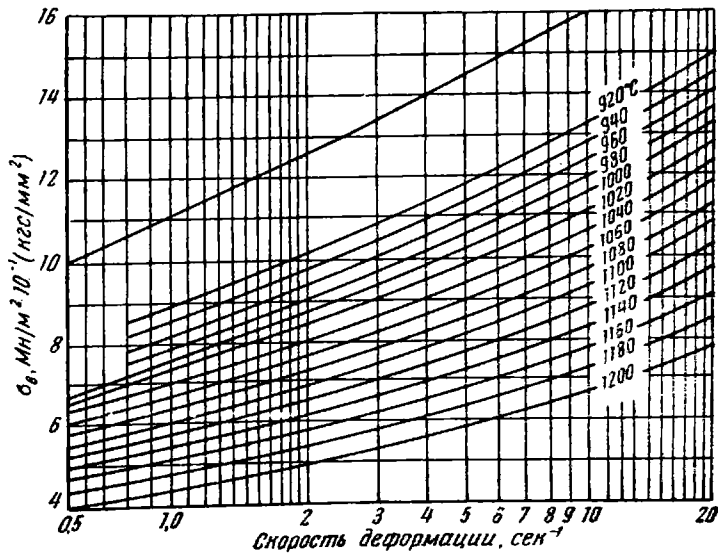


Рис. 77. Зависимость предела прочности низкоуглеродистой стали при различных температурах от скорости деформации (степень деформации $\epsilon < 0,15$)

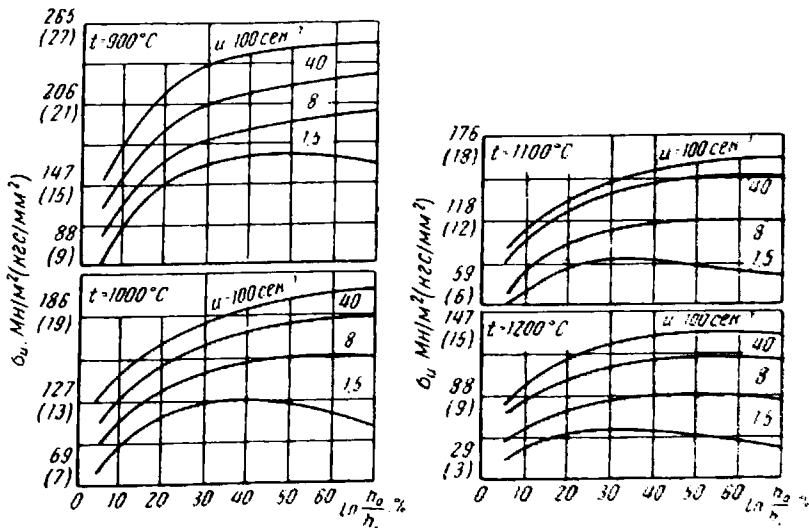


Рис. 78. Зависимость предела текучести низкоуглеродистой стали от обжатия при разных скоростях деформации и температурах

2) с увеличением скорости деформации (при $t = \text{const}$) предел прочности (текучести) значительно возрастает;

3) с увеличением степени деформации предел прочности (текучести) возрастает, но затем (при $\epsilon > 0,30$) остается неизменным или даже понижается.

При пользовании этими графиками надо учитывать средние по дуге захвата значения скорости и степени деформации согласно формулам

$$u_{\text{ср}} = \frac{v_1}{l} \varepsilon; \quad (\text{IV.13})$$

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{2}{3} \varepsilon = \frac{2}{3} \frac{\Delta h}{h_0}; \quad (\text{IV.14})$$

$$\ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right)_{\text{ср}} = \ln \frac{1}{1 - \varepsilon_{\text{ср}}} \approx \varepsilon_{\text{ср}} \left(1 + \frac{\varepsilon_{\text{ср}}}{2} \right). \quad (\text{IV.15})$$

Коэффициент β в формуле (IV.12) характеризует влияние среднего главного напряжения σ_2 в уравнении пластичности на разность наибольшего σ_1 и наименьшего σ_3 , главных напряжений при объемной схеме деформации металла. Если при прокатке уширение значительно (например, при прокатке квадратной полосы в овальном калибре), то можно принимать, что $\sigma_2 = 0$ и $\beta = 1$. Если уширением можно пренебречь (прокатка слябов, листов, прямоугольных блюмов), то можно принять, что

$$\sigma_2 = 0,5(\sigma_1 + \sigma_3) \text{ и } \beta = 2/\sqrt{3} \approx 1,15.$$

Коэффициент напряженного состояния металла n_σ можно представить в виде произведения трех коэффициентов, т. е.

$$n_\sigma = n_{\text{тр}} \cdot n_3 \cdot n_{\text{н}}, \quad (\text{IV.16})$$

где $n_{\text{тр}}$ — учитывает влияние внешнего (контактного) трения ($n_{\text{тр}} > 1$);
 n_3 — учитывает влияние внешних зон, примыкающих слева и справа к геометрической зоне деформации ($n_3 > 1$);
 $n_{\text{н}}$ — учитывает влияние внешних натяжений полосы; при подпоре (сжатии) $n_{\text{н}} > 1$, при растяжении $n_{\text{н}} < 1$.

При горячей прокатке блюмов, слябов и заготовок, когда отношение длины контакта к средней толщине полосы меньше единицы ($\frac{l}{h_{\text{ср}}} < 1$), значение первых двух коэффициентов можно определять по следующим формулам [I. 9; II. 1]:

$$n_{\text{тр}} = 1 + \frac{\mu l}{2h_{\text{ср}}}; \quad (\text{IV.17})$$

$$n_3 = \left(\frac{h_{\text{ср}}}{l} \right)^{0,3}. \quad (\text{IV.18})$$

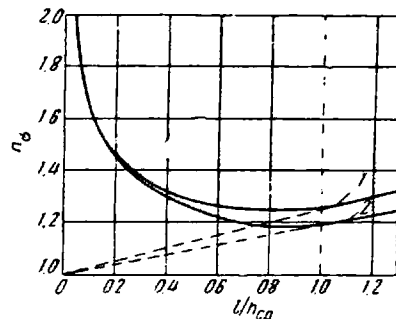
Таким образом, с увеличением отношения $l/h_{\text{ср}}$ коэффициент $n_{\text{тр}}$ увеличивается (при коэффициенте контактного трения $\mu = \text{const}$), а коэффициент n_3 уменьшается.

Из рассмотрения рис. 79 следует, что в области $\frac{l}{h_{\text{ср}}} < 1$ преимущественное влияние оказывает коэффициент внешних зон n_3 ; влияние коэффициента трения незначительно.

При прокатке на непрерывных заготовочных станах вследствие недостаточно точного соотношения скоростей вращения валков в соседних клетях между некоторыми клетями полоса испытывает напряжения сжатия (подпора) или растяжения. Наличие подпора металла (для последующей клети) увеличивает давление металла на валки и момент прокатки в предыдущей клети. Влияние подпора следует учитывать коэффициентом $n_{\text{н}} = 1,06 \div 1,10$.

Пример 1. Определить давление металла на валки при прокатке слитков массой 25 т из малоуглеродистой стали на слябинге с диаметром валков $D=1200$ мм. Исходные данные: проход восьмой, $h_0=700$ мм; $h_1=640$ мм; $\Delta h=60$ мм; $\varepsilon=0,086$; $h_{\text{ср}}=670$ мм;

Рис. 79. Зависимость коэффициента напряженного состояния n_{σ} от отношения $l/h_{\text{ср}}$:
1 — $f=0,5$; 2 — $f=0,4$



$b_0=1520$ мм; $b_1=1530$ мм; $b_c=1525$ мм; $l=\sqrt{R\Delta h}=190$ мм;
 $\frac{l}{h_{\text{ср}}}=0,28$; $\frac{h_{\text{ср}}}{l}=3,5$; $n=60$ об/мин; $v=3,77$ м/сек; $t=1150$ °С;
 $u_{\text{ср}}=1,7$ сек⁻¹.

Находим:

1. Среднюю по дуге захвата степень деформации

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{2}{3} \varepsilon \approx 0,07; \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right)_{\text{ср}} = \ln \frac{1}{1 - \varepsilon_{\text{ср}}} \approx \varepsilon_{\text{ср}}$$

2. Согласно рис. 76, при $t=1150$ °С $\sigma_s \approx 30$ Мн/м² (3 кгс/мм²); согласно рис. 77 и 78, при заданных $u_{\text{ср}}$ и $\varepsilon_{\text{ср}}$ $\sigma_{s,\phi} = 55$ Мн/м² (5,5 кгс/мм²). Таким образом, фактический предел текучести стали при $t=1150$ °С с учетом скорости и степени деформации в 1,8 раза больше σ_s при статических испытаниях образцов.

3. Коэффициент трения по формуле Эжелунда при $c_v=0,9$ для $v=4$ м/сек

$$\mu = (1,05 - 0,0005t) c_v = 0,43.$$

4. Коэффициенты напряженного состояния

$$n_{\text{тр}} = 1 + \frac{0,43}{2} \cdot 0,28 = 1,05;$$

$$n_s = (3,5)^{0,8} = 1,46;$$

$$n_{\sigma} = 1,05 \cdot 1,46 = 1,52.$$

5. Среднее и полное давление металла на валок по формулам (IV.12 и IV.7)

$$p_{\text{ср}} = 55 \cdot 1,15 \cdot 1,52 = 95 \text{ Мн/м}^2 \text{ (9,5 кгс/мм}^2\text{);}$$

$$P = 1525 \cdot 190 \cdot 95 = 27,3 \text{ Мн (2730 тс).}$$

3. РАСХОД ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

При простом процессе прокатки металл обжимается приводными валками, имеющими одинаковые диаметры и равные угловые и окружные скорости; металл движется равномерно (без ускорения и замедления) и на него не действуют внешние силы (подпора или натяжения). Очевидно, что в этом случае сумма проекций на ось x сил P , действуя-

ших на верхний и нижний валки, должна быть равна нулю, что возможно только при условии, когда эти силы равны и направлены вертикально (рис. 80).

Момент прокатки, требующийся для вращения обоих валков и деформации металла (без учета потерь на трение в подшипниках валков):

$$M_{\text{пр}} = 2Pa = 2P\psi l, \quad (\text{IV.19})$$

где P — полное давление (усилие) на валки, определяемое по уравнению (IV.7);

a — плечо приложения силы P ;

$\psi = \frac{a}{l}$ — коэффициент плеча приложения силы P ;

l — длина контакта металла с валком (горизонтальная проекция дуги захвата), определяемая по формуле (IV.9).

На основании экспериментальных данных можно принять, что при прокатке на блюминге и слябинге $\psi \approx 0,5$, а при прокатке в квадратных и ромбических калибрах (вторая группа клетей непрерывного заготовочного стана) $\psi = 0,52 \div 0,57$.

На обжимных станах (блюмингах и слябингах) прокатку осуществляют с нижним давлением, при котором диаметр нижнего валка принимают на 1—1,5% больше диаметра верхнего валка.

Вследствие этого окружная скорость нижнего валка несколько больше окружной скорости верхнего и по выходе из валков металл будет стремиться загнуться вверх, что исключает возможность удара переднего конца раската слитка о первые ролики рольганга. В этом случае момент прокатки, требующийся для деформации металла, не будет поровну распределяться между валками: на верхнем валке меньшего диаметра момент будет меньше, а на нижнем валке большего диаметра

больше половины общего момента прокатки. Для ориентировочных расчетов на прочность можно принимать, что к нижнему валку со стороны шпинделя (от электродвигателя) прикладывается момент $M_{\text{нижн}} = 0,7 M_{\text{пр}}$.

Несмотря на небольшую разницу диаметров валков, неравномерность распределения момента прокатки бывает значительной, что приводит к перегрузкам (а иногда и к поломкам) нижнего валка и нижнего шпинделя. Поэтому разницу в диаметрах валков не следует допускать более 1%.

Момент трения в подшипниках двух валков

$$M_{\text{тр}} = 2Pfr_{\text{ш}} = Pfd_{\text{ш}}, \quad (\text{IV.20})$$

где f — коэффициент трения в подшипниках валков; текстолитовых $f = 0,005 \div 0,008$, качения (роликовых) $f = 0,004 \div 0,005$; жидкостного трения $f = 0,003 \div 0,004$;

$d_{\text{ш}}$ — диаметр трения в подшипнике.

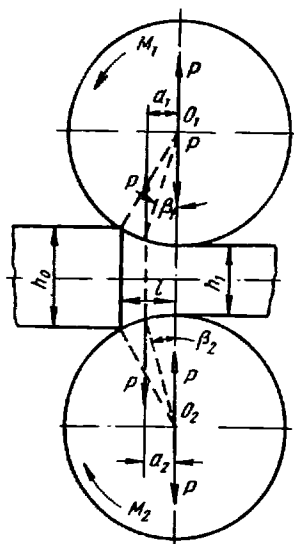


Рис. 80. Направление сил, действующих на валки при простом процессе прокатки

При определении момента и мощности электродвигателя реверсивного стана (блюминга или слябинга), работающего с переменной скоростью в процессе прокатки (с ускорением и замедлением), необходимо учитывать динамический момент, требующийся для ускорения всех вращающихся масс в линии привода стана (валков, шпинделей, якоря двигателя, муфт), по формуле

$$M_{\text{дин}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}, \quad (\text{IV.21})$$

где GD^2 — маховой момент всех вращающихся деталей привода стана.
 $\frac{dn}{dt}$ — угловое ускорение (замедление) стана, равное $40-80 \frac{\text{об/мин}}{\text{сек}}$.

Пример 2. Определить момент прокатки и момент электродвигателя при прокатке слитка массой 25 т на слябинге с диаметром валков $D = 1200$ мм. Исходные данные те же, что и в примере 1 (см. стр. 119).

Момент прокатки по формуле (IV.19)

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot 27300 \cdot 0,5 \cdot 0,19 = 5190 \text{ кн} \cdot \text{м} \quad (519 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Момент трения в текстолитовых подшипниках валков ($d_{\text{п}} = 0,8$ м)

$$M_{\text{тр}} = 27300 \cdot 0,005 \cdot 0,8 \approx 110 \text{ кн} \cdot \text{м} \quad (11 \text{ тс} \cdot \text{м})$$

Динамический момент при ускорении валков $50 \frac{\text{об/мин}}{\text{сек}}$ в процессе прокатки и $GD^2 = 3000 \text{ кн} \cdot \text{м}^2$ ($300 \text{ тс} \cdot \text{м}^2$)

$$M_{\text{дин}} = \frac{3000}{375} \cdot 50 = 400 \text{ кн} \cdot \text{м} \quad (40 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Суммарный рабочий момент привода стана (в восьмом проходе при длительности прокатки около 2 сек)

$$M_{\text{раб}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{дин}} = 5700 \text{ кн} \cdot \text{м} \quad (570 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Валки слябинга имеют индивидуальный привод от двухъякорных электродвигателей каждый мощностью 6600 квт ($n_{\text{н}} = 50 \text{ об/мин}$). Суммарный номинальный момент электродвигателей

$$M_{\text{н}} = 9,75 \cdot \frac{2 \cdot 6600}{50} = 2574 \text{ кн} \cdot \text{м} \quad (257,4 \text{ тс} \cdot \text{м})$$

При допустимой кратковременной перегрузке (коэффициент перегрузки $k = 2,5$) максимальный момент электродвигателей равен $6300 \text{ кн} \cdot \text{м}$ ($630 \text{ тс} \cdot \text{м}$). Таким образом, $M_{\text{раб}} < M_{\text{выкл}}$. Кроме того, необходимо проверить двигатели на нагрев их обмоток по среднеквадратичному моменту, согласно нагрузочной диаграмме для всех проходов при прокатке слитка.

На непрерывных заготовочных станах прокатка в каждой клетке осуществляется с постоянной (для данной заготовки) скоростью. Обычно в линии привода валков этих клетей имеются шестеренная клетка и редуктор с передаточным числом $i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{в}}} > 1$, поэтому момент электродвигателя определяют по формуле

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}}}{i\eta}, \quad (\text{IV.22})$$

где η — к. п. д. линии привода, равный $0,90-0,92$

КАЧЕСТВО ПОЛУПРОДУКТА И МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

В современных прокатных цехах все заготовки, прокатанные на блюмингах и заготовочных станах, поступают на общий склад, состоящий обычно из трех пролетов шириной примерно 30 м каждый и оборудованный специальными мостовыми кранами. В пролеты этого склада выведены рольганги блюминга и заготовочного стана. По этим рольгангам заготовки поступают к стеллажам холодильника.

Для уборки блюмов на складе устанавливают холодильники, оборудованные толкателями, а для уборки слябов — стеллажи, оборудованные сталкивателями и укладывателями.

В конце холодильников непрерывного заготовочного стана расположены сборочные карманы, откуда заготовки убирают мостовыми кранами и складывают в штабеля.

В пролеты склада выведены также загрузочные рольганги нагревательных печей сортовых станков, предназначенных для подачи заготовок к этим печам. Эти рольганги оборудованы загрузочными решетками, на которые заготовки подают со склада мостовыми кранами. При помощи различных механизмов заготовки поступают на загрузочные рольганги нагревательных печей.

На складе заготовок имеются также стеллажи с транспортерами-кантователями для осмотра заготовок с целью выявления поверхностных дефектов.

Все дефекты блюмов, слябов и заготовок можно разделить на две группы [III. 9]:

1) дефекты литейного происхождения, т. е. такие дефекты блюмов, слябов и заготовок, которые обусловлены какими-либо дефектами слитков (см. гл. I, п. 3);

2) дефекты прокатного происхождения, т. е. такие дефекты, причинами которых являются нарушения в технологическом процессе прокатки полупродукта.

Дефекты прокатного происхождения могут быть вызваны неправильным нагревом слитков, неправильной настройкой стана, неправильной калибровкой валков, низким качеством валковой арматуры и неправильной установкой ее, износом калибров, неправильным температурным режимом прокатки, неправильным режимом охлаждения металла после прокатки и др.

Дефекты, связанные с нагревом слитков перед прокаткой, были рассмотрены в гл. II, п. 4. Поэтому рассмотрим только дефекты, связанные с процессом прокатки. К таким дефектам полупродукта прежде всего следует отнести неправильность профиля. При прокатке блюмов встречаются следующие виды неправильности профиля.

Блюмы косые или ромбические (рис. 81, а) получаются из-за разных причин; например из-за смещения ручьев, неравномерного нагрева слитка, а также при прокатке в калибре, ширина которого больше стороны задаваемого блюма, или при прокатке полосы на ребро с отношением сторон более 1,5, в особенности при малых сечениях.

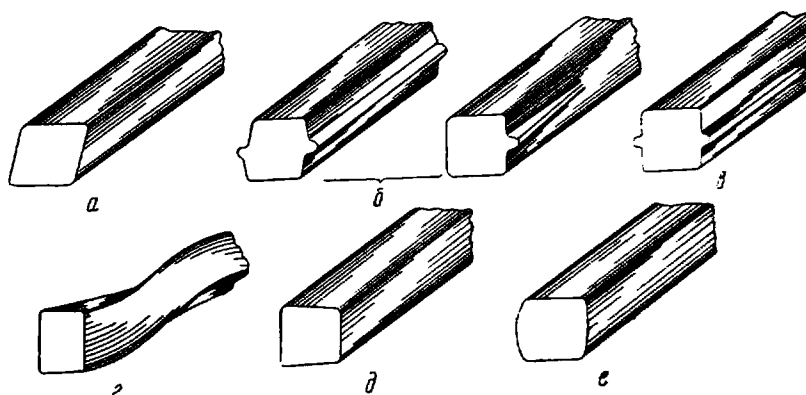


Рис. 81. Виды неправильных профилей при прокатке блюмов

Подрез блюмов (рис. 81, б) получается главным образом в результате смещения ручьев или задачи полосы на бурты.

Лампасы (заусенцы) на блюмах (рис. 81, в) получаются на двух противоположных сторонах в результате нарушения схемы обжатий. Они

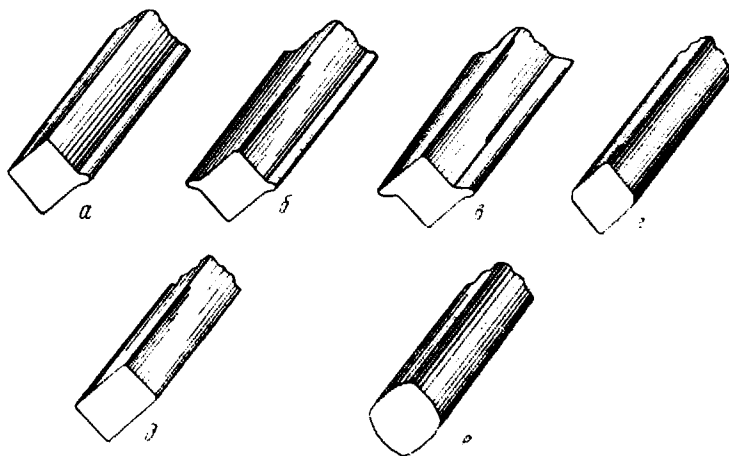


Рис. 82. Виды неправильных профилей при прокатке заготовок: а — односторонний лампас; б — двусторонний лампас; в — подрез; г — невыполнение углов заготовки; д — прямоугольное сечение вместо квадратного; е — выпуклые бока

могут получиться также из-за недостаточного выпуска калибра, когда в этом калибре производится несколько проходов.

Блюмы-свертыши (рис. 81, г) получаются в результате смещения ручьев, перекося валков, задачи полосы на бурты, а также вследствие неравномерного нагрева слитка. На образование свертышей может влиять выпуск калибров в обжатие.

Для предотвращения свертыwania блюмов необходимо соблюдать правильную расточку валков, в частности точное совпадение ручьев ка-

либров, расположенных в верхнем и нижнем валках; правильную задачу полосы в калибр; правильную установку валков относительно друг друга; равномерность нагрева слитков. Кроме того, не допускается работа на валках со значительно выработанными калибрами.

Наконец, к неправильности профиля при прокатке блюмов следует отнести также разносторонность (рис. 81, д) и выпуклые бока (рис. 81, е).

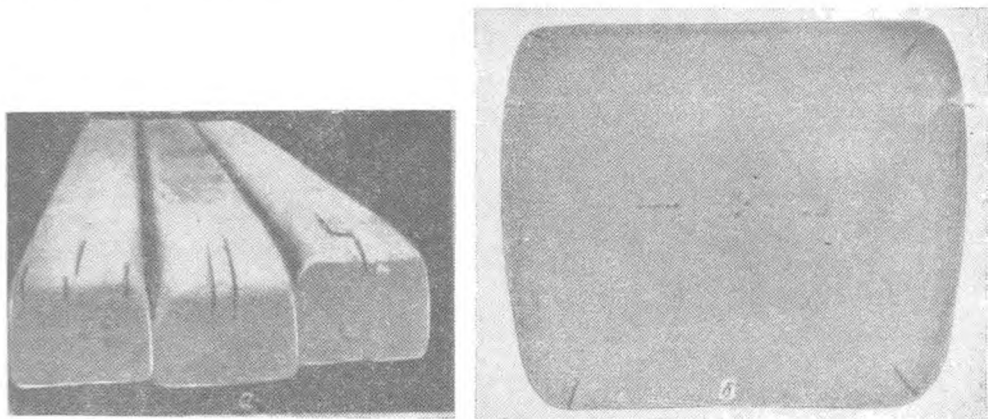


Рис. 83. Трещины на боковой поверхности (а) и на углах (б) блюмов

Причиной получения разносторонности блюмов является разный зазор по крайним буртам валков.

Примеры неправильности профиля при прокатке заготовок главным образом на непрерывных заготовочных станах приведены на рис. 82.

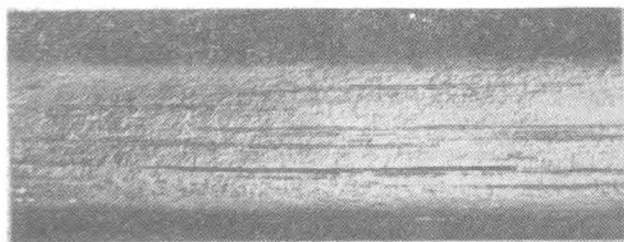


Рис. 84. Волосовины на поверхности полосы

К поверхностным дефектам в первую очередь следует отнести поверхностные нарушения целостности металла: трещины, волосовины, рванины и скворечники.

Причиной возникновения поверхностных нарушений целостности металла являются дефекты слитков: трещины и рванины, газовые пузыри, плены и завороты, неметаллические включения, транскристаллическая структура и др. Причиной возникновения поверхностных нарушений целостности металла может быть, кроме нагрева, и процесс прокатки. На образование трещин, рванин и других видов нарушений металла влияют обжатие за проход, система калибровки, температура и скорость прокатки и др.

На рис. 83 показаны трещины на боковой поверхности и на углах блюмов.

В отличие от трещин, которые представляют собой сравнительно большие нарушения целостности металла, волосовины представляют со-

бой мелкие наружные трещины, вытянутые обычно вдоль прокатки и иногда в большом количестве (рис. 84).

Причиной образования волосовин, как известно, являются подкорковые пузыри, если они близко расположены к поверхности слитков и если нагрев и прокатка приводят к выходу этих дефектов на поверхность прокатываемого металла. Кроме того, причиной могут быть также и неметаллические включения.

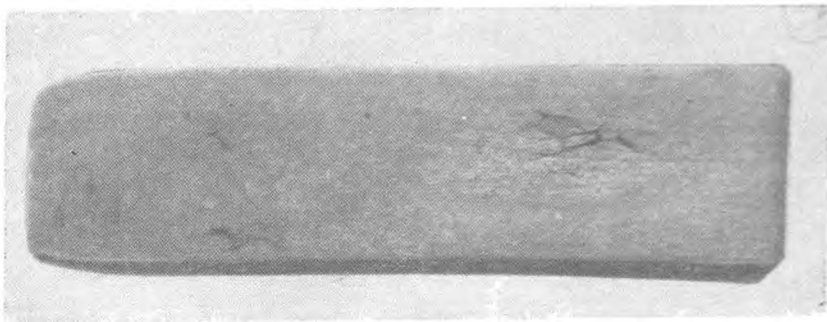


Рис. 85. Рванины на поверхности блюмов

На рис. 85 показаны рванины на поверхности блюмов, которые представляют собой разрывы или надрывы металла разнообразного очертания. Рванины на блюмах часто переходят в скворечники (рис. 86) —

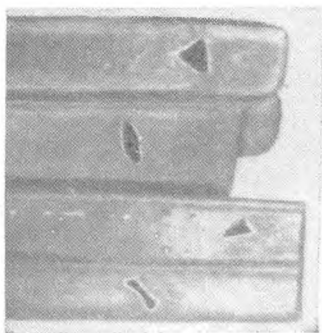


Рис. 86. Скворечники на блюмах

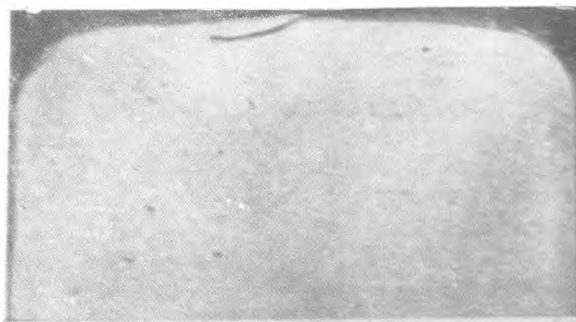


Рис. 87. Закат на середине грани блюма

крупные разрывы, идущие от поверхности внутрь. Причиной образования скворечников является слишком быстрый и неравномерный нагрев, при котором могут получиться поперечные трещины, расширяющиеся и углубляющиеся при дальнейшей прокатке.

К другим поверхностным дефектам блюмов, слябов и заготовок необходимо отнести:

1. Закат (рис. 87), внешне похожий на тонкую продольную трещину и представляющий собой вдавленный и закатанный заусенец; если вдавливаются и закатываются всякого рода возвышения, то закат обычно похож на плену.

2. Плены (рис. 88) представляют собой тонкие плоские отслоения, причиной образования которых являются брызги при разливке стали сверху, подкорковые пузыри, недостаточное раскисление металла в печи или в ковше.

Причиной образования плен является также насечка валков, которая при прокатке твердых сталей не допускается, и сильно выработанные калибры. Мелкие плены обычно выгорают, а крупные приходится удалять.

3. Шлак, песочины и другие неметаллические включения, наличие которых позволяет предположить, что сталь вообще неудовлетворитель-

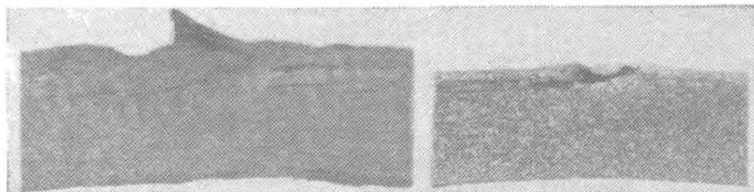


Рис. 88. Плены на поверхности заготовки

но выплавлена или разлита. Однако причиной этих неметаллических включений может быть загрязнение металла не только в сталеплавильных цехах, но и в прокатных, например при нагреве слитков, в процессе которого возможно прилипание шлака к металлу.

4. Царапины или риски на поверхности заготовок от проволок (в этом случае их надо сменить) и различные отпечатки, являющиеся результатом выработки калибров.

Дефекты блюмов, слябов и заготовок получают также при резке их на ножницах. К ним относят косой рез при неправильной установке полосы относительно плоскости ножей; загиб конца полосы, причиной которого является неправильная настройка ножниц (большой зазор между ножами, недостаточно острые ножи и др.); смятие кромок на торце, получающееся по тем же причинам, что и загиб конца полосы; заусенцы на торце, причиной которых является притупление ножей или плохая их настройка.

При недостаточной обрезке концов на блюмах могут оставаться следы усадочной раковины и рыхлости.

Наружные трещины образуются на заготовках в процессе охлаждения, но очень часто после охлаждения металла (через несколько часов и даже дней). В связи с этим такие трещины называют «холодными» или закалочными, так как при наличии их металл обычно получается с повышенной твердостью, т. е. как бы закалившимся при быстром охлаждении.

Эти трещины иногда бывают неглубокие и напоминают волосовины. Обычно они вытягиваются в прерывистые линии в направлении прокатки. Однако холодные трещины могут проникать и до центра заготовки, а у малопластичных сталей можно наблюдать сквозные трещины крупных размеров, пересекающие всю толщину заготовки преимущественно у ее концов (рис. 89).

Причинами образования холодных трещин являются остаточные напряжения, возникающие в процессе прокатки, а также в процессе охлаждения металла после прокатки (тепловые и структурные напряжения). Чем больше скорость охлаждения после прокатки, тем больше возникаю-

щие при этом напряжения и больше вероятность получения холодных трещин.

Однако не все стали будут иметь холодные трещины при быстром охлаждении их после прокатки. Например, блюмы, слябы и заготовки из низкоуглеродистой стали можно охлаждать с любой скоростью, не опасаясь образования наружных трещин или какого-либо ухудшения качества стали.

Обычно после прокатки регулируют скорость охлаждения блюмов, слябов и заготовок из легированной и высоколегированной сталей. Одни из этих сталей более склонны к образованию холодных трещин, другие менее склонны и в зависимости от этого приходится применять различные меры, предотвращающие образование этих трещин.

Наиболее склонны к образованию холодных трещин быстрорежущая, инструментальная высокоуглеродистая, инструментальная легированная, высокохромистая, хромоникелевая, хромоникельвольфрамовая и другие стали.

Различные поверхностные дефекты удаляют при подготовке исходных материалов (слитков и заготовок) к прокатке. Эта операция является важной, особенно при прокатке качественной углеродистой и легированной стали, используемой для изготовления ответственных деталей машин в различных отраслях промышленности. Затраты на подготовку исходных материалов в этом случае окупаются увеличенным выходом годного и повышенным качеством готового проката.

Обычно на металлургических заводах применяют горячий всад слитков в нагревательные колодцы, поэтому поверхностные дефекты удаляют с заготовок (не исключена возможность удаления поверхностных дефектов и с горячих слитков).

К качеству поверхности слитков легированной и высоколегированной стали предъявляют особенно высокие требования. В связи с этим слитки можно полностью охлаждать, подвергать зачистке и направлять в холодное состояние на нагрев (перед зачисткой может быть применена умягчающая термическая обработка).

К удаляемым поверхностным дефектам заготовок относят плены, волосовины, трещины, неметаллические включения, закаты, царапины и др. Если требуется полное удаление поверхностных дефектов, то заготовку предварительно подвергают травлению. Последнее позволяет выявить такие дефекты, которые простым осмотром обнаружить невозможно, так как они бывают закрыты окалиной.

Наиболее экономичным и прогрессивным способом удаления поверхностных дефектов является огневая зачистка. В процессе такой зачистки слой металла сжигается и удаляется с поверхности кислородной струей.

Огневую зачистку осуществляют вручную и специальными машинами. При ручной огневой зачистке, как правило, удаляются определенные дефекты поверхности слитков и заготовок. В этом случае резак подводят к дефекту и в течение нескольких секунд подогревают металл до 950—1000 °С. Резак устанавливают под углом 75—80° к поверхности заготов-

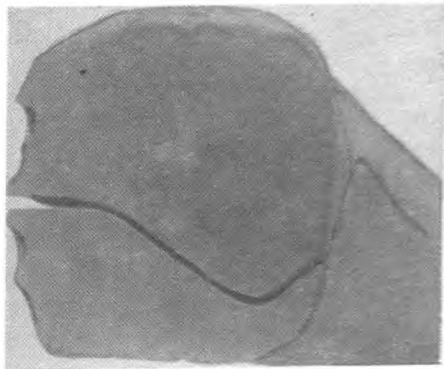


Рис. 89. Трещины, образовавшиеся при охлаждении на воздухе заготовки из хромистой нержавеющей стали

ки. После достижения температуры воспламенения металла увеличивают количество впускаемого в резак кислорода, который сжигает и удаляет слой металла. При этом наклон резака к поверхности заготовки уменьшают до 25—30°.

В настоящее время огневой зачистке подвергают стали почти всех видов. Легко поддаются огневой зачистке все углеродистые и низколегированные стали. При огневой зачистке нержавеющей, жаростойких и других сталей с большим содержанием хрома применяют специальные флюсы и обмазки, облегчающие зажигание и получение легкоплавкого шлака.

Для зачистки этих сталей применяют также специальный резак, отличающийся от обычного резака дополнительным инжекторным устройством, к которому по одной трубке подводят кислородно-флюсовую смесь, а по другой—дополнительный «режущий» кислород. При резке сначала нагревают начальную точку реза, затем подают кислород с флюсом. После образования достаточного количества расплавленного шлака включают подачу дополнительного кислорода и передвигают резак вдоль линии зачистки металла.

При огневой зачистке заготовок возможно образование трещин. Причиной образования трещин являются термические напряжения, возникающие в результате значительного температурного перепада по поперечному сечению заготовки, а также напряжения, которые возникают при образовании из аустенита мартенситной или троосто-мартенситной структуры. Температурные напряжения тем больше, чем меньше теплопроводность, больше коэффициент термического расширения, ниже исходная температура заготовки и окружающей среды. Возможность образования трещин тем больше, чем устойчивее аустенит, выше содержание углерода в стали и больше скорость охлаждения стали после зачистки. Для уменьшения напряжений во время зачистки сталь подогревают или ее зачищают в горячем состоянии непосредственно после прокатки.

Ручная огневая зачистка осуществляется вдоль заготовки. Края канавки должны быть пологими. Ширина канавки должна быть не менее чем в пять раз больше глубины, а длина — не менее чем в три раза больше ширины.

Широкое распространение получили машины огневой зачистки (см. рис. 20), устанавливаемые в технологическом потоке между блюмингом или слябингом и ножницами.

Сплошную механизированную огневую зачистку применяют также на складе заготовок. При этом металл зачищают в холодном или подогретом состоянии комбинированными агрегатами, которые совмещают осмотр и зачистку заготовок. Схема одного из таких агрегатов представлена на рис. 90. Агрегат включает приемный стеллаж со шлепперами, рольгангами, металлические щетки для удаления окалины с поверхности заготовок, кантователи, газовые резаки и стеллаж для приемки зачищенных заготовок.

К другим способам удаления поверхностных дефектов с заготовок и слитков относят вырубку (зачистку) пневматическими зубилами, зачистку на наждачных, фрезерных и токарных станках.

До сих пор применяют малопроизводительную (особенно при обработке легированных сталей) и вредную для здоровья рабочих вырубку (зачистку) поверхностных дефектов пневматическими зубилами (молотками). Этот способ является наиболее трудоемким в прокатном производстве и не соответствует современным масштабам производства. Его применяют преимущественно в качестве дополнительной операции для

устранения отдельных глубоких дефектов слитков, оставшихся, например, после сплошной обдирки или какой-либо другой сплошной зачистки.

Вырубку дефектов обычно осуществляют вдоль заготовки, так как при поперечной вырубке некоторые дефекты (трещины) зачеканиваются. Края канавки должны быть пологими. Отношение ширины канавки к ее

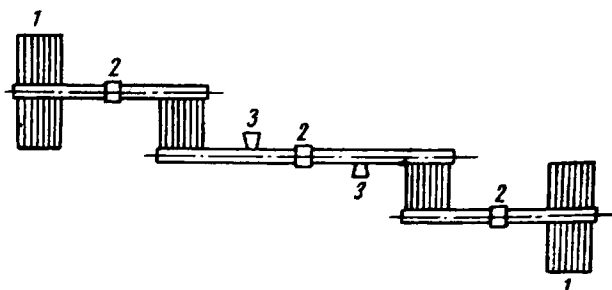


Рис. 90. Схема агрегата для огневой зачистки полупродукта:

1 — стеллажи; 2 — кантователи; 3 — зачистные аппараты

глубине должно быть такое, чтобы при последующей прокатке не было образования трещин и других дефектов на поверхности готового проката.

Для удаления дефектов с поверхности заготовок применяют также качающиеся наждачные станки, подвешиваемые при помощи устройства, позволяющего легко поворачивать станок вокруг оси и отклонять от вертикального положения. Зачистка заготовок производится абразивными кругами, изготовляемыми из электрокорунда на бакелитовой связке.

В отличие от вырубке пневматическими зубилами удаление дефектов наждачными станками должно производиться поперечной зачисткой, так как при продольной зачистке такие дефекты, как волосовины или очень мелкие трещины, обычно располагающиеся вдоль заготовки, обнаружить очень трудно.

Зачистка заготовок на наждачных станках малопроизводительна, а ее стоимость значительно выше стоимости зачистки пневматическими зубилами. Поэтому этот способ зачистки применяют при удалении большого количества мелких дефектов, но главным образом при удалении дефектов с поверхности заготовок из высоколегированных сталей. Последние трудно или совсем не поддаются вырубке пневматическими зубилами.

При зачистке заготовок из твердых сталей вследствие сильного разогрева металла и последующего остывания могут возникнуть шлифовочные трещины. Чтобы избежать появления этих трещин, необходимо снимать не слишком большую стружку и выбирать величину зерна, твердость и окружную скорость абразивных кругов соответственно стали. Возможность появления шлифовочных трещин особенно велика при зачистке заготовок из твердых сталей, охлажденных быстро после прокатки, в результате чего в них возникают большие внутренние напряжения. Стали, склонные к воздушной закалке, во избежание появления трещин надо зачищать в озоженном состоянии.

В последнее время применяют шлифовальные агрегаты, которые по конструкции аналогичны агрегатам огневой зачистки. От последних они отличаются тем, что газовые резаки заменены наждачными станками и машинами для осветления.

Наиболее распространенным способом зачистки является обточка слитков и заготовок. Этот способ применяют для обдирки круглых слит-

ков и заготовок при производстве бесшовных труб из жаропрочной, нержавеющей и других высококачественных сталей, к качеству которых предъявляют особо высокие требования.

В настоящее время изготавливают специальные токарные станки для обдирки круглых слитков, предназначенных для производства труб. Эти станки имеют специальные приспособления для быстрой установки и центровки слитков, а для ускорения обдирки — несколько одновременно работающих резцов, установленных на общем суппорте.

В особых случаях обточке подвергают слитки из легированной и высоколегированной стали, применяемые для прокатки сортовой и листо-

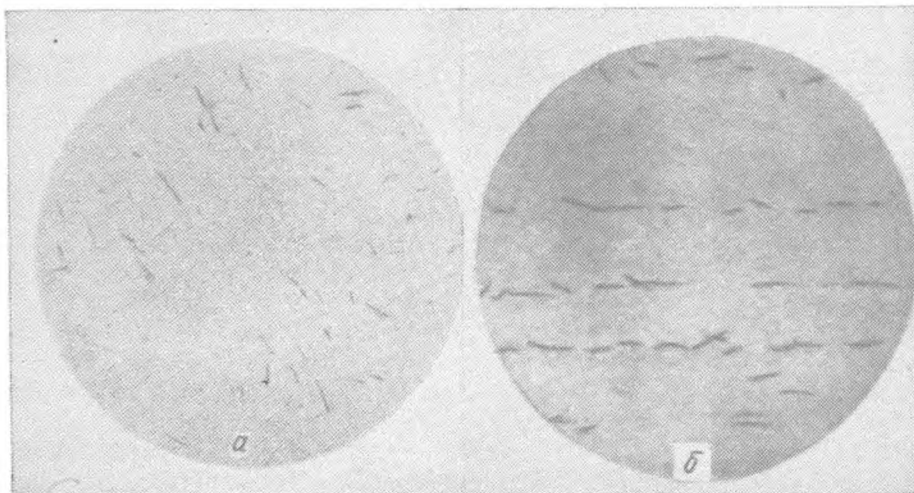


Рис. 91. Флокены в поперечном (а) и продольном (б) сечениях прокатанной полосы

вой стали. Так как эти слитки имеют квадратное или прямоугольное поперечное сечение, обдирка их производится на специальных станках, работающих по особому копиру. На этих станках можно обтачивать слитки и заготовки с любой формой поперечного сечения.

До применения станков для обточки квадратных и прямоугольных слитков и заготовок обдирка последних осуществлялась сплошной строжкой на обычных и специальных строгальных станках. Этот малопроизводительный и дорогой способ в настоящее время применяют очень редко.

Фрезеровку слитков и заготовок применяют для удаления всего поверхностного слоя или в дефектных местах. Фрезеровку осуществляют на специальных станках.

Местную фрезеровку производят, например, для зачистки заготовок с дефектами шириной до 50 мм и глубиной до 10—15 мм, удаление которых пневматическими зубилами весьма затруднительно.

Слитки и заготовки из мягкой и средней твердости стали обдирают, строгают и фрезеруют без предварительного отжига, а слитки из твердой стали предварительно отжигают.

В настоящее время внедряют новый, прогрессивный метод удаления поверхностных дефектов — зачистку металла электрической дугой, под действием которой металл в месте расположения дефекта выплавляется. По некоторым данным, производительность электрозачистки в три-четыре-

ре раза выше производительности вырубки пневматическими зубилами, а стоимость меньше примерно в три раза.

К дефектам блюмов, слябов и заготовок, связанных с охлаждением их после прокатки, относят также внутренние трещины (флокены), наблюдаемые на макро- и микрошлифах и в изломе (рис. 91).

Наиболее склонны к образованию флокенов хромоникелевые, хромоникелемолибденовые, хромистые, марганцовистые и другие стали, т. е. стали мартенситного и перлитного классов. Флокены наблюдаются и в углеродистых сталях с содержанием 0,7—1,0% Mn. В сталях аустенитного и ледебуритного классов (быстрорежущие, нержавеющие, жаропрочные, высокомарганцовистые и др.) флокены не наблюдаются.

Наиболее часто флокены возникают в блюмах, слябах и заготовках, а также в готовом крупно- и среднесортном прокате.

Для предотвращения образования холодных трещин и флокенов применяют замедленное охлаждение и термическую обработку полупродукта¹. Замедленное охлаждение осуществляют в штабелях, теплоизолирующих материалах, ямах и в неотапливаемых колодцах. В качестве теплоизолирующих материалов применяют кизельгур, доменный шлак, шлаковую вату, песок и др.

В последнее время все большее распространение (особенно для флокеночувствительных сталей) получает охлаждение в отапливаемых печах, позволяющих осуществить изотермическую выдержку в интервале наиболее выгодных температур и тем самым уменьшить продолжительность термической обработки.

Мерой предотвращения образования флокенов может быть также специальный нагрев слитков, при котором должна соблюдаться определенная температура слитков при посадке, медленный нагрев и длительная выдержка при 1100—1150 °С с целью диффузионного выделения водорода.

При прокатке заготовок из легированной и высоколегированной стали склады заготовок оборудованы колодцами для замедленного охлаждения и печами для термической обработки заготовок.

¹ Образование холодных трещин и флокенов, а также меры борьбы с ними подробно рассмотрены в соответствующих разделах учебников по металлургии и термической обработке.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОДУКТА**

Производительность блюмингов и слябингов

Технически возможная часовая производительность одноклетевого дуо-реверсивного блюминга может быть определена по формулам (IV. 1 и IV. 1a). Практически возможная часовая производительность блюминга меньше технической возможной, так как во время работы стана неизбежны потери темпа из-за небольших и случайных задержек, нарушающих нормальный ритм прокатки. К таким задержкам можно отнести задержку в подаче слитка от нагревательных колодцев к стану, задержку при резке прокатанных полос, возвращение недостаточно нагретого слитка в нагревательные колодцы и др. Эти потери времени зависят главным образом от четкости и организованности работы; их учитывают коэффициентом использования стана K .

Практически возможную часовую производительность блюминга с учетом коэффициента K определяют по формуле

$$A_1 = \frac{3600 \cdot G}{T} K \text{ т/ч.} \quad (\text{VI.1})$$

Чем больше коэффициент K , тем лучше используется стан, меньше разница между технической возможной и практически возможной часовой производительностью. На основе данных о работе современных блюмингов и слябингов коэффициент использования стана можно принять равным 0,90—0,95.

Из формулы (IV. 1a) следует, что наиболее выгодным увеличением массы слитка является такое, при котором продолжительность пауз и число проходов остаются без изменений и увеличивается только время проходов. Последнее может возрасти не пропорционально росту массы слитка, а в меньшей мере, так как прокатку такого слитка можно осуществить при большей скорости.

Таким образом, решающим фактором для повышения производительности блюминга при заданном режиме работы является правильный выбор слитка (размеры поперечного сечения должны быть оптимальными, а высота — наибольшей).

Следует также отметить, что с увеличением массы слитка повышается выход годного проката и уменьшается угар металла при нагреве слитков, так как окисляемая поверхность у больших слитков относительно меньше.

Увеличение массы слитка выгодно и для сталеплавильного цеха, так как повышается его производительность, увеличивается выход годных слитков из металлической шихты, меньше расход огнеупоров при сифонной разливке и др.

При прокатке слитков на одноклетевом дуо-реверсивном блюминге уменьшение ритма прокатки может быть достигнуто сокращением числа проходов и автоматизацией работы стана. Одним из способов сокращения числа проходов является увеличение обжатия за каждый проход. Другим способом является увеличение конечного сечения бляма или сляба. Это вызывает стремление прокатывать блямы максимально возможного сечения с учетом прокатки их на заготовочных станах и станах, выпускающих готовый прокат.

Увеличение сечения прокатываемых блямов и слябов является весьма эффективным мероприятием роста производительности блюминга.

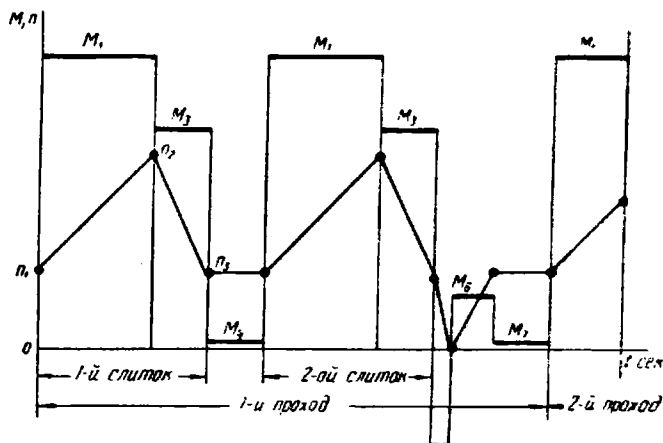


Рис. 92. Диаграмма скоростного режима и моментов при одновременной прокатке двух слитков

Почти всегда время прокатки на блюминге больше времени прокатки на непрерывном заготовочном стане, установленном за блюмингом. При рациональном использовании этих станов должно быть равенство времени прокатки на них. Для этого необходимо стремиться к уменьшению числа проходов на блюминге и увеличению числа клетей на непрерывном заготовочном стане.

В настоящее время для увеличения производительности начинает получать широкое развитие одновременная прокатка двух слитков. На рис. 92 приведена диаграмма скоростного режима прокатки для этого случая. В каждом проходе слитки задают и прокатывают последовательно. Из диаграммы видно, что время проходов при прокатке двух слитков получается в два раза больше по сравнению с временем проходов при прокатке одного слитка. Производительность стана увеличивается за счет сокращения пауз.

Большую долю в ритме прокатки на блюмингах составляют паузы между проходами, величина которых может быть сокращена установлением оптимального скоростного режима прокатки и комплексной автоматизации блюминга.

Для определения годовой производительности блюминга необходимо знать фактическое число часов работы в год. Блюминги почти всегда работают по непрерывному графику, т.е. без выходных дней. В этом случае нерабочими являются дни, предусматриваемые для проведения капитального и планово-предупредительных ремонтов, с которыми совмещаются частично и перевалки валков.

Опыт работы отечественных заводов показывает, что капитальный ремонт может быть осуществлен постепенной заменой отдельных частей

оборудования при непродолжительных остановках стана. По данным практики, продолжительность планово-предупредительных и капитального ремонта на блюмингах и слябингах составляет примерно 32 ч в месяц, или 16 дней в год. Тогда число рабочих дней на блюминге в году равно $365 - 16 = 349$.

Блюминги и слябинги работают три смены в сутки по восемь часов. Тогда номинальное число часов работы в году составит

$$349 \cdot 24 = 8376 \text{ ч.}$$

Фактическое число часов работы в году меньше номинального на величину простоев стана (простой на приемку и сдачу смен, перевалку валков, на настройку стана и простои по непредвиденным причинам).

По данным практики, величина простоев на блюмингах и слябингах составляет примерно 10% номинального времени. Тогда фактическое число часов работы этих станов в году составит

$$8376 \cdot 0,9 = 7500 \text{ ч.}$$

Для определения ритма прокатки на двухклетевых блюмингах строят график работы во времени. Ритм прокатки на этих станах представляет собой время от начала прокатки данного слитка до начала прокатки следующего слитка в одной клетке. При одинаковой загруженности клеток производительность этого блюминга должна быть в два раза больше производительности одноклетевого блюминга. Однако на практике не всегда удается одинаково загрузить обе клетки, так как в каждой клетке производится нечетное число проходов. Поэтому чаще всего одна из клеток загружена больше другой, что увеличивает ритм прокатки и снижает производительность стана. Обычно производительность двухклетевого блюминга на 70—80% больше производительности одноклетевого.

Производительность непрерывных заготовочных станов

На рис. 93 представлен график работы во времени непрерывного заготовочного стана, состоящего из двух групп по шесть клеток в каждой. Построение таких графиков, называемых графиками Адамецкого (по имени их автора), часто применяют при определении ритма прокатки многоклетевых станов.

По горизонтальной оси графиков откладывают время в секундах, а по вертикальной оси — номера клеток стана. Продолжительность прохода показана на графике жирной линией по горизонтали, соответствующей данной клетке, а паузы между проходами — свободными промежутками между двумя жирными линиями; передача полосы из одной клетки в другую показана на графике наклонными линиями.

На непрерывном заготовочном стане в каждой клетке производится только один проход, причем время прохода в каждой клетке одинаково. Ритм прокатки для этого стана

$$T = t_m + t_n,$$

где t_m — время прохода в одной клетке;

t_n — пауза между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей полосы в одной клетке.

На этих станах полоса находится одновременно во всех или нескольких клетках одной группы. Поэтому продолжительность прокатки

одной полосы в этих станах равна сумме времени одного прохода и времени пауз между клетями, т. е.

$$T_{\text{пр}} = 2t_m + \Sigma t_n.$$

Таким образом, на этих станах обеспечиваются наименьшие ритм и продолжительность прокатки полосы.

С ростом массы блюмов на этих станах увеличивается только время прохода, и поэтому увеличение массы блюмов здесь также же-

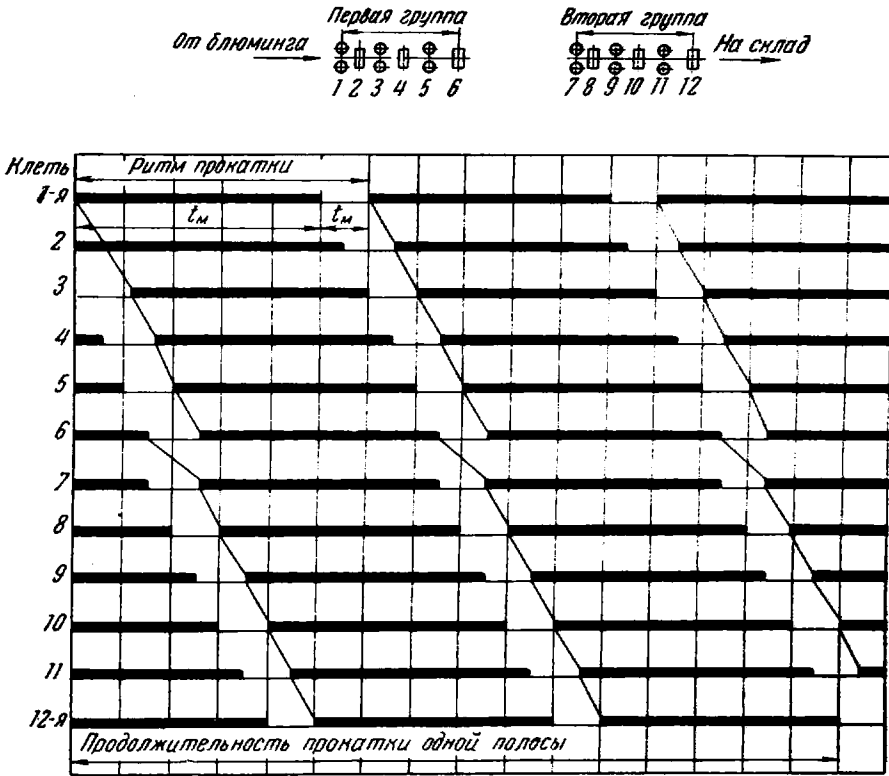


Рис. 93. График работы во времени непрерывного заготовочного стана

лательно. Главным фактором увеличения производительности непрерывных заготовочных станов является скорость прокатки.

Технически возможная часовая производительность непрерывного заготовочного стана может быть определена по формуле (IV.1a) или по формуле

$$A = 3600vG \text{ т/ч}, \quad (\text{VI.2})$$

где v — скорость прокатки в последней клетке, м/сек;

G — масса прокатываемой заготовки длиной 1 м.

По формуле (VII.2) определяют производительность стана в блюмах. Для определения производительности стана в заготовках в эту формулу необходимо ввести коэффициент расхода блюмов на 1 г годных заготовок.

Коэффициент использования стана K и величина простоев стана, а следовательно, и фактическое число часов работы непрерывных заготовочных станов в год могут быть такими же, что и для блюминга.

Расход металла, электроэнергии, топлива, воды и валков

Расход металла. K потерям металла при прокатке блюмов и слябов относят: 1) угар металла при нагреве слитков в нагревательных колодцах и при прокатке; 2) обрезь концов, включая потери при зачистке; 3) брак и недокат [VII. 2].

Потери металла и выход годного на блюмингах и слябингах обычно считают в процентах массы слитка (табл. 8). Зная выход годного, расход металла на единицу годного можно получить делением заданного (100%) на выход годного.

Таблица 8

Расход металла и выход годного при прокатке на блюмингах и слябингах

Сталь	Обрезь металла, %	Выход годного, %	Расходный коэффициент
<i>Блюмы</i>			
Кипящая низкоуглеродистая	5,0—6,5	91,0—92,5	1,08—1,10
Спокойная углеродистая	12,5—15,5	82,0—85,0	1,18—1,22
Рельсовая	15,5—17,5	80,0—82,0	1,22—1,25
Шарикоподшипниковая	19,5	78,0	1,28
Инструментальная углеродистая	17,0	80,5	1,24
Инструментальная легированная	18,5	79,0	1,265
<i>Слябы</i>			
Кипящая углеродистая	10,5—13,5	86,5—89,5	1,12—1,15
Спокойная углеродистая	17,0—20,0	77,5—80,5	1,24—1,29
Низколегированная	22,0—24,0	73,5—75,5	1,32—1,36

Примечание. Брак и недокат полупродукта обычно составляют 0,5%, а угар 2%.

Выход годного на непрерывных заготовочных станах составляет в среднем 97—98%, расход блюмов на 1 т годных заготовок составит $100 : 97 = 1,03$ т для первой группы клетей и $100 : 98 = 1,02$ т для второй группы клетей.

Расход слитков на 1 т годных заготовок можно получить умножением расходных коэффициентов на блюминге и непрерывном заготовочном стане.

Так, расход слитков на 1 т годных заготовок для первой группы клетей стана составит при прокатке кипящей стали

$$1,08 \cdot 1,03 = 1,11 \text{ т}$$

и при прокатке спокойной стали

$$1,24 \cdot 1,03 = 1,28 \text{ т.}$$

Для второй группы клетей коэффициенты соответственно составят:

$$1,08 \cdot 1,02 = 1,10 \text{ т}$$

и

$$1,24 \cdot 1,02 = 1,26 \text{ т.}$$

Расход электроэнергии на блюмингах и слябингах 1150 в зависимости от сечения блюмов и слябов составляет 43,2—54,0 Мдж/т (12—15 квт·ч/т) слитков. Расход электроэнергии на блюмингах 1000 составляет 54—72 Мдж/т (15—20 квт·ч/т) слитков.

Расход электроэнергии на каждой группе клетей непрерывных за-

готовочных станов составляет в среднем 32—36 Мдж/т (9—10 квт·ч/т) годового проката.

Расход условного топлива на блюмингах и слябингах составляет:

1) при нагреве слитков в рекуперативных нагревательных колодцах с рекуператорами для подогрева воздуха и газа 1,05 Гдж/т (250 000 ккал/т) слитков;

2) при нагреве слитков в тех же колодцах, но с рекуператорами только для подогрева воздуха 1,17 Гдж/т (280 000 ккал/т) слитков;

3) при нагреве слитков в регенеративных нагревательных колодцах 1,17 Гдж/т (280 000 ккал/т) слитков.

Расход воды на блюмингах и слябингах приведен в табл. 9, где общий расход указан без учета повторного ее использования.

Таблица 9
Расход воды, м³/ч, на блюмингах и слябингах

Станы	На охлаждение						На сбив окалины	На смыв окалины	Общий расход
	рекупера- тивных колодцев	валков	подшип- ников	воздуха	смазочных устройств	вспомог- тельных механизмов			
Блюминг 1150—1300 . . .	50— 100	200— 300	150— 200	1000— 1500	200— 300	150— 200	—	350— 500	2100— 3100
Слябинг 1150—1250 . . .	30	150	50	1500	400	1120	250	1000	4500
Блюминг 1000	20	100	200	600	200	180	—	300	1600

Если произвести пересчет расхода воды на 1 т прокатанных слитков, то получим следующие данные, м³:

Блюминги 1150	4—5
» 1000	5—6
Слябинги 1150	5,5—6,5

Расход воды на непрерывных заготовочных станах составляет в среднем 3,5—4,0 м³ на 1 т годового проката.

Расход валков. Данные о расходе валков на блюмингах, слябингах и непрерывных заготовочных станах приведены в табл. 10.

Таблица 10
Расход валков на блюмингах, слябингах и непрерывных заготовочных станах

Станы	Количество прокатан- ного металла между переточками, тыс. т	Число перето- чек одного валка	Расход валков ка/т
Блюминг 1150—1300	200	5	0,06—0,08
Слябинг 1150—1250:			
горизонтальные валки	200—250	6	} 0,07—0,09
вертикальные валки	120—150	12	
Блюминг 1000	120—140	5	0,08
Непрерывный заготовочный:			
первая группа клетей:			
горизонтальные валки	150	8	} 0,09—0,12
вертикальные валки	80	8	
вторая группа клетей:			
горизонтальные валки	85	8	
вертикальные валки	65	8	

Часть вторая

ПРОИЗВОДСТВО РЕЛЬСОВ И СОРТОВОЙ СТАЛИ

Глава VII

ПРОИЗВОДСТВО РЕЛЬСОВ, БАЛОК И ШВЕЛЛЕРОВ

1. СОРТАМЕНТ

Готовым прокатом рельсобалочных станом обычно являются рельсы и балки. На этих станом прокатывают также швеллеры, трамвайные рельсы, шпунты, угловую, круглую и квадратную сталь (рис. 94) [1, 7, 10].

Размеры рельсов характеризуются массой *1 пог. м*. Профиль рельса является несимметричным и состоит из головки, подошвы и шейки.

В последнее время стремятся к более равномерному распределению металла по сечению рельсов, что необходимо прежде всего для предотвращения поперечных изломов.

Рост грузонапряженности железных дорог, увеличение массы подвижного состава и скорости движения потребовали не только утяжеления рельсов, но и резкого улучшения их качества. Рельсы должны быть прочными, чтобы сопротивляться значительным динамическим воздействиям движущегося поезда. Они должны иметь более высокую прочность в стыках, подвергающихся наибольшему ударным нагрузкам. Рельсы должны быть износоустойчивыми и при этом не должны быть хрупкими, особенно в зимнее время при низких температурах. Все эти высокие требования, предъявляемые к качеству рельсов, в настоящее время обеспечиваются соответствующей массой *1 пог. м* и химическим составом рельсовой стали, а также применением термической обработки рельсов.

В СССР железнодорожные рельсы прокатывают главным образом из мартеновской стали. Из бессемеровской стали прокатывают лишь небольшое количество рельсов массой до *45 кг/м*. В настоящее время проводят исследовательские работы по изготовлению высокостойких железнодорожных рельсов из вакуумированной и легированной стали с применением соответствующей термической обработки.

На рельсобалочных станом прокатывают также трамвайные рельсы (рис. 94, б), отличающиеся от обычных железнодорожных рельсов желобом в головке, более тонкой шейкой и широкой подошвой.

Двутапровые балки (рис. 94, в) являются широко распространенным строительным профилем. Существующий сортамент балок нормального типа содержит балки от № 10 до 70, т. е. балки высотой от 100 до 700 мм. На рельсобалочных станом прокатывают балки высотой от 180 до 700 мм.

Балки нормального типа имеют толщину стенки больше той, которая необходима для обеспечения прочности, и сравнительно малую ширину полков.

В настоящее время прокатывают балки облегченного типа, которые имеют более тонкую стенку и меньший уклон полков по сравнению с балками нормального типа. Прокатка таких балок обеспечивает экономию металла до 15%. Тонкостенные балки применяют тогда, когда балка несет легкую нагрузку, например в межэтажных перекрытиях.

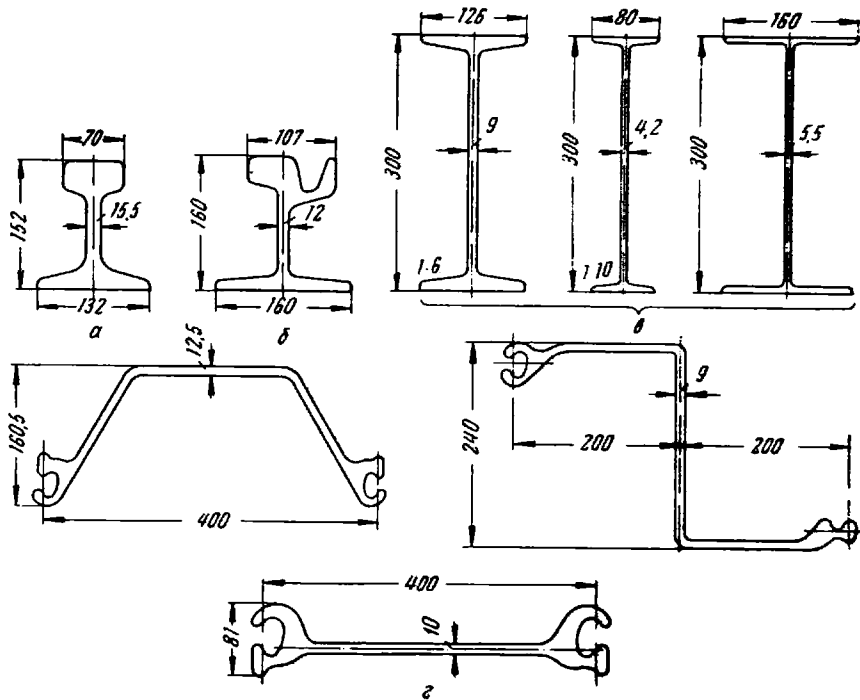


Рис. 94. Примеры профилей, прокатываемых на рельсобалочных станах:
 а — железнодорожный рельс Р-50; б — трамвайный рельс; в — балки (нормальная, тонкостенная и широкополочная); г — шпунты (свая)

По условиям местной устойчивости и работы на скалывание наименьшая толщина стенки может быть принята равной $1/70$ высоты балки. Основное преимущество тонкостенных профилей — большая экономия металла, достигающая 30%.

В последнее время все больше расширяется производство широкополочных балок с параллельными полками и с высотой до 1000 мм и более.

Применять двутавровые балки в качестве стержней колонн выгодно при одинаковой устойчивости поперечного сечения относительно обеих осей. Это достигается увеличением ширины полков. Поэтому оптимальная широкополочная двутавровая балка должна иметь ширину полков, равную высоте балки. Однако наибольшая ширина полков обычно равна 300 мм, а в некоторых случаях 420 мм.

На рельсобалочных станах прокатывают швеллеры высотой от 180 до 400 мм.

2. РЕЛЬСОБАЛОЧНЫЕ СТАНЫ

Рельсобалочные станы старых металлургических заводов обычно дуо-реверсивные с расположением клетей в одну линию. Прокатка рельсов и балок на этих станах осуществляется без промежуточного нагрева блюмов [I. 7, 10; IV. 7].

На крупных металлургических заводах установлены современные рельсобалочные станы. Они отличаются от дуо-реверсивных рельсобалочных станом по устройству и методу работы. Эти станы расположены

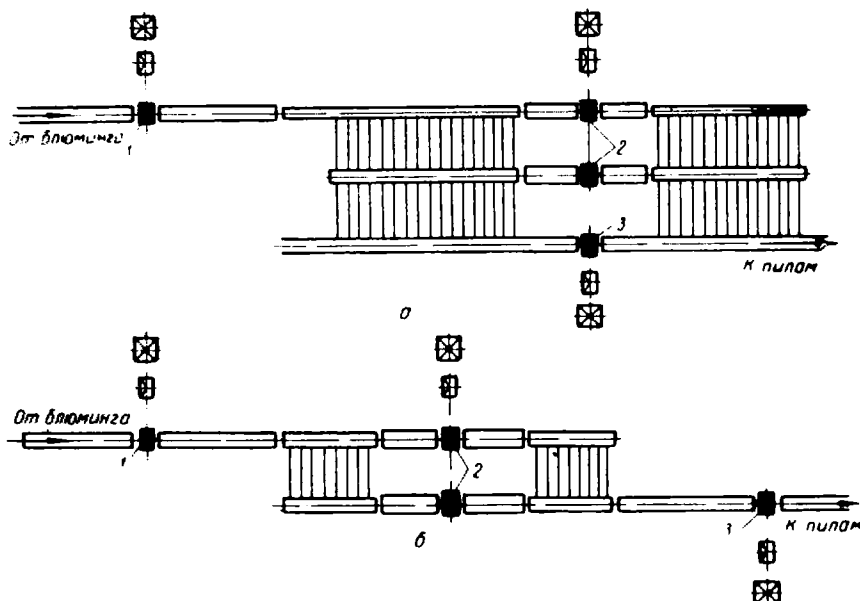


Рис. 95. Схемы расположения рабочих клетей рельсобалочного стана:
 а — в две линии; б — в три линии; 1 — черновая клеть дуо 900; 2 — черновые клетки трио 800; 3 — чистовая клеть дуо (клеть 800 на схеме а и клеть 750 на схеме б)

в две или три линии и состоят из 4—5 клетей дуо и трио. Между блюмингом и рельсобалочным станом установлены методические печи для нагрева блюмов.

На рис. 95 приведены две схемы расположения рабочих клетей современных рельсобалочных станом

Схема рельсобалочного стана, представленная на рис. 95, а, имеет наибольшее распространение. Это объясняется тем, что выделение чистовой клетки дуо в самостоятельную линию имеет недостатки: затрудняется обслуживание стага вследствие увеличения расстояния между линиями, удлиняется здание, усложняется передача раската из первой клетки трио во вторую.

На рис. 96 представлена схема современного рельсобалочного стана с расположением рабочих клетей в две линии. Для этого стана характерно расположение дуо-реверсивной черновой клетки в самостоятельной линии. Дуо-реверсивная клеть имеет валки диаметром 900—950 мм и длиной бочки 2300 мм. В качестве привода валков этой клетки применяют обычно реверсивный электродвигатель мощностью 3678 квт и числом оборотов 0—50—120 в минуту.

Вторая линия рельсобалочного стана состоит из двух черновых клетей трио и одной чистовой клетки дуо. Черновые клетки трио имеют валки диаметром 800—850 мм и длиной бочки 1800—1900 мм. Валки этих кле-

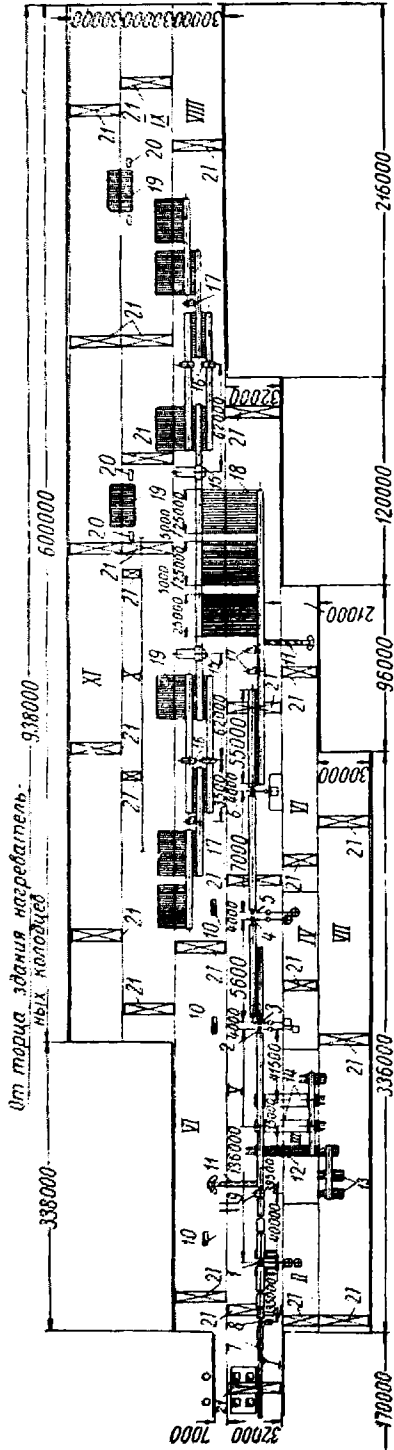


Рис. 97. Схема расположения оборудования универсального балочного стана для прокатки широкополочных балок: I — пролет нагревательных колодцев; II — первый машинный зал; III — печной пролет; IV — второй машинный зал; V — пролет стана; VI — скрапный пролет; VII — склад блюмов и слэбов; VIII — пролет отделки; IX — пролет уборки; X — пролет ремонта; XI — склад готовой продукции; 1 — обжимная клетка блюминга 1475; 2 — черновая клетка дуо; 3 — черновая универсальная клетка; 4 — промежуточная универсальная клетка; 5 — промежуточная клетка дуо; 6 — чистовая универсальная клетка; 7 — тележка-опрокидыватель; 8 — поворотный стол; 9 — ножницы; 10 — ямы для уборки окатышей; 11 — транспортер обрезков; 12 — передаточные шпелтеры; 13 — стеллажи; 14 — методические печи; 15 — правильные машины; 16 — правильные прессы; 17 — салазковые пилы; 18 — холодильники; 19 — стеллажи; 20 — фрезерные станки; 21 — кран

Исходным материалом для прокатки балок на этом стане являются слитки массой до 20 т и более прямоугольного и фасонного (двутаврового) сечения. Последние применяют для прокатки балок высотой более 600 мм. Слитки прокатывают в черновой профиль балки на дуо-реверсивном блюминге с валками диаметром 1475 мм и длиной бочки 3100 мм. Вращение валков осуществляется от двух электродвигателей каждый мощностью 3678 кВт и числом оборотов 0—40—80 в минуту.

При прокатке балок высотой 600 мм и более блюмы, поступающие с блюминга, после обрезки концов на ножницах прокатывают на универсальном балочном стане в балки без дополнительного нагрева. Балки высотой менее 600 мм прокатывают из блюмов после дополнительного нагрева до 1180—1250 °С в методических печах.

Универсальный балочный стан состоит из черновой, промежуточной и чистовой линий. Черновая линия стана состоит из вспомогательной клетки дуо и главной универсальной клетки (рис. 98). Клетка дуо имеет валки диаметром 800 мм. Валки вращаются от электродвигателя мощностью 1471 кВт и числом оборотов 0—75—225 в минуту. В этой клетке обрабатываются только кромки полок.

Главная универсальная клетка имеет горизонтальные валки диамет-

ром 1350 мм и вертикальные диаметром 1100 мм. Валки вращаются от электродвигателя мощностью 5148 кВт и числом оборотов 0—50—120 в минуту. Горизонтальные валки обрабатывают шейку и внутренние поверхности полок, а вертикальные — наружные поверхности полок.

Промежуточная линия стана отличается от черновой тем, что вспомогательная клеть установлена после главной для обработки кромок полок перед последним чистовым проходом в чистовой универсальной клетке. Клетки дуо и универсальная имеют такую же характеристику, что и клетки черновой линии. Чистовая универсальная клетка имеет валки такого же размера, что и другие универсальные клетки. Валки этой универсальной клетки вращаются от электродвигателя мощностью 2200 кВт.

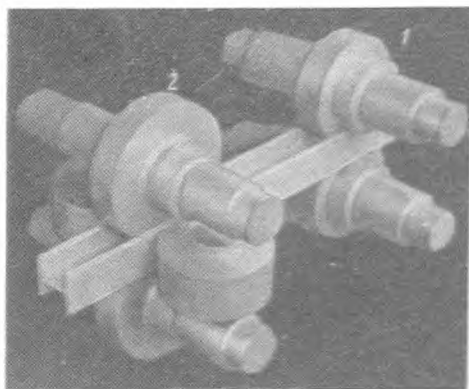
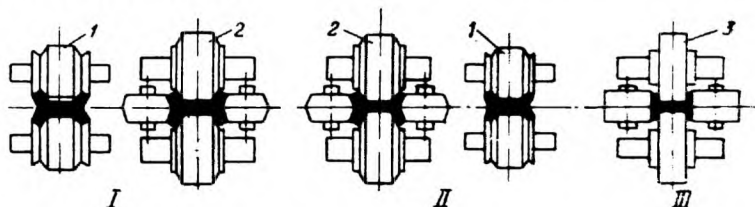


Рис. 98. Схема прокатки балок на универсальном балочном стане:

I — черновая линия; II — промежуточная линия; III — чистовая линия; 1 — вспомогательная клеть; 2 — главная клеть; 3 — чистовая клетка

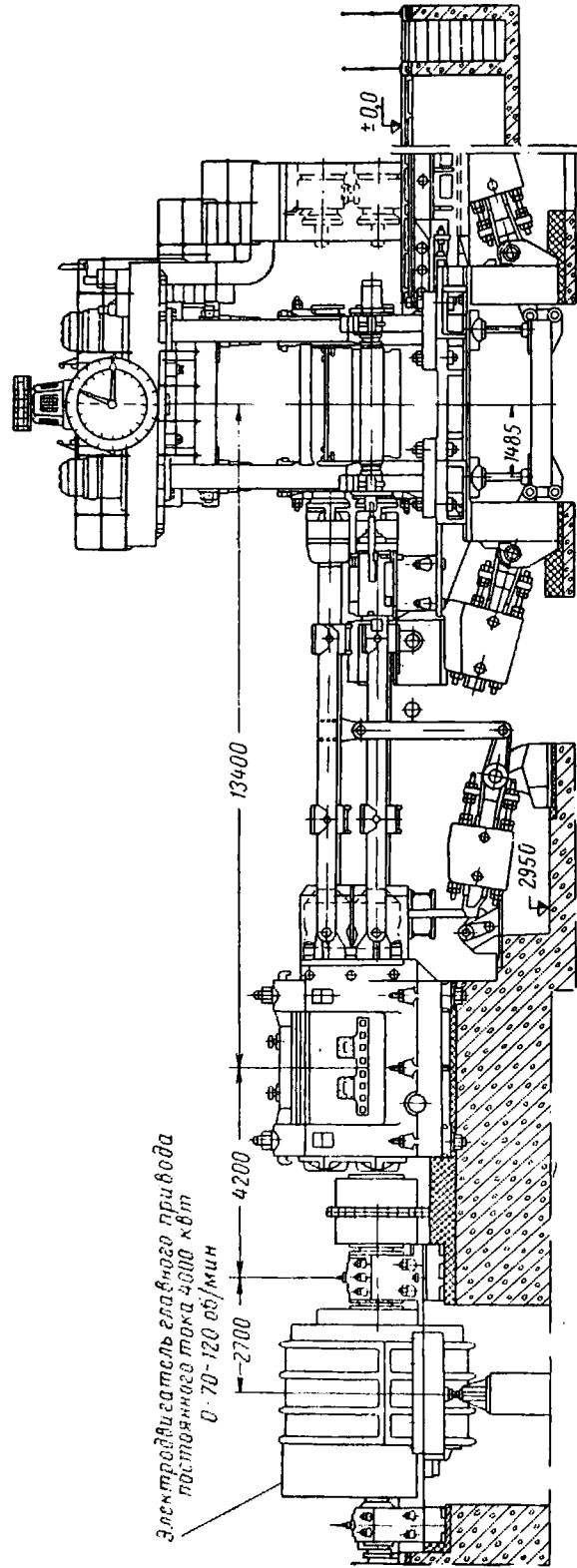


На рис. 99 показана рабочая линия черновой дуо-реверсивной клетки 950 рельсобалочного стана, которая состоит из рабочей клетки, универсальных шпинделей, шестеренной клетки, зубчатой муфты и электродвигателя постоянного тока мощностью 4000 кВт и числом оборотов 0—70—120 в минуту.

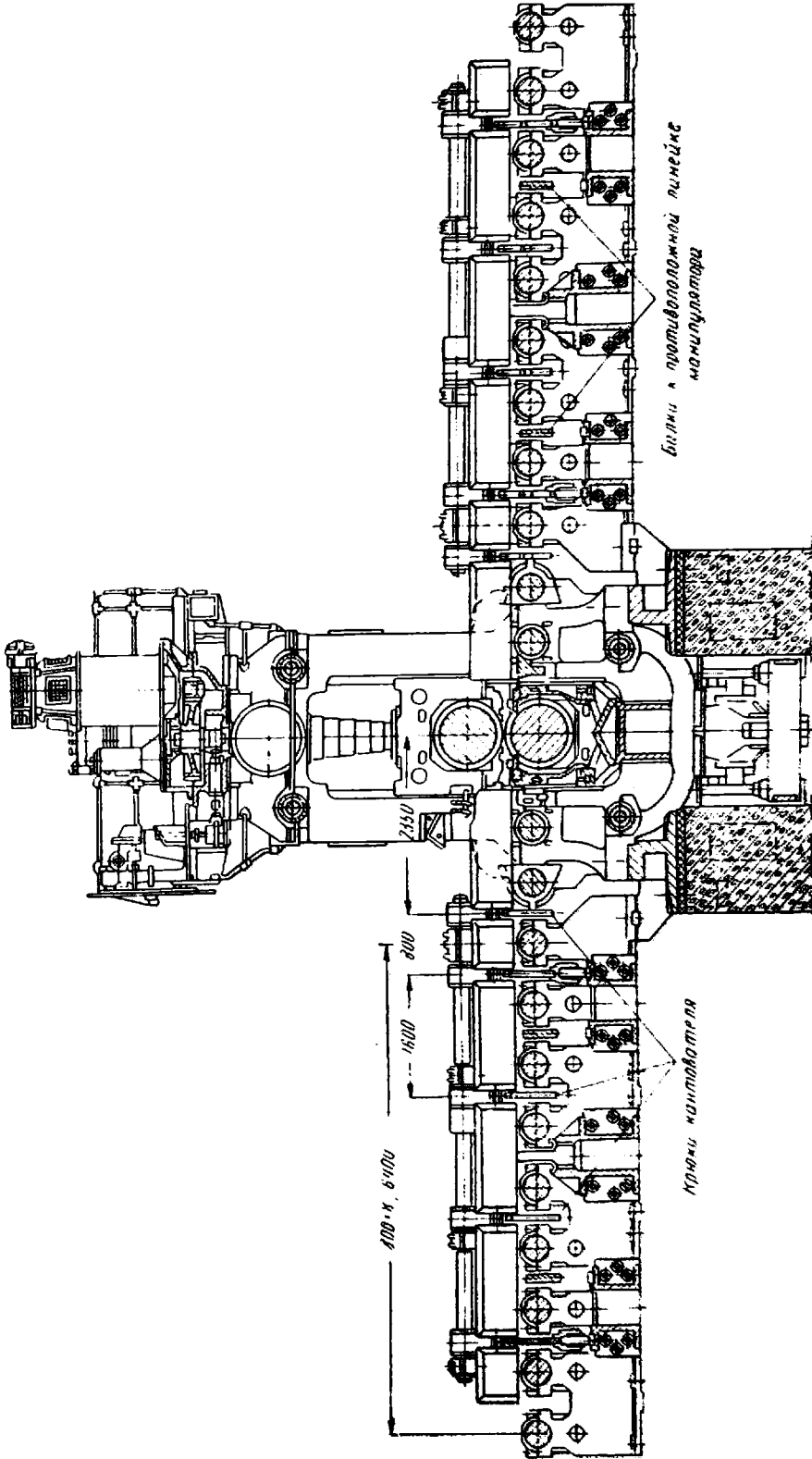
Рабочая клетка имеет валки диаметром 950 мм и длиной бочки 2300 мм. Устройство рабочей клетки (рис. 100) в основном аналогично устройству рабочей клетки блюминга 1150 и отличается от нее только размерами и некоторыми конструктивными особенностями. В частности, ширину окна станины принимают из условия возможности установки валков с большим диаметром буртов, применяемых при прокатке балок в закрытых балочных калибрах. При номинальном диаметре валков 950 мм максимальный диаметр по буртам может достигать 1350 мм.

Подшипники валков — текстолитовые, цельнопрессованные. Наибольший подъем верхнего валка 700 мм. Уравновешивание верхнего валка грузовое, по конструкции аналогичное уравновешиванию блюминга. Нажимное устройство имеет привод от одного (на блюминге от двух) вертикального двигателя постоянного тока мощностью 180—210 кВт.

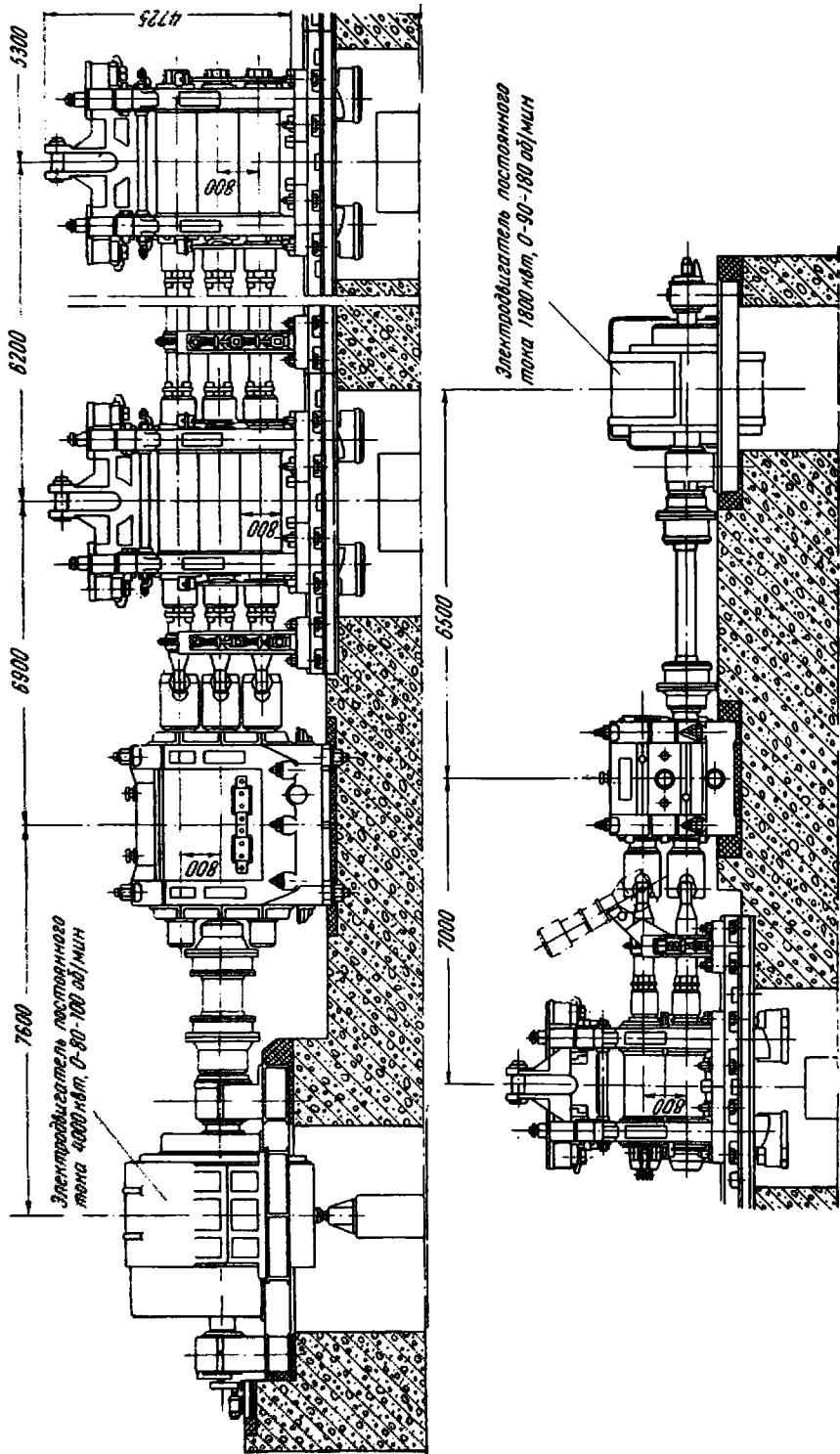
Клетка установлена на плитовинах, закрепленных на фундаменте болтами. По бокам рабочей клетки имеются по два станинных ролика с индивидуальным приводом каждого от электродвигателя постоянного



Р и с. 99. Рабочая линия черновой дуо-реверсивной клетки 950 рельсобалочного стана

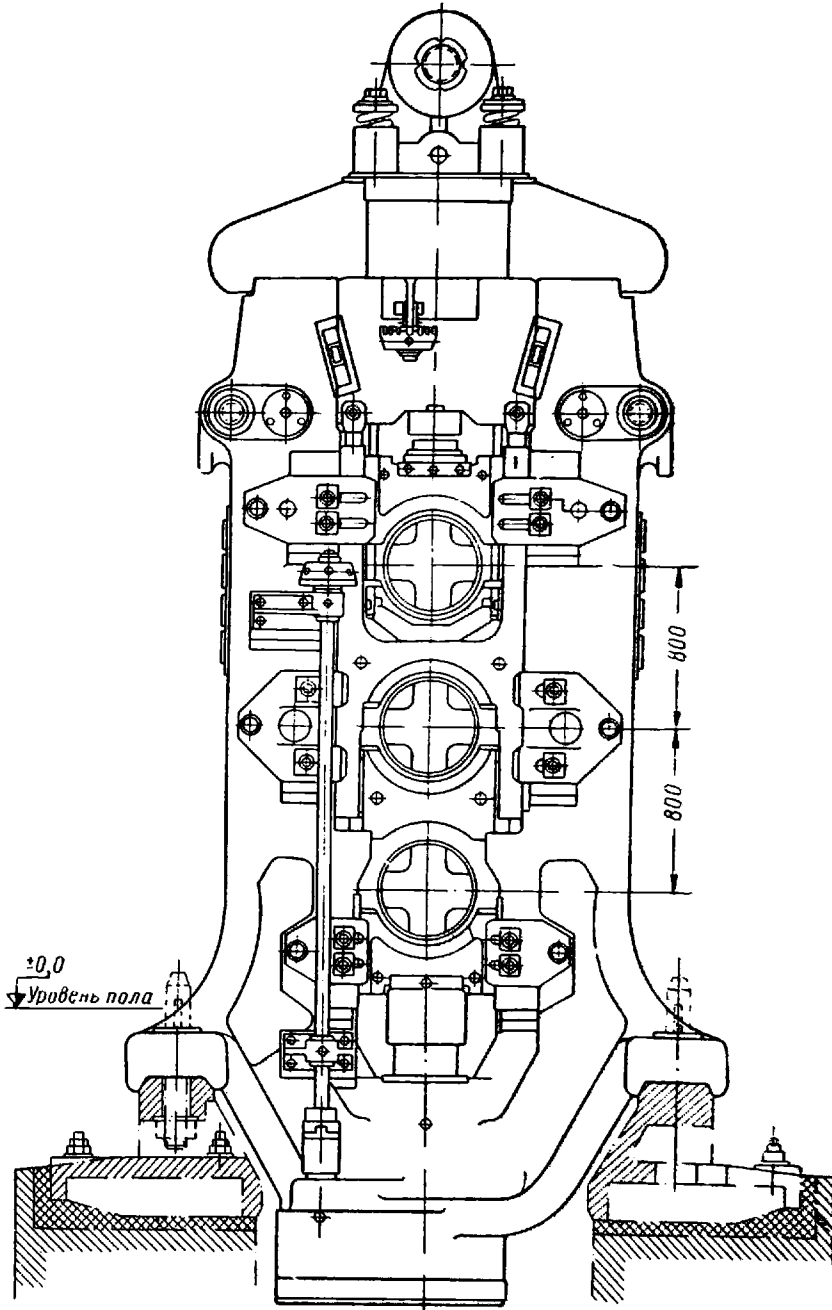


Р и с. 100. Дуго-реверсивная рабочая клеть 850 рельсобалочного стана



Р и с. 101. Рабочая линия черновых клетей грно и чистовой клетки дуо-рельсоболачного стана 800

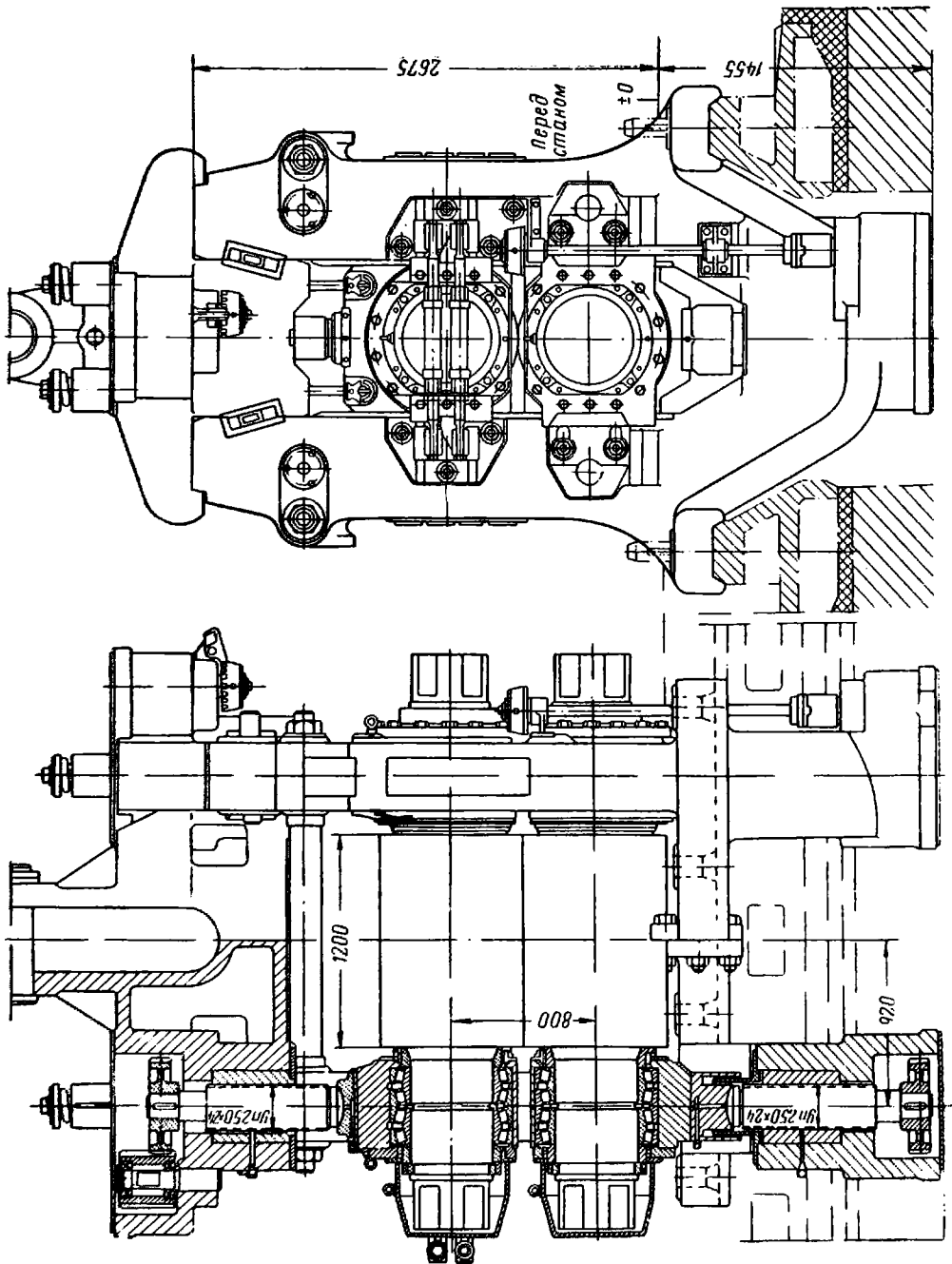
тока мощностью 24 квт и числом оборотов 210 в минуту через зубчатую муфту и универсальный шпиндель. Смена валков осуществляется комплектно при помощи специального устройства.

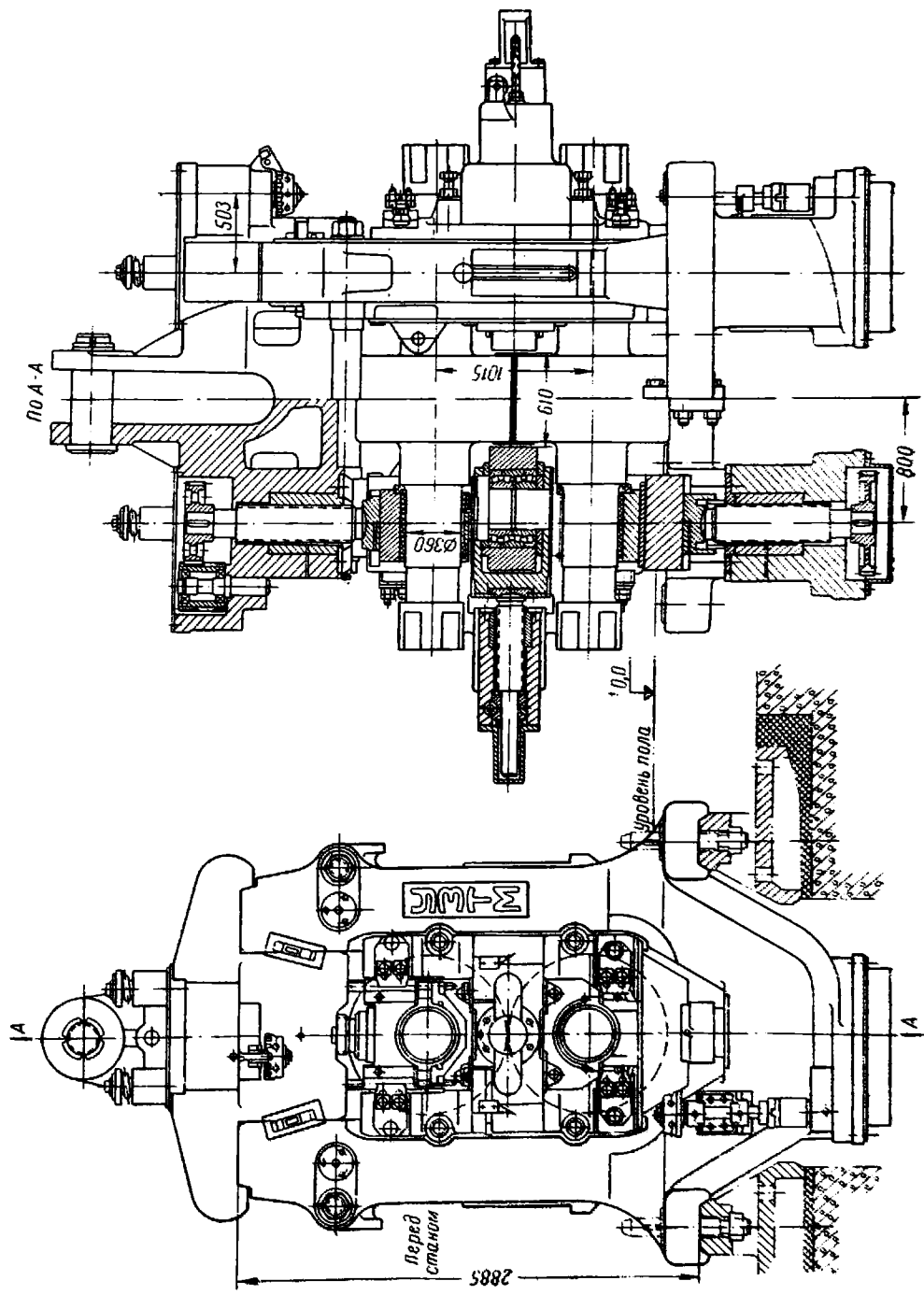


Р и с. 102. Черновая рабочая клеть трио 800

На рис. 101 показана рабочая линия черновых клетей трио и чистовой клетки дуо рельсобалочного стана 800, состоящая из трех рабочих клетей (две трио и одна дуо), двух шестеренных клетей (трио и дуо) и двух электродвигателей.

Рис. 103. Чистовая рабочая клеть дуо 800





Черновые рабочие клетки трио (рис. 102) имеют валки диаметром 800 мм и длиной бочки 1900 мм. Валки установлены в подушках на текстолитовых цельнопрессованных вкладышах, охлаждаются и смазываются водой с периодической подачей смазки. Станины клетки открытого типа: станины и крышки соединяются при помощи боковых клиньев. Клеть имеет верхнее и нижнее нажимные устройства с ручным приводом. Настройка валков осуществляется только при холостом ходе станины. Нижние и верхние подушки опираются на нажимные винты; нижняя половина средней подушки опирается на выступы в окне станины, а верхняя половина имеет U-образную форму и верхними приливами через клиновые устройства опирается на крышку станины. Осевую регулировку валков осуществляют при помощи боковых планок. Уравновешивание верхнего валка осуществляется пружинами.

В станинах с внутренней стороны имеются пазы, в которые устанавливают стальные брусья с проводковой арматурой. Клеть оборудована трубопроводами и водяными форсунками для охлаждения валков и смачивания пыли при прокатке.

Чистовая рабочая клеть дуо (рис. 103) имеет валки диаметром 800 мм и длиной бочки 1200 мм. Для получения более точного профиля прокатываемой полосы и во избежание износа вкладышей подшипников, что наблюдается в клетях трио, валки в этой клетке установлены на четырехрядных роликовых подшипниках. Так же, как и клетки трио, клеть дуо имеет стальные станины открытого типа с верхним и нижним ручными нажимными устройствами.

Роликовые подшипники валков тщательно предохраняют со стороны бочки от попадания в них воды и окалины; смазка подшипников густая, осуществляется под давлением от центральной станции. Уравновешивание верхнего валка производится пружинами, расположенными на крышке.

Для возможности прокатки балок высотой до 600 мм с широкими (до 250 мм) параллельными полками современные рельсобалочные станы имеют сменную универсальную клеть (рис. 104). Эту клеть устанавливают на место чистовой клетки дуо для получения за один проход балки с параллельными полками. Кроме обычных горизонтальных приводных валков, в клетке имеются также и вертикальные холостые валки, расположенные в одной плоскости с горизонтальными.

Горизонтальные валки имеют диаметр 1000 мм и длину бочки 600 мм; они установлены на цельнопрессованных текстолитовых подшипниках. Шейки валков имеют небольшой диаметр (360 мм), что позволяет между подушками горизонтальных валков расположить подушки вертикальных холостых валков. Вертикальные валки (ролики) имеют диаметр 800 мм и длину бочки 300 мм; валки свободно вращаются на четырехрядных конических роликовых подшипниках.

Горизонтальные валки имеют нижнее и верхнее нажимные устройства, по конструкции аналогичные устройствам обычной клетки дуо 800.

Подушки верхнего горизонтального валка имеют пружинное уравновешивание. Осевое регулирование подушек горизонтальных валков осуществляется боковыми планками.

Подушка вертикального холостого валка установлена в направляющих во внутреннем четырехугольном окне в середине нижней подушки. На вертикальной оси диаметром 260 мм, установленной в подушке, на роликовых подшипниках смонтирован вертикальный холостой валок (ролик). Подушка имеет нажимное устройство с ручным приводом. Уравновешивание этой подушки осуществляется при помощи двух пружин.

Валки клеток трио соединяют между собой тrefовыми шпинделями

и муфтами. Валки первой клетки трио с шестеренными валками соединяют тремя шпинделями; концы их со стороны шестеренной клетки шарнирные, а со стороны рабочей клетки трефовые. Все шпиндели имеют пружинное уравнивание. Смена валков в клетке трио осуществляется при помощи подъема всей клетки краном за проушину в верхней крышке, при этом клетка освобождается от трефовых муфт.

Привод чистой клетки рельсобалочного стана осуществляется от отдельного электродвигателя постоянного тока через зубчатую муфту, шестеренную клетку и шпиндели.

В рабочих клетках дуо и трио конструкции УЗТМ применено оригинальное весьма жесткое соединение открытой станины с ее крышкой при

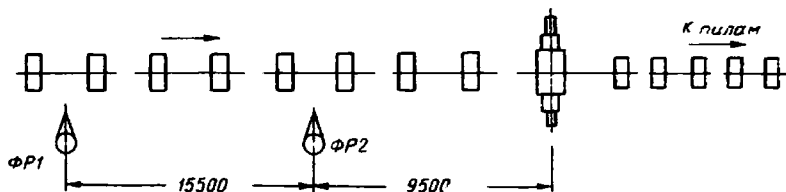


Рис. 105. Автоматизация чистой клетки рельсобалочного стана

помощи боковых распорных клиньев; от горизонтального изгиба стойки станин предохраняют посадочным замком крышки.

Черновые дуо-реверсивные клетки рельсобалочных станков с передней и задней сторон оборудуют манипуляторами с кантователями. Конструкция этих манипуляторов с кантователями во многом аналогична конструкции, применяемой для блюминга 1150. В отличие от блюминга 1150 кантователи имеются с обеих сторон клетки. Привод двух линеек осуществляется непосредственно от одного электродвигателя постоянного тока мощностью 150 кВт и числом оборотов 25 в минуту. Отсутствие редуктора в приводе линеек и применение тихоходного двигателя специального типа уменьшают маховой момент, снижают время разгона и торможения двигателя при его реверсивной работе.

Работа чистой клетки рельсобалочного стана должна быть согласована с работой установленных за ней дисковых пил. Выход из клетки прокатанной полосы до момента окончания резки пилами предыдущей полосы нарушает нормальную работу пил и вызывает простой стана.

При автоматическом управлении чистой рабочей клетью пуска рольганга перед клетью может быть произведен только подачей команды оператором с пульта управления пилами: наличие полосы на рольганге контролируется фотореле $\Phi P1$ (рис. 105). После включения рольганга и задачи полосы в валки отключение рольганга производится автоматически при прекращении засвечивания $\Phi P1$. Главный электродвигатель чистой клетки имеет автоматическое управление и вращается непрерывно на пониженной скорости. При захвате металла валками срабатывает реле статического тока, которое дает команду на ускорение двигателя. После выхода заднего конца полосы из поля действия $\Phi P2$ последнее дает импульс на торможение главного двигателя.

Автоматизация участка чистой клетки позволила повысить производительность стана примерно на 20%.

На левых (по направлению движения полосы к клетям трио) линиях манипуляторов спереди и сзади клетки установлены два кантователя с дифференциальным (планетарным) приводом каждого от

электродвигателя переменного тока через двухступенчатый цилиндрический редуктор и кривошипно-шатунную передачу.

На станах трио устанавливают подъемно-качающиеся столы с обеих сторон рабочей клетки.

Для автоматизации работы столов с передней и задней сторон рабочей клетки устанавливают фотореле $\Phi P1$ и $\Phi P2$ (рис. 106).

При прокатке металла в нижней паре валков столы находятся в горизонтальном положении. После выхода металла из валков засвечи-

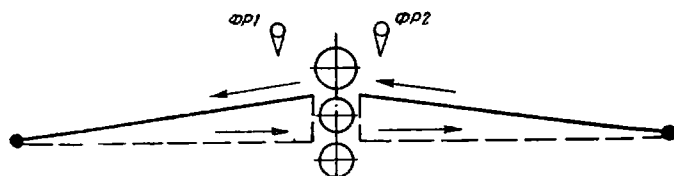


Рис. 106. Автоматизация подъемно-качающихся столов рельсобалочного стана

вание $\Phi P1$ прекращается и дается импульс двигателю на подъем столов; остановка двигателя производится конечным выключателем, соединенным с кривошипной передачей подъема столов.

При прокатке металла в верхней паре валков столы находятся в верхнем наклонном положении. После выхода металла из валков прекращается засвечивание $\Phi P2$ и дается импульс на опускание столов.

Управление приводом вращения роликов рольганга, находящихся на столах, производится оператором с пульта управления.

3. ЗАГОТОВКИ И НАГРЕВ ИХ ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ

Применяют два метода работы рельсобалочных станов. Особенностью первого метода работы, обычно применяемого на станах старого типа, является отсутствие промежуточного нагрева полупродукта. В этом случае слиток, нагретый в нагревательных колодцах, прокатывают на блюминге в блюмы, которые после обрезки переднего и заднего концов поступают для прокатки на рельсобалочный стан [I. 7; II. 11, 12; III. 3].

Особенностью второго метода работы является нагрев блюмов в печах, установленных между блюмингом и рельсобалочным станом. Вначале этот метод работы применяли только при прокатке рельсов, а в настоящее время — при прокатке всех профилей на современных рельсобалочных станах.

Нагрев блюмов обеспечивает независимую друг от друга работу блюминга и рельсобалочного стана. При остановке рельсобалочного стана блюмы, прокатанные на блюминге, отправляют на склад, а при остановке блюминга рельсобалочный стан использует для прокатки блюмы, имеющиеся на складе.

Нагрев блюмов способствует выгоранию поверхностных мелких дефектов, позволяет получать требуемую температуру конца прокатки, что улучшает механические свойства рельсов, балок и других профилей и увеличивает выход годного. Кроме того, нагрев блюмов снижает расход энергии и износ валков. К недостаткам нагрева блюмов относят дополнительный расход топлива и угар металла, дополнительные затраты на сооружение нагревательных печей и их механическое оборудование. Кроме того, ограниченные размеры нагревательных печей сокращают

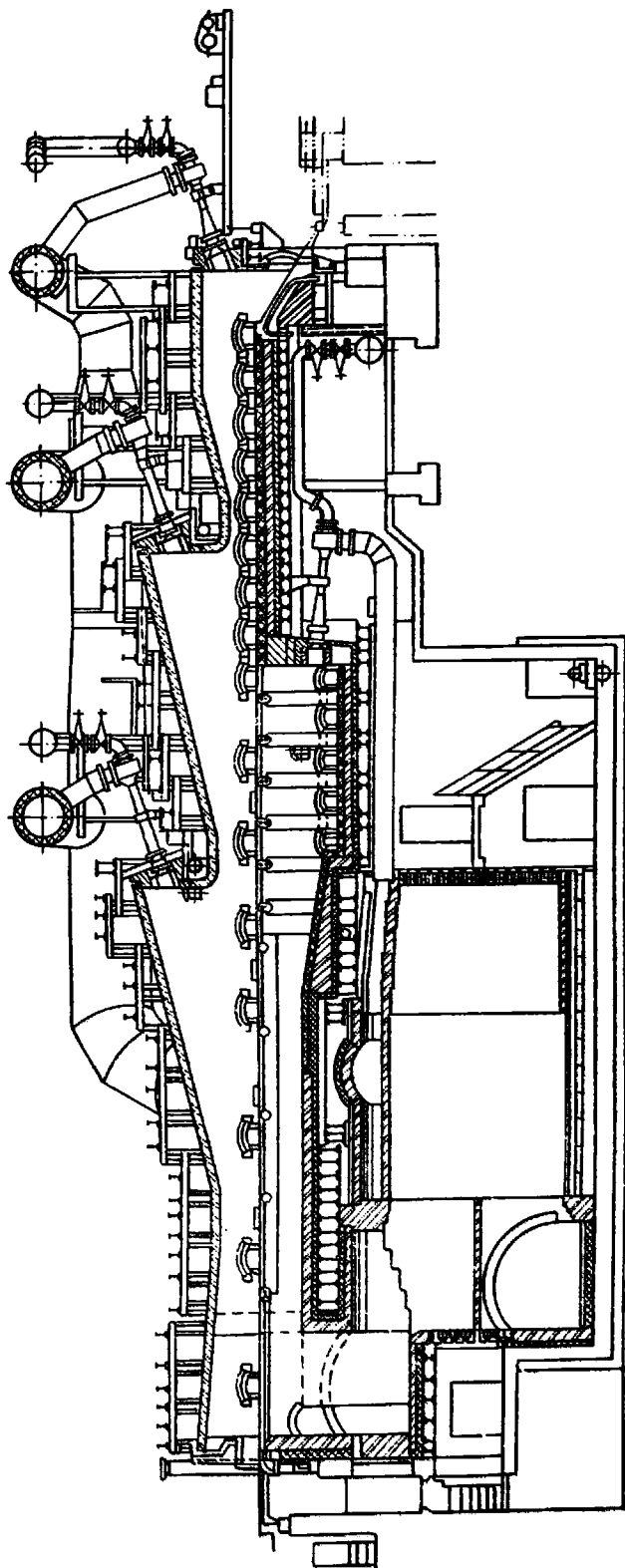


Рис. 107 Металлическая трехзонная регенеративная печь с торцовой посадкой и шлаковой блюмом

длину прокатываемых полос, что в свою очередь увеличивает потери металла в виде обрезки и снижает производительность.

До последнего времени отечественные заводы выпускали рельсы длиной 12,5 м. В этом случае прокатанные полосы разрезали на 4—5 рельсов. В настоящее время заводы перешли на выпуск рельсов длиной 25 м, прокатывая в этом случае полосы такой длины, чтобы можно было получить два рельса.

Масса блюмов при прокатке рельсов обычно находится в пределах 2,0—3,4 т, а длина блюмов — в пределах 4,5—6,0 м. Блюмы прокатывают из слитков рельсовой стали массой 6—9 т.

Балки высотой до 300 мм прокатывают из блюмов квадратного или близкого к нему сечения от 250×250 до 350×350 мм, а балки высотой более 300 мм — из блюмов фасонного сечения, близкого к черновому профилю балки. В последнем случае на валках блюминга имеется специальный калибр, в котором осуществляется несколько проходов для получения черного профиля балки. Длину блюмов принимают в тех же пределах, что и для рельсовых блюмов, а это ведет к весьма различным длинам прокатываемых полос (вследствие различия массы 1 м балок и швеллеров).

Блюмы, прокатанные на блюминге, после обрезки концов и резки на части передают по рольгангу к нагревательным печам рельсобалочного стана (камерным или методическим). В последнее время на рельсобалочных станах применяют методические трехзонные рекуперативные печи с подогревом воздуха (рис. 107).

В качестве топлива применяют обычно смесь доменного и коксовального газов с теплотой сгорания $7,54—8,37$ Мдж/м³ (1800—2000 ккал/м³). Производительность одной печи при горячем входе блюмов достигает 80—90 т/ч. Температура нагрева блюмов в этих печах примерно 1200 °С.

4. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

Калибровка валков для прокатки балок

Балки, швеллеры, рельсы относят к фланцевым профилям. Особенность этих профилей состоит в том, что их форма в значительной мере отличается от формы исходного материала (блюма или заготовки) обычно квадратного или прямоугольного сечения. Следовательно, прокатка таких профилей с равномерным обжатием невозможна.

Общим для фланцевых профилей является наличие полок (фланцев), получение которых при прокатке представляет большие трудности. Прокатка фланцевых профилей осуществляется, как правило, в закрытых фланцевых калибрах, типовым из которых является балочный калибр. Он состоит из шейки, открытых и закрытых фланцев (рис. 108) [I. 1; IV. 7, 8, 11].

Открытые фланцы калибра образуются двумя валками: одним валком внутренние стенки, а другим наружные боковые стенки. Закрытые фланцы калибра врезаны в одном валке.

Прокатка в таком калибре возможна только при наклоне внутренних и наружных боковых стенок. Если провести сечение ручья горизонтальной плоскостью (рис. 109), то в сечении получается щель, раскрывающаяся со стороны входа в валки и со стороны выхода из них. Кривые, образующие эту щель, являются гиперболами. Благодаря такой форме фланцевого ручья можно осуществлять утонение (обжатие) фланца с толщины t_1 до толщины t_2 . При отсутствии наклона стенок

невозможно было бы обжать фланцы и, следовательно, осуществить прокатку профиля.

В закрытом балочном калибре (рис. 110) шейка профиля прокатывается между двумя цилиндрическими поверхностями радиусом $R_{ш}$.

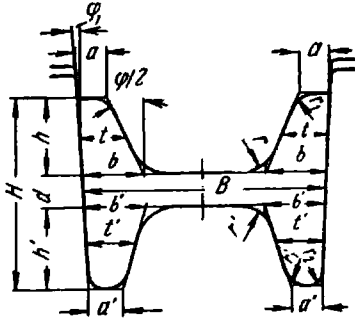


Рис. 108. Конструкция закрытого балочного калибра

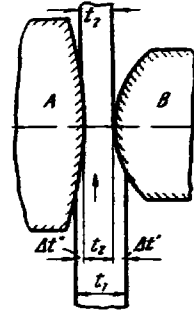


Рис. 109. Форма фланцевого ручья:
А — боковая стенка калибра; В — боковая грань гребня

Тогда скорость валков по шейке профиля

$$v_{ш} = \frac{\pi n}{60} D_{ш}.$$

Скорость валков в закрытом фланце постепенно уменьшается по мере приближения ко дну ручья. По линии b' скорость валков

$$v_{b'} = v_{ш} = \frac{\pi n}{60} D_{ш},$$

а по линии a'

$$v_{a'} = \frac{\pi n}{60} (D_{ш} - 2h').$$

Средняя скорость валков в закрытом фланце

$$v_3 = \frac{\pi n}{60} (D_{ш} - h').$$

Верхний открытый фланец обрабатывается двумя валками. Край этого фланца обрабатывается в открытом ручье, ограниченном с одной стороны поверхностью валка с минимальным радиусом, а с другой — поверхностью валка с максимальным радиусом.

Скорость валков в открытом фланце по линии b со стороны верхнего валка

$$v = v_{ш} = \frac{\pi n}{60} D_{ш}.$$

а со стороны нижнего валка

$$v = \frac{\pi n}{60} (D_{ш} + 2d).$$

Средняя скорость валков в открытом фланце

$$v_0 = \frac{\pi n}{60} (D_{ш} + d).$$

По мере углубления в ручей со стороны внутренней грани окружная скорость уменьшается, а со стороны внешней грани увеличивается.

Таким образом, скорость валков в открытом фланце в любом горизонтальном сечении является величиной постоянной.

В. Е. Грум-Гржимайло впервые исследовал скоростной режим в балочном калибре (рис. 111).

Из изложенного выше следует, что скорость валков в открытом фланце больше скорости валков по шейке, а последняя в свою очередь

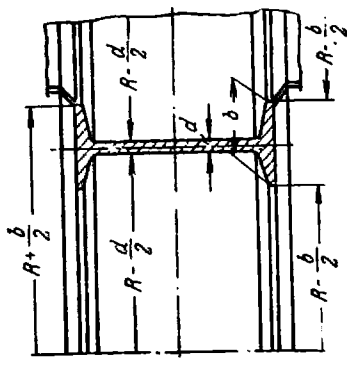


Рис. 110. Положение закрытого балочного калибра в валках

больше скорости валков в закрытом фланце. С какой же скоростью выходит балка из валков? Несмотря на имеющуюся разницу в скоростях различных частей калибра, прокатываемая полоса выходит из вал-

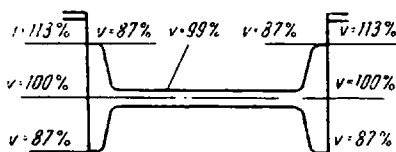


Рис. 111. Скоростной режим в балочном калибре

ков с некоторой средней скоростью. В. Е. Грум-Гржимайло полагал, что балка выходит со скоростью, равной скорости валков по шейке профиля. При этом нижние фланцы, двигаясь со скоростью шейки, проволочиваются через калибр, как через волоочильное очко, с некоторой относительной скоростью. Верхние открытые фланцы обрабатываются двумя поверхностями, движущимися с разными скоростями, причем средняя скорость их больше скорости шейки.

Поскольку в закрытых фланцах калибра металл протягивается, эти фланцы балки обжимают по толщине незначительно, а в чистовых и предчистовых проходах их совершенно не обжимают. Применение бокового обжатия приводит к быстрому износу калибра и к значительной утяжке фланца по высоте.

Чтобы обеспечить хотя бы небольшую вытяжку фланцев балки, поступающих в закрытые фланцы калибра, и компенсировать при этом их утяжку, предусматривают высотное обжатие фланцев.

Боковое обжатие (утонение) фланцев балки осуществляется в открытых фланцах калибра, составленных из двух поверхностей, движущихся с различными скоростями. Действие разности скоростей этих поверхностей равнозначно обжатию металла между движущимися навстречу друг другу поверхностями, которое приводит к уменьшению толщины фланцев и небольшому увеличению их высоты.

Изложенное выше подтверждает большое значение изучения скоростных условий прокатки фланцевых профилей (в частности, балочных).

Проведенное П. И. Полухиним исследование подтвердило предположение В. Е. Грум-Гржимайло, что прокатываемая полоса выходит из балочного калибра со скоростью, равной скорости шейки. Однако это справедливо только для закрытых балочных калибров с широкой шейкой.

Очевидно, что чем шире шейка калибра (чем больше размеры балки), тем меньшая погрешность будет допущена, если принять скорость выхода балки из калибра равной скорости по шейке.

В разрезанных и черновых калибрах, в которых шейка недостаточно развита, нельзя скорость выхода балки из калибра приравнять скорости на шейке. Эта методика неприменима также для определения скорости полосы в открытых балочных калибрах и в несимметричных швеллерных калибрах. В этих и подобных калибрах следует находить среднюю скорость полосы исходя из средних значений опережения и скорости валков в калибре.

Рассмотрим силы, действующие в закрытых и открытых фланцах балочного калибра при следующих допущениях: 1) открытые и закрытые фланцы имеют одинаковую форму и размеры; 2) боковые обжатия фланцев равны; 3) высотное обжатие в закрытых фланцах отсутствует; 4) продольное напряжение во фланцах балки отсутствует.

Для определения направления сил трения, возникающих от давления металла на валки, рассмотрим схему действия полосы на валки (рис. 112, а). Силы трения со стороны боковой стенки калибра и со стороны внутренних граней имеют различное направление.

Схема действия валков на полосу приведена на рис. 112, б. Из этой схемы следует, что фланец балки при проникновении в глубь закрытого фланца калибра встречает противонаправленные силы $T'_1 + R'_1$ со стороны стенки гребня и T со стороны стенки калибра. Действие этих сил выражается в торможении фланца и в некотором уменьшении его высоты.

Силы, действующие в закрытом фланце:

$$T = Rf$$

и

$$T_{z_1} + R_{z_1} = T_1 \cos \frac{\varphi}{2} + R \sin \frac{\varphi}{2} = R_1 \left(f \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right),$$

где f — коэффициент трения.

При проникновении в глубь открытого ручья фланец встречает противонаправленную силу $T_{z_1} + R_{z_1}$ со стороны наклонной стенки гребня и сонаправленную силу T со стороны боковой стенки калибра. Первая из них оказывает тормозящее действие на фланец, а вторая — втягивающее, поскольку валок, образующий боковую стенку открытого ручья, опережает полосу. Благодаря втягивающей силе обжатие фланца в открытом ручье обычно происходит без уменьшения его высоты.

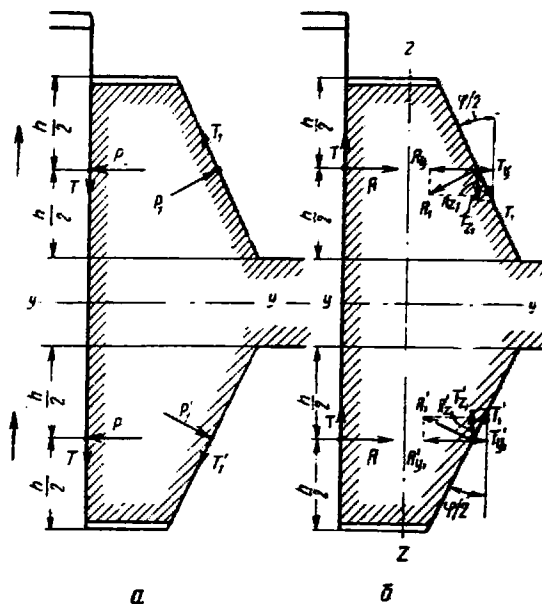


Рис. 112. Схема действия полосы на валки (а) и валков на полосу (б) во фланцевых калибрах

В открытом ручье действует тормозящая сила

$$T_{z_1} + R_{z_1} = R_1 \left(f \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right)$$

и втягивающая

$$T = Rf.$$

Суммируем отдельно силы, действующие на фланец балки в открытом и закрытом фланцах калибра. При этом сумму соответствующих сил, действующих на фланец балки в закрытом фланце калибра, назовем сопротивлением закрытого фланца калибра, а сумму сил, действующих на фланец балки в открытом фланце калибра, — сопротивлением открытого фланца калибра.

Исходя из условий равновесия сил относительно оси $y - y$ находим:

$$R - R_{y_1} + T_{y_1} = 0,$$

где

$$R_{y_1} = R_2 \cos \frac{\varphi}{2},$$

$$T_{y_1} = T_1 \sin \frac{\varphi}{2} = R_1 f \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Тогда

$$R - R_1 \cos \frac{\varphi}{2} + R_1 f \sin \frac{\varphi}{2} = 0.$$

Отсюда

$$R_1 = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2} - f \sin \frac{\varphi}{2}}.$$

Определим сопротивление в закрытом фланце калибра:

$$C_3 = R_{z_1} + T_{z_1} + T,$$

где

$$R_{z_1} = R \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{R \sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2} - f \sin \frac{\varphi}{2}},$$

$$T_{z_1} = T_1 \cos \frac{\varphi}{2} = R_1 f \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{Rf \cos \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2} - f \sin \frac{\varphi}{2}}.$$

При подстановке этих значений в уравнение для C_3 и после преобразования получаем

$$C_3 = R \left(\frac{1 + 2f \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} - f^2}{\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} - f} \right).$$

Сопротивление в открытом фланце калибра

$$C_0 = R_{z_1} + T_{z_1} - T.$$

После преобразования этого уравнения получаем

$$C_3 = R \left(\frac{1 + f^2}{\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} - f} \right).$$

Из сопоставления выражений для C_3 и C_0 видно, что сопротивление в закрытом фланце калибра больше, чем в открытом. Отношение между этими величинами

$$\frac{C_3}{C_0} = \frac{1 + 2f \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} - f^2}{1 + f^2}.$$

Из этого выражения следует, что соотношение между сопротивлениями закрытого и открытого фланцев калибра не остается постоянным

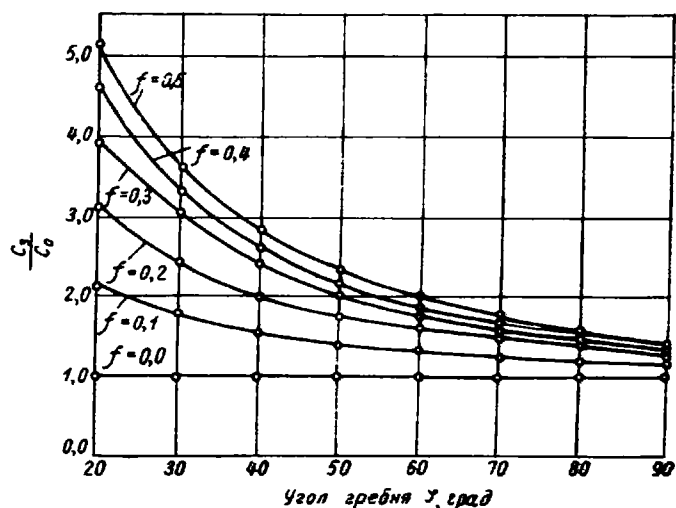


Рис. 113. Соотношение сопротивлений в закрытом и открытом фланцах балочного калибра

по ходу прокатки, поскольку изменяется угол наклона на внутренней грани полки $\frac{\varphi}{2}$. Этот угол в черновых (разрезающих) калибрах равен $35\text{--}40^\circ$ и по ходу прокатки уменьшается примерно до 10° в чистовом и предчистовом калибрах.

Коэффициент трения f так же изменяется вследствие снижения температуры прокатываемого металла и неодинакового состояния поверхности валков в чистовых и черновых калибрах.

Изменение сопротивлений в закрытых и открытых фланцах калибра по ходу прокатки показано на рис. 113. Из графика видно, что по мере уменьшения угла наклона внутренних граней полок происходит весьма интенсивный рост сопротивления в закрытом фланце по сравнению с сопротивлением в открытом фланце. Например, в чистовом и предчистовом балочных калибрах, когда угол $\frac{\varphi}{2} \approx 10^\circ$, сопротивление закрытого фланца в 4—5 раз больше сопротивления открытого фланца. Чтобы в этих условиях избежать чрезмерной высотной осадки фланцев балки, поступающих в закрытые фланцы калибра, необходимо облегчить проникновение их в эти фланцы калибра. Для этого обычно в за-

крытых фланцах чистовых и предчистовых калибров для фланцев балки не предусматривают бокового обжатия, что облегчает их проникновение.

На основании многолетнего опыта калибровщики выработали приемы, при помощи которых облегчают условия деформации фланцев балки в закрытых фланцах калибра и этим в известной мере выравнивают сопротивления в обоих фланцах калибра. Так, необходимо, чтобы во всех калибрах, за исключением чистового и предчистового, фланцы балки беспрепятственно входили в закрытые фланцы калибра на $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ их глубины, а в открытые—на $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$. С этой же целью, как правило, в закрытых фланцах предусматривают меньшее боковое обжатие, чем в открытых.

В тех случаях, когда большая разница в сопротивлениях закрытого и открытого фланцев калибра, происходит перемещение фланцев балки из закрытого фланца в открытый. Это явление часто наблюдается на практике, и оно сопровождается уменьшением высоты закрытого фланца и увеличением высоты открытого. Перемещение фланцев в вертикальной плоскости связано с преодолением сопротивления шейки. Очевидно, чем толще шейка и больше она защемлена боковыми стенками калибра (при отсутствии достаточного уширения), тем труднее осуществить перемещение фланцев из закрытого в открытый фланец. Вследствие этого перемещение фланцев в вертикальной плоскости реже наблюдается в черновых калибрах, когда шейка имеет значительную толщину.

Из рис. 113 видно также, что в черновых калибрах, в которых угол наклона внутренней грани полки большой, сопротивления в закрытых и открытых фланцах почти выравниваются, и, следовательно, в этих калибрах меньше возможностей для перемещения фланцев балки из закрытых фланцев калибра в открытые.

На практике наблюдается иногда перемещение фланцев балки из открытых фланцев калибра в закрытые. Происходит это тогда, когда фланцы балки в открытых фланцах калибра получают чрезмерно большое боковое обжатие. Для сокращения расхода энергии на прокатку и уменьшения износа калибров желательно полностью предотвратить перемещения фланцев в балочных калибрах.

На соотношение сопротивлений в закрытом и открытом фланцах большое влияние оказывает внешнее трение (см. рис. 113). Чем больше коэффициент внешнего трения, тем больше сопротивление в закрытом фланце калибра по сравнению с сопротивлением в открытом; при коэффициенте трения, равном нулю, сопротивления в обоих фланцах равны.

Следовательно, снижение коэффициента трения при выборе соответствующего материала валков и их механической обработке будет способствовать облегчению условий деформации в закрытых фланцах балочных калибров. Так как при прокатке балок наибольшие трудности возникают при получении фланцев балки в закрытых фланцах калибра (особенно в предчистовых и чистовых калибрах), необходимо в этих случаях уменьшать коэффициент внешнего трения.

В реальных условиях при прокатке балок закрытые фланцы подвержены продольному растяжению, которое не учитывалось при анализе сил. Продольное растяжение закрытых фланцев, естественно, снижает нормальное (боковое) давление на стенки закрытого фланца. Вследствие этого боковое давление в закрытых фланцах при прочих равных условиях будет меньше, чем в открытых. В зависимости от условий прокатки удельное боковое давление в закрытом фланце балочного калибра может быть в 1,25—1,75 раза меньше, чем в открытом. Если учесть, что боковое давление в закрытых фланцах в среднем в 1,5 раза меньше,

чем в открытых, то и при этом разница в сопротивлениях закрытого и открытого фланцев калибра будет значительной.

Прокатка балок состоит из двух характерных стадий деформации: 1) получение начального (чернового) двутаврового профиля, 2) превращение чернового профиля балки в готовый профиль.

Первая стадия характеризуется резким переходом от прямоугольной формы сечения к двутавровой, а вторая — постепенным приближением чернового профиля к чистовому.

В зависимости от размеров балки применяют различные калибры и различное число проходов. Типовые схемы прокатки балок приведены на рис. 114.

Схема I состоит только из закрытых балочных калибров, причем первый из них — разрезной (с острыми гребнями) выполняет начальную деформацию. В этом калибре исходная заготовка обычно прямоугольного сечения, прорезается острыми гребнями валков сверху и снизу, в результате чего образуется двутавровое сечение. В последующих калибрах осуществляется постепенное углубление и расширение врезов (образование стенки профиля) и утонение фланцев. Обычно эту схему применяют для прокатки балок от № 10 до 30.

Для прокатки балок от № 30 до 70 применяют II схему. Заготовки прокатывают в открытых балочных калибрах, которые вытачивают на валках блюминга и валках черновой дуо-реверсивной клетки рельсобалочного стана. В каждом таком калибре изменением расстояния между валками осуществляют несколько проходов. После нескольких проходов на боковых гранях полосы образуются заусенцы, которые устраняют кантовкой полосы на 90° и обжатием ее на гладкой части валков. Деформация в открытых калибрах продолжается до получения шейки толщиной, равной трех-пятикратной толщине шейки готового профиля. При этом соотношение между толщиной полки и толщиной стенки в черновом профиле выдерживается таким же, как и в готовом профиле балки. Дальнейшая прокатка осуществляется в закрытых балочных калибрах.

Сравнивая закрытые и открытые балочные калибры, можно отметить следующие преимущества и недостатки.

При прокатке балок в закрытых калибрах требуется меньшее число проходов, так как в этом случае меньше опасность образования заусенцев. В этих калибрах меньшая утяжка фланцев. Однако при прокатке в закрытых калибрах наблюдается больший их износ и больший расход энергии. Для закрытых калибров нужны валки большего диаметра. Врез закрытых калибров в валки снижает их прочность.

При прокатке балок в открытых калибрах диаметры валков одинаковые, износ и снижение прочности валков меньше. Благодаря применению ребрового калибра можно прокатывать в одном разрезном калибре

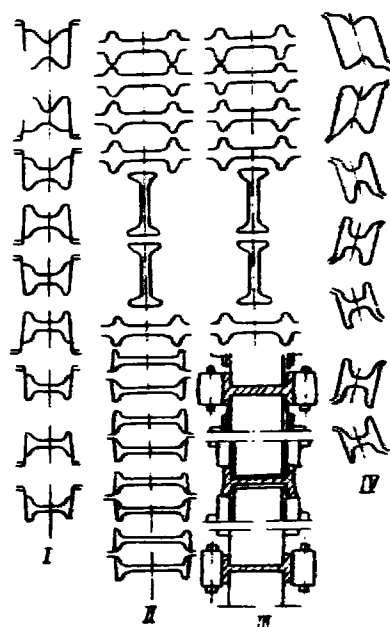


Рис. 114. Типовые схемы прокатки балок

балки нескольких номеров, что уменьшает парк валков. Однако при прокатке балок в открытых калибрах наблюдается большая утяжка фланцев, а применение ребровых проходов несколько снижает производительность стана. Кроме того, возможно скручивание полосы при прокатке в ребровом калибре.

Видоизменением типовых схем прокатки балок является схема III, по которой прокатывают широкополочные балки, в том числе с параллельными полками. В этом случае для получения чернового профиля

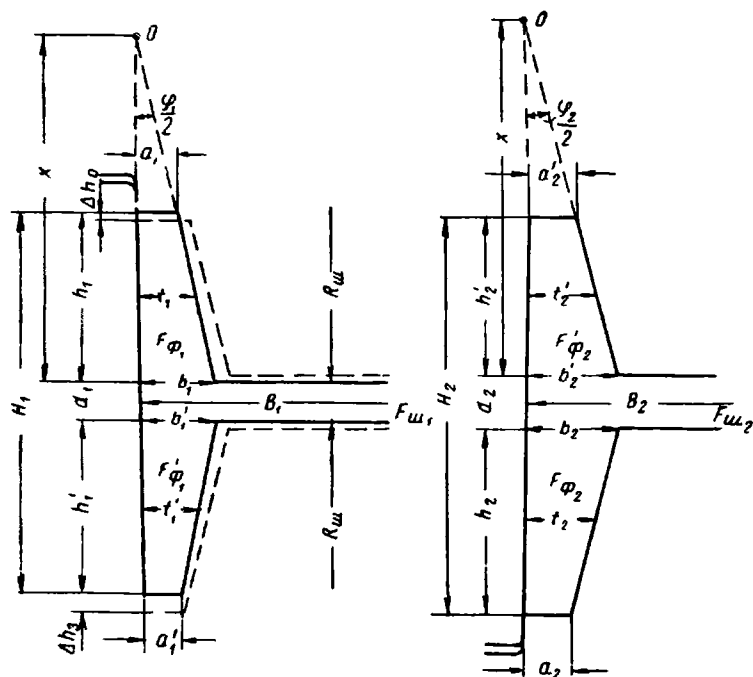


Рис. 115. Общая схема деформации в балочном калибре

применяют такие же калибры и тот же режим прокатки, как и для схемы II. Различие заключается в том, что дальнейшая прокатка чернового двутаврового профиля осуществляется в универсальных клетях.

Другим видоизменением типовых схем прокатки балок является схема IV, которая в последнее время получает распространение. В этой схеме применены закрытые балочные калибры с наклоном к горизонтальной линии (косая калибровка).

На основании проведенных исследований и анализа существующей практики использования метода косой калибровки для прокатки рельсов и балок способ прокатки фланцевых профилей в наклонных калибрах с диагональным расположением разрезов калибров следует признать весьма прогрессивным и экономически выгодным. Наиболее целесообразным этот метод может оказаться при прокатке облегченных, тонкостенных и широкополочных двутавровых балок на рельсобалочных и сортовых станах.

В балочном калибре обычно осуществляется деформация следующих видов (рис. 115):

- 1) обжатие шейки $\Delta d = d_2 - d_1$;
- 2) уширение профиля (шейки) $\Delta B = B_1 - B_2$;
- 3) боковое обжатие открытого фланца $\Delta t = t'_2 - t_1$;

- 4) приращение высоты открытого фланца $\Delta h_c = h_1 - h'_2$;
- 5) боковое обжатие закрытого фланца $\Delta t' = t_2 - t'_1$;
- 6) уменьшение высоты (утяжка) закрытого фланца $\Delta h_3 = h_2 - h'_1$.

Расчет балочных калибров в основном сводится к определению размеров фланцев и шейки в данном калибре исходя из известных размеров фланцев и шейки смежного с ним калибра. Обычно расчет ведут против хода прокатки начиная от чистового калибра. Некоторые калибровщики ведут расчет балочных калибров начиная от чистового и кончая разрезным, в который должна задаваться прямоугольная заготовка. При этом методе расчета калибровки неизвестно общее число проходов, которое требуется для прокатки заданного профиля, а также размеры и форма разрезного калибра. Поэтому часто из-за неудовлетворительной формы и неприемлемых размеров разрезного калибра приходится повторять расчет калибровки, затрачивая на это много времени.

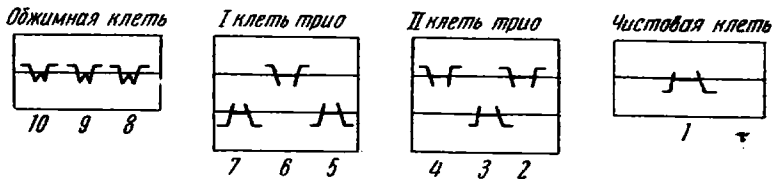


Рис. 116. Схема прокатки балки № 30 (цифрами обозначены номера калибров)

Предпочтительным следует признать другой метод расчета калибровки. Задавшись общим числом проходов, составляют схему прокатки балки и определяют общий коэффициент вытяжки $\mu_{\text{общ}}$.

В этом случае можно использовать некоторые практические данные. Например, число проходов можно принимать в зависимости от номера балки:

Номер балки	Число проходов
10, 12, 14, 16, 18	7—9
20, 22, 24, 27, 30	9—11
33, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70	11—13

На рис. 116 показана схема прокатки балки № 30 на современном рельсобалочном стане. Балку прокатывают в 10 балочных калибрах закрытого типа. Небольшое число калибров, расположенных в клетях трио, позволило избежать сопряженных калибров.

Размеры чистового балочного калибра обычно соответствуют, за исключением ширины, размерам готового профиля. При определении ширины калибра B_1 (см. рис. 115) учитывают минусовый допуск Δ по высоте балки H и коэффициент линейного расширения k , равный 1,012—1,015:

$$B_1 = (H - \Delta) k.$$

Следует отметить, что в закрытых балочных калибрах после их износа восстанавливают только первоначальные размеры фланцев. Ширина калибров не восстанавливается, вследствие чего она по мере износа валков увеличивается с минимальных до максимальных размеров. Поэтому валки с балочными калибрами выходят из строя главным образом из-за превышения допустимой ширины калибра.

После установления размеров чистового калибра определяют размеры разрезного калибра (рис. 117).

При расчете и конструировании разрезного и черновых балочных калибров необходимо учитывать асимметричность деформации в этих калибрах, которая является следствием неодинаковых силовых условий в закрытых и открытых фланцах балочного калибра.

Асимметричность деформации в балочных калибрах выражается в том, что при прочих равных условиях высота открытых и закрытых фланцев получается неодинаковой. Особенно наглядно асимметричность проявляется в разрезном калибре при прокатке исходной заготовки прямоугольного сечения.

В зависимости от условий в одном и том же калибре асимметричность профиля может быть различной. Установлено, что наибольшая асимметричность деформации наблюдается при полном отсутствии уширения в балочном калибре. При прокатке сравнительно узких полос асимметричность профиля исчезает и оба фланца имеют одинаковую высоту.

Таким образом, асимметричность деформации проявляется тогда, когда имеются благоприятные условия для реализации тягивающей силы в открытом фланце, т. е. при отсутствии уширения; в том случае, когда нет контакта между полосой и боковыми стенками калибра, отсутствует тягивающая сила и профиль полосы получается симметричным.

На асимметричность деформации в разрезном калибре оказывает влияние также высота исходной прямоугольной заготовки; чем больше при прочих равных условиях высота исходной заготовки, тем больше получается асимметричность деформации.

Ширина разрезного калибра B_p равна ширине чистового калибра B_1 минус суммарное уширение в балочных калибрах $\sum_1^{n-1} \Delta B$, т. е.

$$B_p = B_1 - \sum_1^{n-1} \Delta B.$$

Уширение в балочных калибрах обычно не рассчитывают по формулам, а принимают на основании некоторых практических данных. Это возможно потому, что при прокатке в закрытых балочных калибрах может быть предусмотрено полное ограничение уширения или простор для него за счет раздачи металла гребнями.

Обычно в разрезных и первых черновых балочных калибрах, в которых шейка профиля получает большое абсолютное обжатие, уширение принимают меньше его естественной (или расчетной) величины. В этих случаях уширение составляет 10—30% обжатия.

Для обеспечения максимального роста открытых фланцев желательно было бы в разрезном и первых черновых калибрах осуществлять прокатку без уширения. Однако это вызвало бы большое вертикальное и боковое давление металла в калибре, что связано с большим расходом мощности и быстрым износом стенок калибра. Поэтому, если мощность двигателя недостаточна, приходится вынужденно увеличивать уширение в разрезных и черновых балочных калибрах.

В подготовительных и чистовых балочных калибрах, как правило, принимают уширение больше его естественной величины. Например, в чистовых калибрах при абсолютном обжатии шейки, равном 0,5—1,0 мм, уширение принимают в 4—10 раз больше. Это соотношение постепенно уменьшается в предшествующих подготовительных калибрах (рис. 118).

При таком большом просторе для уширения в калибре будет происходить поперечное растяжение шейки балки, механизм которого нетрудно установить при рассмотрении последовательных стадий прокатки в зеве валков. Как известно, сначала происходит захват и обжатие фланцев балки, а затем обжатие шейки. Если при этом поступающая в калибр балка будет уже его, то ее фланцы по мере проникновения в глубь ручьев калибра будут растягивать шейку в поперечном направлении.

В подготовительных и чистовых калибрах поперечное растяжение шейки профиля оказывается очень полезным, так как оно снижает давление металла на валки и облегчает процесс утонения шейки. Однако поперечное растяжение шейки балки надо применять в известных пределах; при чрезмерно большой абсолютной разнице

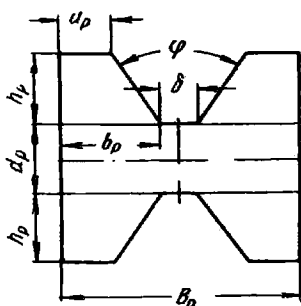


Рис. 117. Построение разрезного калибра

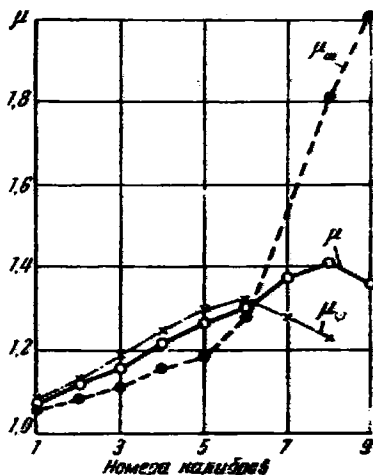


Рис. 118. График изменения уширения, обжатия и показателя уширения в балочных калибрах (балка № 20)

между шириной балки и шириной калибра будет происходить значительное отгибание фланцев, сопровождающееся уменьшением их высоты. В этих случаях затрудняется также захват фланцев балки стенками открытых и закрытых фланцев калибра.

Общее уширение в калибрах, за исключением разрезного, можно определить по формуле

$$\sum_1^{n-1} \Delta B = n \left(0,01B_1 + \frac{n-1}{2} \right),$$

где n — число калибров без учета разрезного калибра.

Для определения уширения в каждом калибре можно пользоваться формулой

$$\Delta B = 0,01B_1 + n - 1,$$

где ΔB — уширение в данном калибре;

B_1 — ширина чистового калибра;

n — порядковый номер калибра, считая от чистового.

Расход электроэнергии при прокатке балок может быть уменьшен (кроме уменьшения обжатий и коэффициента трения) снижением давления на боковые стенки за счет большего простора для уширения и большего наклона боковых и внутренних стенок калибра.

В зависимости от размера балки и порядкового номера прохода в балочных калибрах принимают следующие величины уширения:

Номер балки	В чистовом калибре, мм	В остальных калибрах, мм
10, 12, 14, 16, 18	1	$1+(n-1)$
20, 22, 24, 27	2	$2+(n-1)$
30, 33, 36	3	$3+(n-1)$
40, 45	4	$4+(n-1)$
50, 55, 60, 65, 70	5	$5+(n-1)$

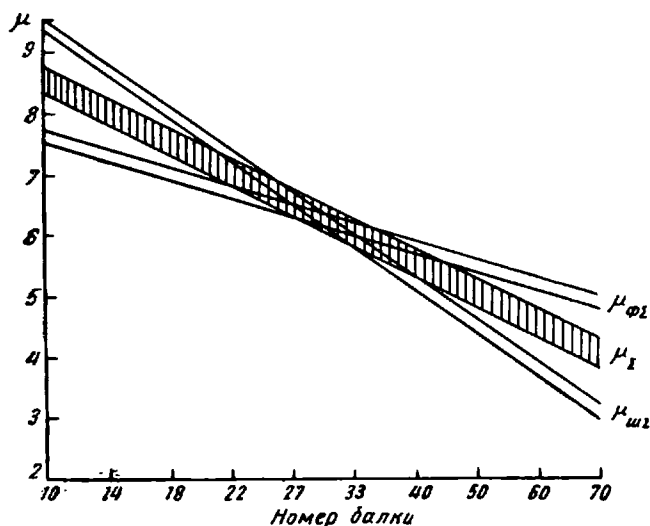


Рис. 119. Суммарная вытяжка балки, шейки и фланцев от разрезного калибра до чистового для балок разных номеров

В зависимости от размера балки принимают следующие величины утяжки балки в закрытых фланцах калибра и приращенния высоты фланцев балки (уширение) в открытых фланцах калибра:

Номер балки	Утяжка, мм	Уширение, мм
10, 12, 14, 16, 18	5—6	0,5
20, 22, 24, 27, 30	6—9	1,0
33, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70	9—12	1,5

В разрезном калибре (см. рис. 117) высоту фланца можно определить по формуле

$$h_p = h_1 + \Sigma \Delta h_s - \Sigma \Delta h_0,$$

где h_1 — высота фланца балки в чистовом калибре;

Δh_s — утяжка фланцев балки в каждом проходе;

Δh_0 — уширение фланцев балки в каждом проходе.

Величину δ в разрезном калибре принимают конструктивно от 20 до 70 мм соответственно номеру балки. Толщина фланца у основания

$$b_p = 0,5 (B_p - \delta),$$

у края

$$a_p = k_p b_p,$$

где $k_p = \frac{a_p}{b_p} = 0,40—0,45$ (меньшее значение принимают для балки № 10, а большее — для балки № 60; для балок промежуточных номеров оно находится интерполяцией).

Угол гребня в разрезном калибре рекомендуется принимать от 48° (для балки № 10) до 80° (для балки № 60).

Толщину шейки разрезного калибра можно определить, приняв по диаграмме, приведенной на рис. 119, общие вытяжки балки, шейки и фланцев.

При расчете балочных калибров следует учитывать особенность разрезных и первых черновых калибров, в которых происходит наращива-

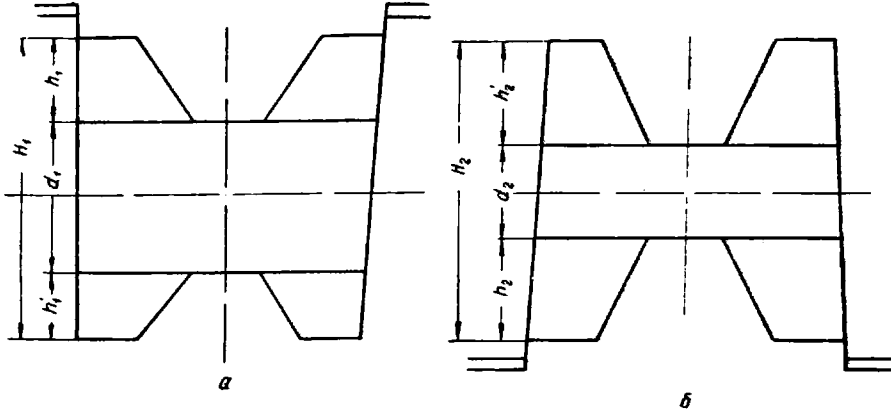


Рис. 120. К расчету балочных калибров

ние высоты фланцев балки. Это наращивание наблюдается в тех калибрах, в которых обжатие шейки больше абсолютной высотной утяжки профиля.

Известно, что в разрезном калибре вследствие внедрения гребней балков в исходную прямоугольную заготовку образуются фланцы, высота которых неодинакова (рис. 120, а). При расчете обычно принимают отношение $\frac{h_1}{h'_1} = 1,5$.

Прокатка в следующем черновом калибре (рис. 120, б) наряду с уменьшением общей высоты балки (с H_1 до H_2) сопровождается приращением высоты ее фланцев:

$$\Delta h_2 = h_2 - h'_1 \text{ и } \Delta h'_2 = h'_2 - h_1$$

за счет обжатия шейки ($d_1 - d_2$). Если бы не было высотной утяжки балки, то суммарное приращение высоты фланцев равнялось бы обжатию шейки, т. е.

$$\Delta h_2 + \Delta h'_2 = d_1 - d_2.$$

С учетом высотной утяжки балки приращение высоты ее фланцев составит

$$\Delta h_2 + \Delta h'_2 = (d_1 - d_2) - (H_1 - H_2).$$

Для определения отдельного приращения высоты открытого и закрытого фланцев балки можно использовать следующее отношение:

$$\frac{\Delta h_{\text{откр}}}{\Delta h_{\text{закр}}} = \frac{\Delta h_2}{\Delta h'_2} = 1,5,$$

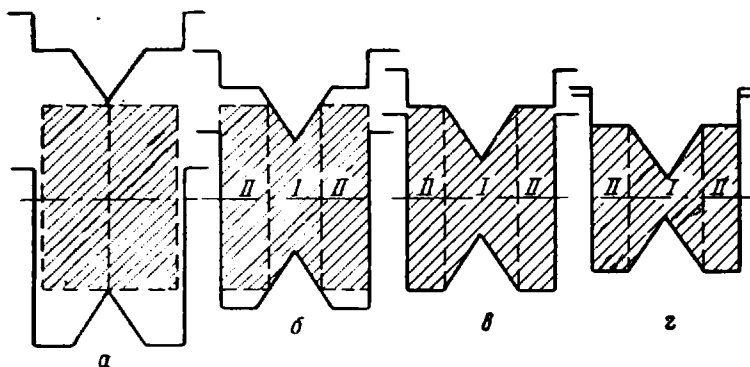
Тогда

$$\Delta h_2 = 0,6 [(d_1 - d_2) - (H_1 - H_2)]$$

и

$$\Delta h'_2 = 0,4 [(d_1 - d_2) - (H_1 - H_2)].$$

Нарращивание высоты открытых и закрытых фланцев балки за счет обжатия шейки будет происходить до тех пор, пока обжатие шейки больше высотной утяжки профиля. Как только обжатие шейки станет меньше высотной утяжки профиля, прокатка балки будет сопровож-



Р и с. 121. Стадии прокатки в разрезывающем калибре:
а — первая стадия; б — вторая; в — третья; г — конец третьей стадии

даться уменьшением высоты фланцев балки в закрытых фланцах калибра; в открытых фланцах калибра может происходить небольшое (1—2 мм) увеличение высоты фланцев балки главным образом за счет их бокового обжатия.

Закрытые разрезные калибры, применяемые для получения из прямоугольной заготовки черного двутаврового профиля, характеризуются главным образом формой гребней.

В отличие от обычного балочного калибра гребни разрезного калибра выполняют с острыми вершинами так, что шейка между фланцами почти отсутствует. Угол гребней в зависимости от ширины балок принимают в пределах 45—80°, причем верхний и нижний гребни несимметричны: более острый гребень обычно со стороны закрытой части калибра.

Вершины гребней округляют дугами окружности или параболы. Острые гребни разрезного калибра легко внедряются в прямоугольную заготовку, оставляя сверху и снизу трехугольные борозды, являющиеся началом образования шейки двутаврового профиля: фланцы балки вследствие массивности испытывают при этом сравнительно небольшую утяжку.

Прорезание прямоугольной заготовки тупыми гребнями вызывает весьма большую утяжку фланцев.

Чем больше угол разрезного гребня, тем труднее получить высокие фланцы профиля в разрезном калибре. Однако малые углы (меньше 45°) для разрезных гребней принимать также нельзя, так как в этом случае без притупления вершин гребни получились бы очень тонкими и непрочными; значительное притупление гребней затрудняет процесс деформации и увеличивает утяжку фланцев. Для разрезных гребней оптимальными углами являются углы в пределах 45—60°; гребни с большими углами применяют редко.

Процесс деформации в разрезном калибре состоит из следующих

стадий (рис. 121). В первой стадии происходит внедрение гребней в исходную прямоугольную заготовку при свободном уширении полосы. В этот момент обжатию подвергается только средняя область I поперечного сечения заготовки. Под действием клиновидных гребней заготовка раздается в стороны и заполняет калибр по ширине.

Вторая стадия наступает тогда, когда дальнейшее внедрение гребней в заготовку происходит в условиях отсутствия в калибре простора для уширения. При этом происходит боковое обжатие областей II полосы.

Третья стадия наступает тогда, когда к боковому обжатию областей II добавляется высотное обжатие. Однако чаще всего разрезные калибры конструируют с запасом по высоте фланцев, ввиду этого в первом проходе фланцы профиля высотного обжатия не получают.

В первой стадии деформации легко развивается вынужденное уширение и происходит раздача полосы в стороны; благодаря этому вытяжка может полностью отсутствовать. Образовавшиеся в этот момент фланцы (вследствие внедрения гребней в прямоугольную полосу) не подвергаются утяжке и сохраняют высоту.

Во второй стадии возможность для уширения отсутствует и обжатие шейки и фланцев обеспечивает вытяжку полосы. Вследствие того, что область I обжимается сильнее, чем области II, может наблюдаться вынужденная утяжка этих областей.

Для предотвращения большой утяжки образующихся фланцев необходимо, чтобы площадь сильно обжимаемой области I была значительно меньше площади слабо обжимаемых областей II. Это достигается при применении острых разрезных гребней, так как чем острее угол гребня, тем меньше ширина его горизонтальной проекции.

Во второй стадии деформации проявляется воздействие на прокатываемую полосу боковых стенок калибра. В открытых фланцах калибра действуют стягивающие силы, способствующие росту фланцев балки, а в закрытых — тормозящие силы, препятствующие росту фланцев. В результате наблюдается несимметричность деформации в разрезном калибре.

Расчитанный разрезной калибр должен удовлетворять условию захвата исходной прямоугольной заготовки. Высоту заготовки H_0 принимают на 10—20% больше общей высоты разрезного калибра H_p с целью выполнения фланцев; ширину B_0 принимают на 5—10 мм меньше ширины разрезного калибра B_p . При этом заполнение разрезного калибра проверяют подсчетом коэффициента средней вытяжки при неравномерном обжатии.

Зная высоту заготовки и размеры разрезного калибра, определяют угол захвата. Если окажется, что угол захвата больше допустимого, то увеличивают толщину шейки разрезного калибра, соответственно корректируя размеры смежных черновых балочных калибров. При таком методе расчета сначала уточняют размеры двух крайних калибров: чистового и первого чернового (разрезного). Затем уточняют размеры всех промежуточных калибров, для которых известны площадь и ширина шейки, а также площадь и высота фланцев.

После определения размеров чистового и разрезного калибров и установления общих коэффициентов вытяжек для всего калибра, шейки и фланцев распределяют коэффициенты вытяжки по проходам (калибрам) и элементам профиля (шейки $\mu_{ш}$ и фланцев $\mu_{ф}$).

Закономерность распределения обжатий по отдельным элементам фланцевого профиля является существенным признаком того или другого метода калибровки.

Кирхберг рекомендует при проектировании калибровок в последних проходах принимать одинаковые коэффициенты вытяжки шейки и фланцев (открытых и закрытых); в черновых проходах шейка может обжиматься больше фланцев.

Жез принимает одинаковые коэффициенты линейного обжатия открытых и закрытых фланцев, но для шейки увеличивает их примерно на 10%. В. Е. Грум-Гржимайло, наоборот, рекомендует во всех калибрах шейку обжимать меньше, чем фланцы.

Метц принимает одинаковые коэффициенты линейного обжатия шейки и открытых фланцев и меньшие для закрытых фланцев.

Однако на практике наблюдается более дифференцированный подход к распределению обжатий по элементам профиля. Например, для балочных профилей в зависимости от размера балки и выбранной схемы прокатки применяют один из следующих режимов обжатия.

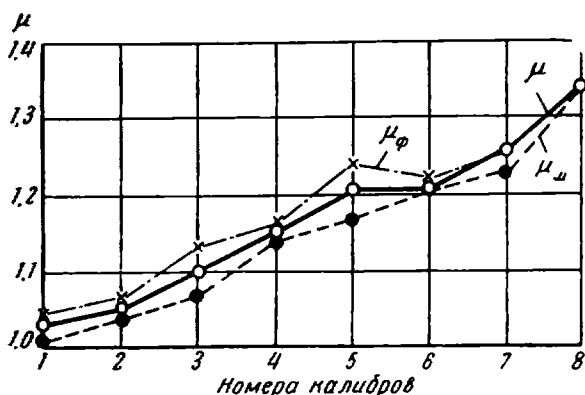


Рис. 122. Изменение коэффициентов вытяжки в калибрах при прокатке балки № 55 на рельсобалочном стане 750

Для крупных балок, у которых шейка профиля сильно развита и составляет больше 50% всей площади профиля, применяют режим обжатий, указанный на рис. 122. Во всех проходах, которые осуществляются в закрытых калибрах, обжатие фланцев должно быть равно или несколько больше обжатия шейки. Чтобы осуществить такой режим обжатия, необходимо подготовить черновую балочную заготовку соответствующих размеров.

Эта задача, как известно, выполняется на обжимных станах в открытых балочных калибрах. Прокатка черновой заготовки при этом происходит с весьма неравномерными обжатиями шейки и фланцев, но вследствие большой пластичности металла в первых проходах и массивности фланцев удается осуществить необходимое формоизменение.

Дальнейшая прокатка балки значительно облегчается тем, что она не сопровождается резкой неравномерностью обжатий фланцев и шейки. В крупных балках шейка обладает большой способностью утягивать фланцы вследствие того, что ее площадь больше площади четырех фланцев. В этом случае прокатка балки с небольшим превышением обжатия шейки над обжатием фланцев неизбежно привела бы к чрезмерной утяжке фланцев и невыполнению профиля.

Для средних балок, прокатываемых в закрытых балочных калибрах, обычно применяют режим обжатий, указанный на рис. 123. В этом случае в черновых проходах шейка подвергается весьма большому обжатию, чем фланцы, а в последних проходах она обжимается слабее, чем фланцы.

Наконец, для средних и малых балок применяют режим обжатий, указанный на рис. 124. В этом случае обжатие шейки больше обжатия фланцев в разрезном и в последующих черновых калибрах; только в чистовом и предчистовом калибрах она обжимается меньше, чем флан-

цы. Такой режим обжатия можно применять тогда, когда площадь шейки значительно меньше площади четырех фланцев. В этом случае несмотря на большее обжатие шейки, чем фланцев, значительной утяжки фланцев не произойдет.

Во всех указанных режимах обжатий общим является то, что в чистовых и предчистовых калибрах шейка обжимается слабее, чем флан-

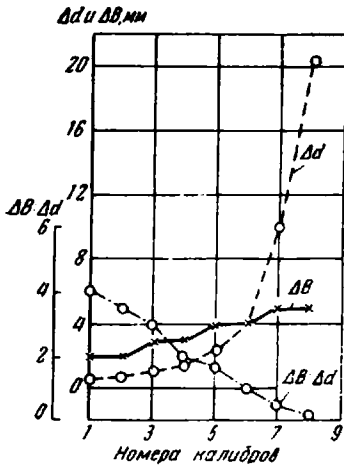


Рис. 123. Изменение коэффициентов вытяжки в калибрах при прокатке балки № 20 на стане 500

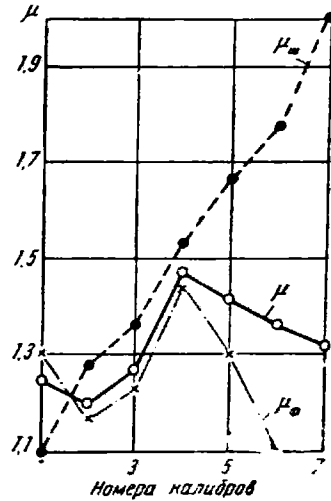


Рис. 124. Изменение коэффициентов вытяжки в калибрах при прокатке балки № 10 на стане 550

цы. Такой характер распределения обжатий по элементам профиля обеспечивает хорошее заполнение калибров.

Характерной особенностью процесса прокатки балки является резко выраженная неравномерность по длине очага деформации, состоящая в том, что отдельные элементы профиля обрабатываются неодновременно. На рис. 125 схематично изображены четыре стадии прокатки балки за время прохождения очага деформации.

Полный цикл обработки профиля в балочном калибре состоит из бокового обжатия открытых фланцев, высотного обжатия закрытых фланцев и высотного обжатия шейки (при отсутствии уширения).

В первой стадии открытые фланцы обрабатываются боковым обжатием; шейка профиля и закрытые фланцы не подвергаются обжатию. При дальнейшем продвижении профиля через очаг деформации (вторая стадия) наряду с боковым обжатием открытых фланцев начинается высотное обжатие закрытых фланцев; шейка профиля не обжимается.

В третьей стадии фланцы обрабатываются так же, как и во второй стадии. В конце третьей стадии наступает контакт шейки с валками.

В четвертой стадии осуществляется обжатие шейки. При этом фланцы получают весьма малое обжатие, так как оно было произведено в предыдущих стадиях.

Описанная картина деформации мало изменится, если предусмотреть для закрытых фланцев, кроме высотного, также и боковое обжатие. В этом случае также сохраняется одновременность обжатия фланцев и шейки профиля. Такой характер деформации создает сложное напряженное состояние в прокатываемой полосе. В частности, продоль-

ные напряжения имеют знакопеременный характер: в начале деформации фланцы сжимаются, а шейка растягивается, а в конце деформации фланцы растягиваются, а шейка сжимается.

Значительное обжатие шейки в балочном калибре может привести к утяжке фланцев. Чтобы уменьшить утяжку фланцев, надо энергично обжимать шейку тогда, когда фланцы достаточно массивные и температура их высокая, т. е. в первых черновых проходах, по мере приближения к отделочному проходу обжатие шейки нужно сводить к минимуму.

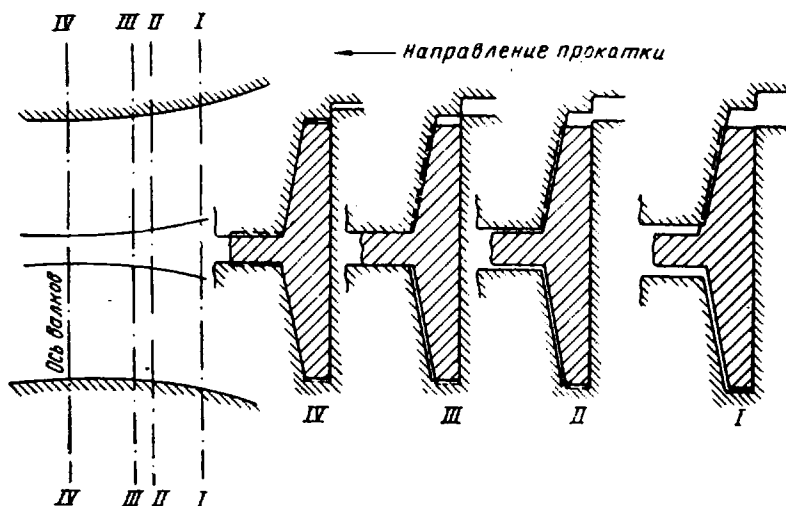


Рис. 125. Стадии прокатки в балочном калибре

Такой режим обработки балки оправдывается еще тем, что разновременность захвата фланцев и шейки зависит от наклона внутренней грани полки. Чем больше угол наклона внутренней грани полки (черновые калибры), тем меньше отдалены по времени моменты обработки фланцев и шейки и, следовательно, меньше неравномерность деформации. При малом наклоне внутренней грани полок (отделочные калибры) разновременность обработки фланцев и шейки возрастает и неравномерность деформации увеличивается. В этих условиях необходимо меньше обжимать шейку, чтобы предотвратить утяжку фланцев.

Неодновременность обработки отдельных элементов балки необходимо учитывать при распределении обжатий по элементам. Кроме того, следует иметь в виду следующее.

Прокатка в фланцевых калибрах закрытой формы обеспечивает высокую пластичность металла. Поэтому часто при прокатке в разрезных балочных калибрах допускают двух- и трехкратные вытяжки за один проход.

Однако высокая пластичность металла не всегда может быть использована при прокатке балок. Процесс прокатки требует, чтобы угол захвата, зависящий от обжатия, не превышал угла трения.

Во многих случаях обжатие лимитируется прочностью валков и мощностью электродвигателя.

Большое значение при выборе обжатия имеет износ валков. При прокатке в черновых калибрах износ валков не является лимитирующим фактором при назначении обжатия. Наоборот, в предчистовых и чистовых калибрах износ валков имеет решающее значение при выборе обжатия. При прокатке балок, рельсов и других фланцевых профи-

лей, к которым предъявляют высокие требования по точности профиля и чистоте поверхности, выгоднее в чистовых и предчистовых калибрах назначать небольшие обжатия с целью увеличения срока службы дорогостоящих валков.

Особенности деформации при прокатке балок (трудность заполнения калибра, утяжка фланцев и др.) требуют того, чтобы максимальные коэффициенты вытяжки осуществлялись в черновых калибрах, а затем уменьшались по мере приближения к чистовому калибру. Обычно при прокатке балок в чистовых калибрах применяют коэффициенты вытяжки в пределах 1,10—1,15, в предчистовых 1,15—1,25 и в черновых 1,30—1,80.

На основании анализа большого числа калибровок, применяемых на отечественных заводах, установлено, что для балок больших размеров средний коэффициент вытяжки за проход колеблется в пределах 1,15—1,19; для балок средних размеров 1,20—1,25 и балок малых размеров 1,25—1,30.

Обозначим размеры чистового балочного калибра (см. рис. 115) через B_1 , d_1 , h_1 , t_1 , a_1 , b_1 , h'_1 , t'_1 , a'_1 и b'_1 .

Для определения размеров следующего (считая от чистового) смежного калибра необходимо знать:

- 1) коэффициенты вытяжки отдельных элементов профиля: шейки $\mu_{ш_1}$, открытого фланца μ_{ϕ_1} и закрытого фланца μ'_{ϕ_1} ;
- 2) уширение в калибре ΔB_1 ;
- 3) утяжку фланцев по высоте в закрытом фланце калибра Δh_{ϕ_1} ;
- 4) приращение высоты фланцев балки в открытом фланце калибра Δh_{ϕ_1} .

Тогда в смежном (в данном случае предчистовом) калибре определяют следующие размеры:

$$\text{площадь шейки } F_{ш_2} = F_{ш_1} \mu_{ш_1};$$

$$\text{ширину калибра } B_2 = B_1 - \Delta B_1;$$

$$\text{толщину шейки } d_2 = \frac{F_{ш_2}}{B_2};$$

$$\text{площадь открытого фланца } F_{\phi_2} = F'_{\phi_1} \mu'_{\phi_1};$$

$$\text{высоту открытого фланца } h_2 = h'_1 + \Delta h_{\phi_1};$$

$$\text{среднюю толщину открытого фланца } t_2 = \frac{F_{\phi_2}}{h_2};$$

$$\text{площадь закрытого фланца } F'_{\phi_2} = F_{\phi_1} \mu_{\phi_1};$$

$$\text{высоту закрытого фланца } h_2 = h_1 - \Delta h_{\phi_1};$$

$$\text{среднюю толщину закрытого фланца } t'_2 = \frac{F'_{\phi_2}}{h_2}.$$

При расчете балочных калибров, кроме определения высоты и средней толщины фланцев, необходимо знать толщину фланцев у края a и основания b .

Простейший способ определения этих размеров состоит в том, что в открытых и закрытых фланцах калибра принимают боковое обжатие фланцев равномерным по всей их высоте. Тогда, зная средние толщины предыдущего t_2 и последующего t_1 фланцев, находят следующие размеры

$$a_2 = a'_1 \frac{t_2}{t'_1} \quad \text{и} \quad b_2 = b'_1 \frac{t_2}{t'_1}$$

и соответственно

$$a'_2 = a_1 \frac{t'_2}{t_1} \quad \text{и} \quad b'_2 = b_1 \frac{t'_2}{t_1}.$$

В этом случае

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{b_2}{b_1} = \frac{t_2}{t_1}$$

и соответственно

$$\frac{a'_2}{a_1} = \frac{b'_2}{b_1} = \frac{t'_2}{t_1}$$

При этом способе построения фланцев калибра создаются неблагоприятные условия для обжатия фланцев балки в закрытых фланцах калибра. Для облегчения проникновения фланца балки в закрытый фланец калибра боковое обжатие правильнее распределять неравномерно по его высоте: меньшее обжатие у края и большее у основания. В этом случае

$$\frac{a_2}{a_1} < \frac{t_2}{t_1} \text{ и } \frac{b_2}{b_1} > \frac{t_2}{t_1}$$

Отсюда

$$\frac{a_2}{a_1} < \frac{b_2}{b_1}$$

Такой режим обжатия по высоте фланца обеспечивается при построении его по методу, основанному на использовании постоянной конструкционной точки. Согласно этому методу, внутреннюю грань фланца в чистовом калибре продолжают до пересечения ее с другой наружной гранью. Полученную конструкционную точку O на расстоянии x от основания фланца используют для построения фланцев во всех последующих калибрах (считая от чистового). Например, для построения закрытого фланца во втором калибре (см. рис. 115) откладывают известный отрезок t'_2 на расстоянии $h'_2/2$ от основания и через его крайнюю точку проводят прямую до пересечения с точкой O и основанием фланца. В результате у основания фланца получается отрезок b'_2 , а у края отрезок a'_2 .

Очевидно, отрезки b'_2 и a'_2 могут быть определены также расчетом:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} = \frac{t'_2}{x - 0,5h'_2}$$

Недостатком этого метода является то, что обжатия у края фланца меньше, чем у его основания, получаются не только в закрытом, но и открытом фланцах калибра, т. е.

$$\frac{a_2}{a_1} < \frac{b_2}{b_1} \text{ и } \frac{a'_2}{a_1} < \frac{b'_2}{b_1}$$

В результате такого режима обжатия фланцев балки в закрытых и открытых фланцах калибра происходит быстрое остывание краев фланцев балки, что является весьма нежелательным. Сильное охлаждение краев фланцев балки вызывает быстрый износ фланцев калибра и появление вредных напряжений в металле.

Поэтому оптимальным режимом обжатия фланцев будет являться такой режим, при котором в закрытых фланцах калибра обеспечивается меньшее обжатие у края, чем у основания, т. е.

$$\frac{a_2}{a_1} < \frac{b_2}{b_1},$$

а в открытых фланцах калибра обеспечивается большее обжатие у края, чем у основания, т. е.

$$\frac{a'_2}{a_1} > \frac{b'_2}{b_1}$$

На практике чаще всего применяют этот режим обжатия фланцев балки.

На рис. 126 приведен график изменения обжатия фланцев балки № 12. Из графика видно, что при прокатке балки в последних калибрах закрытый фланец у края не получает обжатия. Это довольно часто практикуют для того, чтобы облегчить проникновение фланца балки в закрытый фланец калибра и, следовательно, свести к минимуму его высотную осадку.

Существенную роль в получении хорошо выполненного профиля балки играют закругления у основания и концов фланцев балочного калибра. На основании практических данных радиусы закругления у основания R и концов r фланцев калибра рекомендуется определять исходя из постоянства отношений R/b и r/a для всех калибров (рис. 127). Так как для чистового калибра R и r известны, по указанным отношениям можно найти радиусы и для остальных калибров. Радиусы закругления r_2 и r_3 принимают одинаковыми для всех калибров. Обычно $r_2 = 10 \div 20$ мм и $r_3 = 5 \div 10$ мм.

В разрезных калибрах для балок № 40 и больше радиусы r_2 и r_3 можно увеличивать соответственно до 35 и 20 мм.

Радиус закругления r_1 в разрезных калибрах принимают равным 4—12 мм с постепенным уменьшением его для остальных калибров. В чистовом и в двух предшествующих ему калибрах радиус $r_1 = 0$.

Выпуск наружных граней фланцев для первых черновых калибров принимают одинаковым, а для остальных калибров — отдельно для закрытых и открытых фланцев (рис. 128).

Выпуск закрытого фланца принимают равным 2—4% и выполняют его внутрь. Выпуск открытого фланца колеблется в пределах 4—6%, в отдельных случаях выпуски достигают 20%. Чаще всего выпуски закрытых фланцев равны 2%, открытых 4%. Выпуск в разрезном калибре общий и колеблется в пределах 4—10%. В чистовом калибре выпуск наружных граней фланцев калибра принимают 0,5—1,0%.

И. И. Кучко предложил выпуск наружных граней фланцев калибра получать прогибом шейки; при этом наружные грани фланцев надо располагать относительно шейки перпендикулярно (рис. 129). Изгиб стенки рекомендуется применять равным 10% с последующим уменьшением его к чистовому калибру.

При прокатке крупных балок черновой двутавровой профиль получают в открытых балочных калибрах с тупыми широкими гребнями. Если в прямоугольную заготовку, из которой нужно прокатать крупную балку, врезаться острыми гребнями, то двутавровое сечение получится весьма нерациональным: с узкой шейкой и толстыми фланцами. Для превращения такого сечения в готовый профиль потребовалось бы много проходов, так как боковое обжатие фланцев за проход может быть

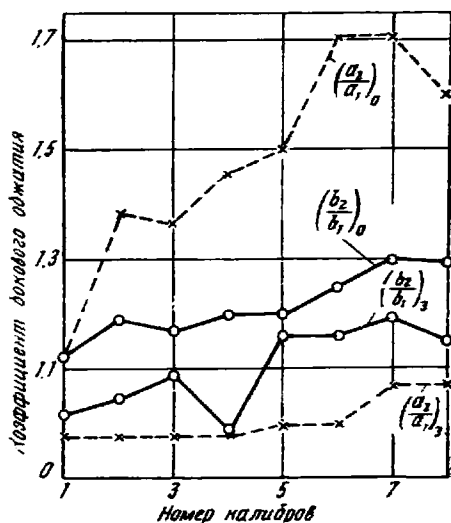


Рис. 126. График изменения коэффициентов бокового обжатия фланцев балки № 12

очень ограниченным. Поэтому при прокатке крупных балок стремятся получить черновой двутавровый профиль с широкой шейкой и сравнительно не толстыми фланцами. В этом случае применяют открытые балочные калибры с широкими гребнями. При внедрении тупых широких гребней в исходную прямоугольную заготовку наращивание фланцев происходит весьма медленно. Зазоры открытого балочного калибра при-

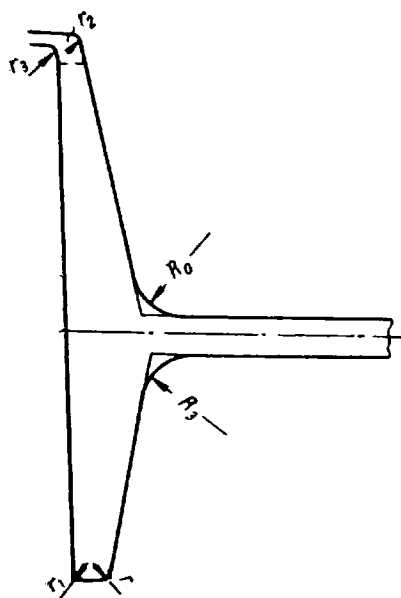


Рис. 127. Закругления в балочном калибре

водят к образованию заусенцев и применению совершенно непроизводительных ребровых проходов. Вследствие этого на получение чернового профиля с достаточно развитыми фланцами требуется не менее

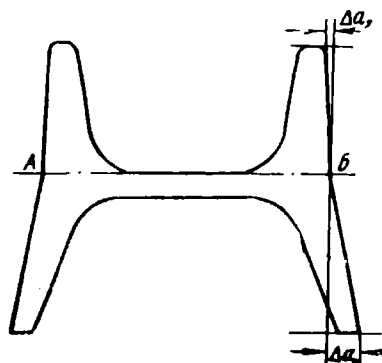


Рис. 128. Выпуск балочного калибра:

Δa_1 — закрытого фланца; Δa_2 — открытого фланца; AB — линия илома наружных граней фланцев

7—9 проходов, тогда как в закрытом разрезном калибре с острыми гребнями черновой профиль получается за 2—3 прохода.

Открытые балочные калибры применяют потому, что они позволяют избежать слишком большого увеличения диаметра валков. Это очень важно, если учесть, что такие калибры обычно размещают в валках блюмингов и обжимных дуо-реверсивных станков. Для расточки закрытого балочного калибра, одинакового по размерам с открытым, потребовались бы валки значительно большего диаметра.

При проектировании открытых балочных калибров необходимо назначать большой уклон наружным и внутренним стенкам калибра. Применение больших уклонов для наружных стенок калибра уменьшает защемление полосы в валках и износ стенок калибра, а также предотвращает образование больших заусенцев. Поэтому часто уклон боковых стенок открытого калибра достигает 25%. Для обеспечения плавного перехода от сильного обжатия шейки к значительно меньшему обжатию фланцев необходимо вершины разрезных гребней округлять при помощи дуг большими радиусами.

Деформация в открытых балочных калибрах относительно горизонтальной оси распределяется симметрично ввиду того, что сверху и снизу фланцы полосы обрабатываются в симметричных закрытых фланцах калибра.

В открытом балочном калибре обычно осуществляют несколько проходов при постепенном сближении валков. В этом случае обжатие шейки обеспечивает небольшое приращение фланцев.

Расчет высоты фланцев в открытом балочном калибре производится следующим образом. Профиль чернового двутавра делят по вертикали на три области: две крайние (соответствующие фланцам) и среднюю (соответствующую шейке). Затем определяют коэффициент средней вытяжки $\mu_{\text{ср}}$ за проход по одному из известных методов. Приближенно принимают, что фланцы получают принудительную вытяжку, равную коэффициенту средней вытяжки $\mu_{\text{ср}}$. Далее, полагая, что вытяжка фланца складывается из равных по величине высотной и поперечной утяжек (относительного уменьшения соответствующих линейных размеров), находят высотную утяжку фланцев, которая равна $\sqrt{\mu_{\text{ср}}}$.

Для упрощения расчета коэффициент средней вытяжки за проход можно определить по приближенной формуле:

$$\mu_{\text{ср}} = \mu_{\text{ш}} \frac{F_{\text{ш}}}{F} + \mu_{\text{ф}} \frac{F_{\text{ф}}}{F},$$

где $\mu_{\text{ш}}$ и $\mu_{\text{ф}}$ — коэффициенты вытяжки шейки и фланцев;
 $F_{\text{ш}}$ и $F_{\text{ф}}$ — площади поперечного сечения шейки и фланцев;
 F — площадь профиля.

Для более точного определения средней вытяжки могут быть использованы другие формулы.

На рис. 130 представлена калибровка валков для прокатки балки № 60. Исходным материалом для прокатки балки является фасонная заготовка, прокатываемая на блюминге и имеющая следующие размеры: ширину 490 мм, высоту (по фланцам) 380 мм, толщину шейки 150 мм и среднюю толщину фланца 81 мм.

В клети 900 производят семь проходов, из которых пятый и шестой являются ребровыми. Так как толщина шейки фасонной заготовки в 11,5 раза больше толщины шейки готового профиля, а толщина фланца больше толщины фланца готового профиля только в 3,7 раза, то в этой клети производится интенсивное утонение шейки при небольшом обжатии фланцев. За пять проходов шейка утоняется со 150 до 38 мм, а фланцы утоняются только с 81 до 58 мм. Такое неравномерное обжатие вызывает утяжку фланцев. Высотная утяжка фланцев при прокатке в открытых балочных калибрах примерно равна $\sqrt{\mu_{\text{ср}}}$.

Черновой профиль, полученный в результате прокатки в дуо-реверсивной клети, отличается пропорциональными размерами: толщина шейки и фланцев примерно в три раза больше толщины соответствующих элементов готовой балки. Это позволило дальнейшую прокатку осуществить с почти равномерным обжатием шейки и фланцев в закрытых балочных калибрах.

На рис. 131 показано размещение калибров на валках при прокатке балки № 60. В связи с расположением сопряженных калибров в обеих клетях трио средней валок быстрее изнашивается. Поэтому в среднем валке выточены закрытые фланцы калибра, которые в обычных условиях меньше вырабатываются.

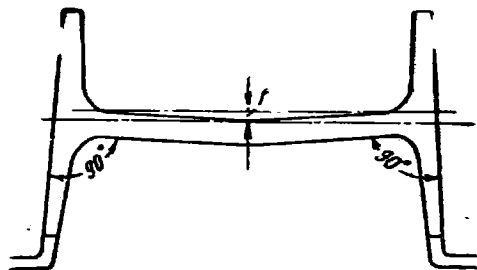
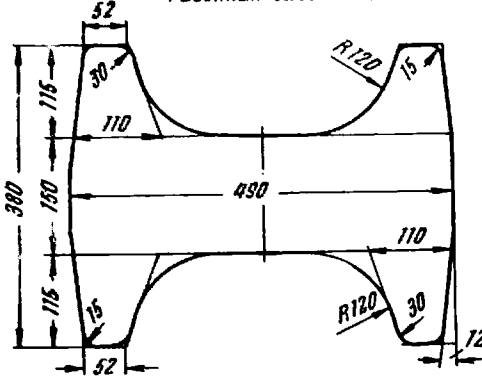


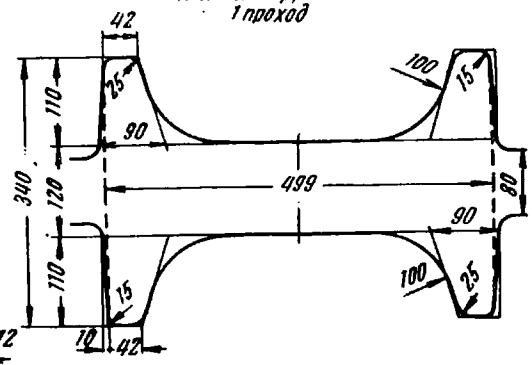
Рис. 129. Прогьб стенки балки для обеспечения выпуска калибра (по И. Н. Кучкс)

Калибровка балки № 60

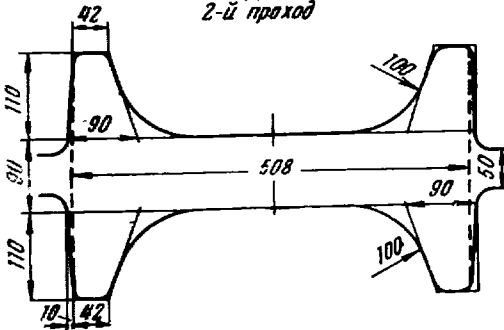
Фасонная заготовка



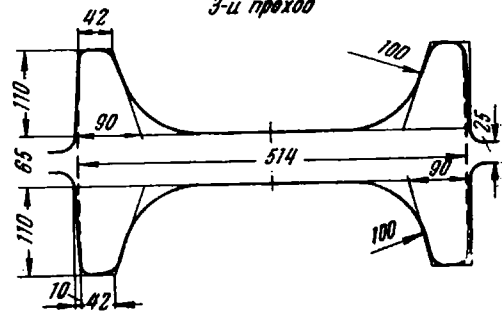
11-й калибр, клеть 900
1-й проход



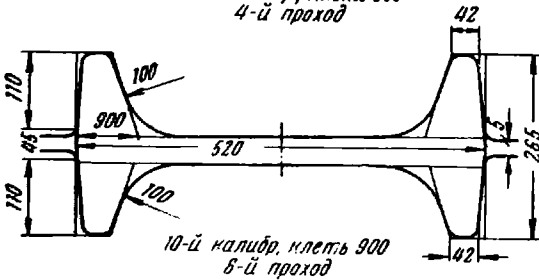
11-й калибр, клеть 900
2-й проход



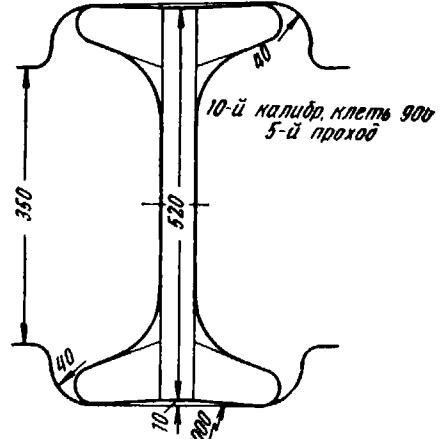
11-й калибр, клеть 900
3-й проход



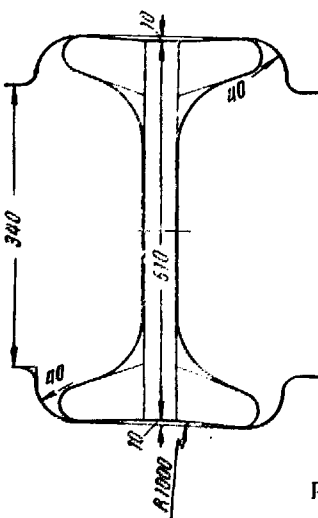
11-й калибр, клеть 900
4-й проход



10-й калибр, клеть 900
5-й проход



10-й калибр, клеть 900
6-й проход



9-й калибр, клеть 900
7-й проход

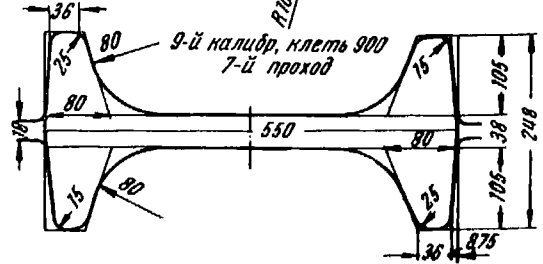
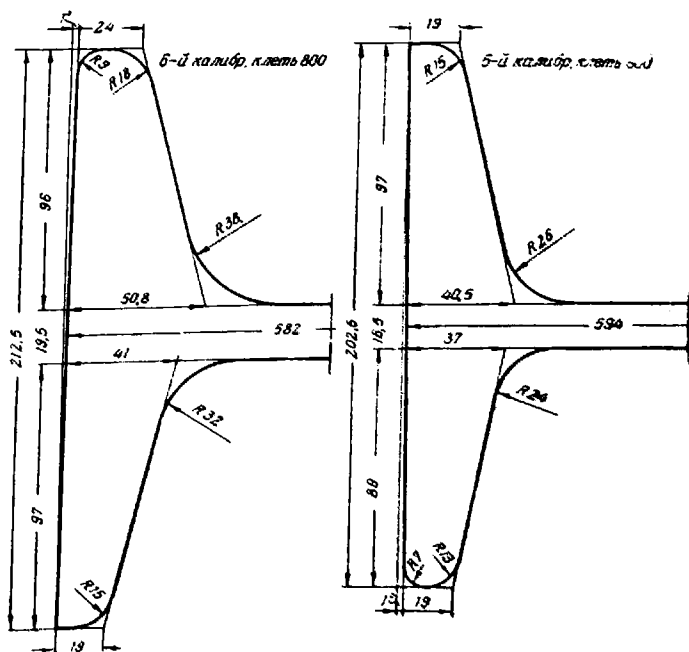
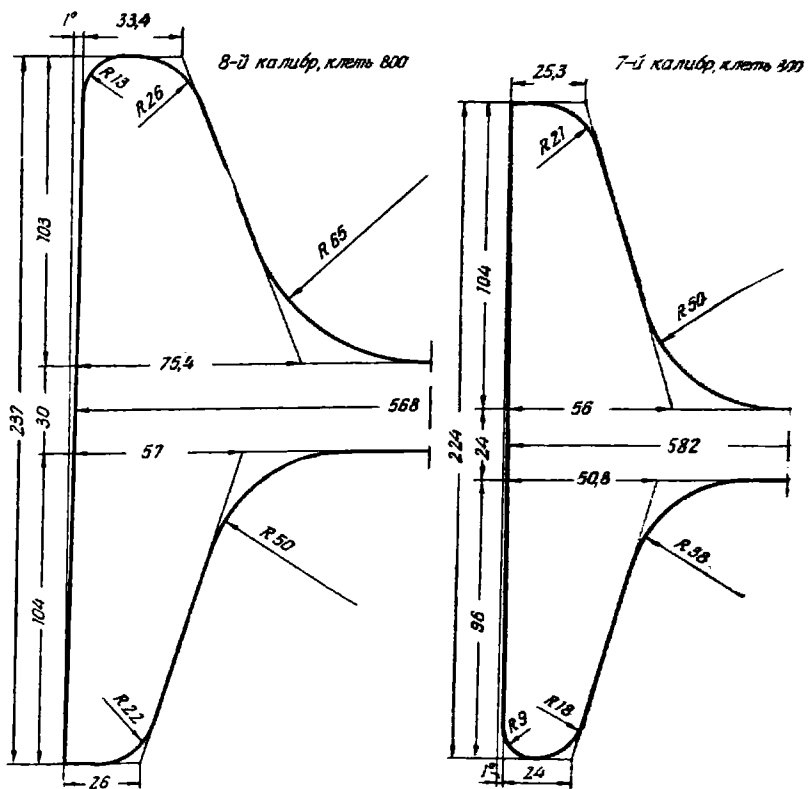


Рис. 130. Калибровка валков для прокатки балки № 60



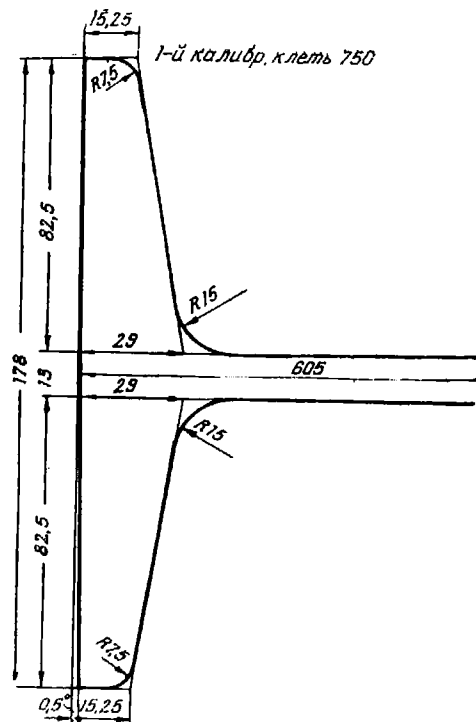
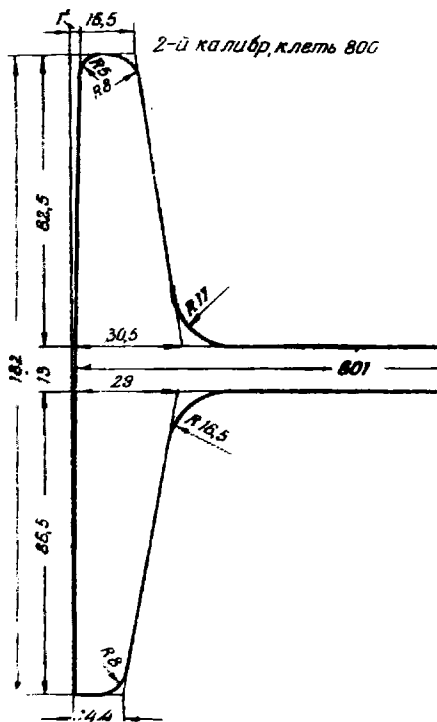
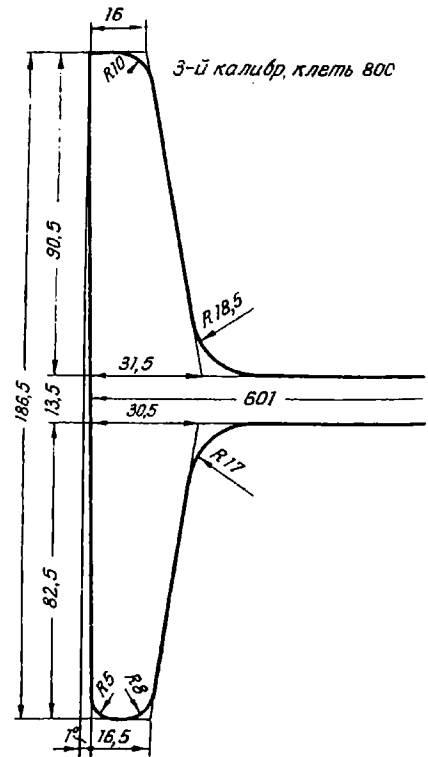
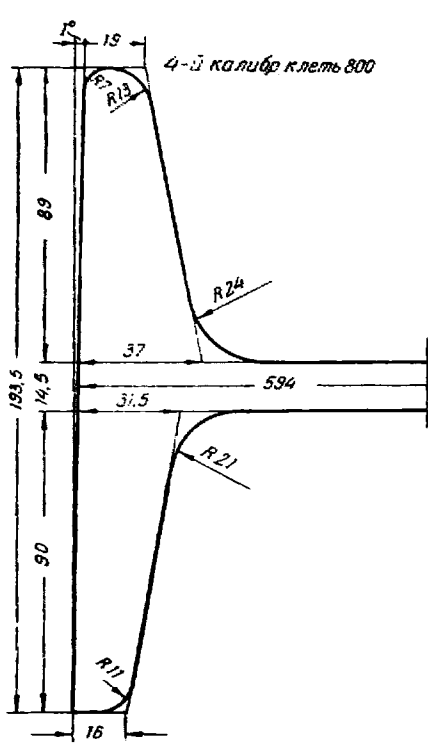


Рис 130. Продолжение. Калибровка валков для прокатки балки № 60

В табл. 11 приведены расчетные данные калибровки балки № 60, прокатываемой на рельсобалочном стане.

Коэффициенты вытяжки постепенно увеличивают от чистового калибра к черновым; коэффициент средней вытяжки за проход равен 1,15.

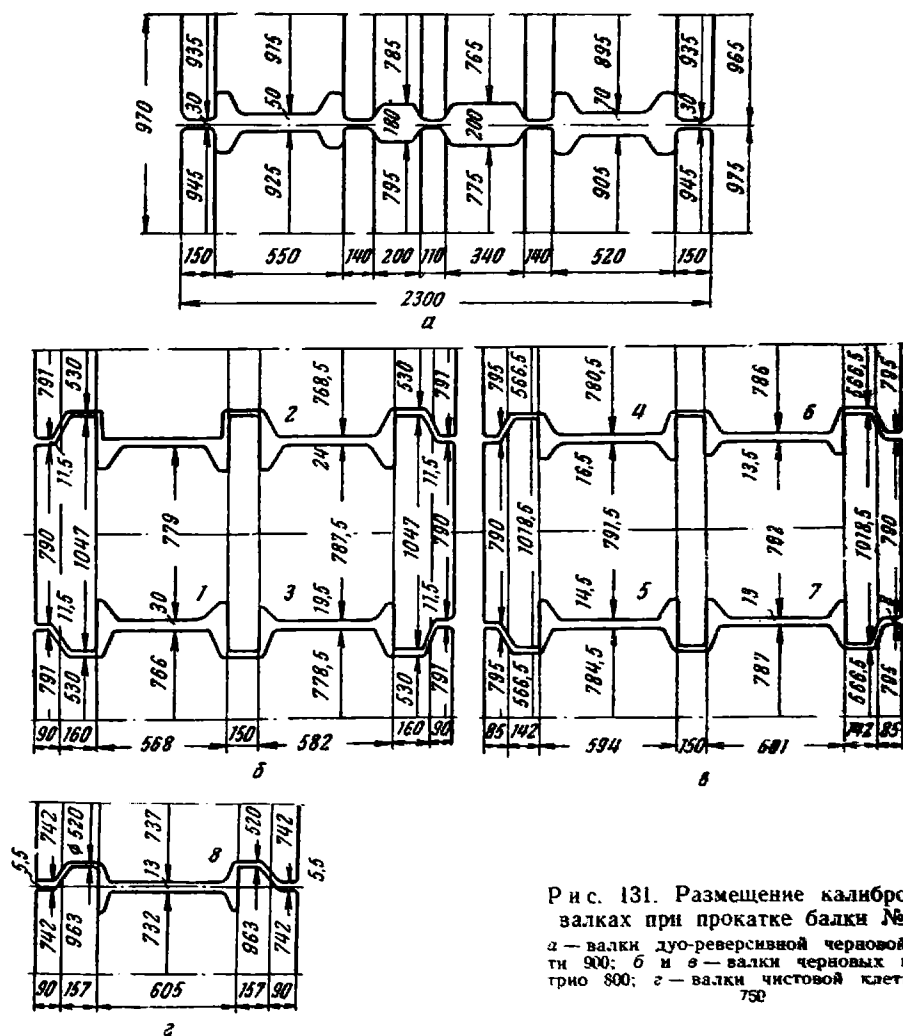


Рис. 131. Размещение калибров на валках при прокатке балки № 60:

а — валки дуо-реверсивной черновой клетки 900; б и в — валки черновых клеток 800; г — валки чистовой клетки дуо-реверсивной 750.

Во всех калибрах коэффициент вытяжки шейки меньше, чем фланцев, но разница их настолько мала, что практически шейка и фланцы деформируются одинаково.

Фланцы обрабатываются неравномерно: открытые получают значительное боковое обжатие (до 1,4), а закрытые — весьма слабое (не более 1,10). При этом открытые фланцы обжимаются почти равномерно по всей высоте с небольшим превышением у вершины фланцев; закрытые фланцы, наоборот, сильнее обжимаются у оснований, чем у вершин. В последних пяти калибрах (по ходу прокатки) фланцы балки входят в закрытые фланцы калибра на значительную глубину без бокового обжатия.

Слабое боковое обжатие закрытых фланцев компенсируется в некоторой мере высотной осадкой. Поэтому высота закрытых фланцев почти во всех калибрах уменьшается на 8 мм, включая и высотное об-

Расчетные данные калибровки балки № 60

Номер калибра	Размеры фланцев				Деформация фланцев				Размеры шейки			Деформация шейки			Высота катра	Общая высота $H_{\Sigma H1}$	Площадь катра $F_{катра}$	Коэффициент вытяжки $\mu_{ш}$	Коэффициент вытяжки $\mu_{ш}$
	высота фланца h , мм	толщина u , мм	толщина b , мм	толщина u , мм	площадь фланца $F_{фл}$, мм ²	коэффициент вытяжки $\mu_{фл}$ II ф.з	утяжка фланца u , мм	высота фланца h , мм	прямление u , мм	толщина d , мм	площадь шейки $F_{ш}$, мм ²	коэффициент вытяжки $\mu_{ш}$	обжатие u , мм	уширение u , мм					
1	Закрытые	82,5	29	15,25	1825	1,06	—	4	0	605	13	7865	1,0	0	4	178	1,02	15170	1,025
	Открытые	82,5	29	15,25	1825	1,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Закрытые	82,2	30,5	16,5	1940	1,11	8	—	4	601	13	7813	1,04	0,5	0	182	1,03	15450	1,05
	Открытые	86,5	29	14,4	1875	1,035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Закрытые	90,5	31,5	16	2150	1,16	—	7,5	1,5	601	13,5	8113	1,06	1,0	7	186,5	1,04	16295	1,10
	Открытые	82,5	30,5	16,5	1940	1,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Закрытые	89	37	19	2490	1,16	8	—	1,0	594	14,5	8608	1,14	2	0	193,5	1,05	17880	1,15
	Открытые	90	31,5	16	2140	1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Закрытые	97	40,5	19	2885	1,24	8	—	1,0	594	16,5	9801	1,16	3	12	202,5	1,05	20550	1,19
	Открытые	89	37	19	2490	1,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	Закрытые	96	50,8	24	3590	1,18	8	—	1,0	582	19,5	11349	1,22	4,5	0	212,5	1,06	24300	1,22
	Открытые	97	41	19	2910	1,24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	Закрытые	104	56	25,3	4225	1,33	8	—	1,0	582	24	13968	1,22	6,0	14	224	1,06	29600	1,25
	Открытые	96	50,8	24	3590	1,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Закрытые	103	75,4	33,4	5600	1,09	2	—	—	568	30	17040	1,29	8	18	237	1,06	36590	1,26
	Открытые	104	57	26	4320	1,41	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Фасонная заготовка	Закрытые	105	80	36	6090	—	—	—	—	550	38	21960	—	—	—	250	—	46320	—
	Открытые	105	80	36	6090	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

жатие и утяжку. Приращение высоты открытых фланцев принято по 1 мм, за исключением предчистового калибра, где оно равно 4 мм. Уширение во всех калибрах больше обжатия шейки и, следовательно, прокатка балки сопровождается поперечным растяжением шейки, по крайней мере, в нечетных калибрах. Благодаря этому достигается сокращение расхода электроэнергии и уменьшение давления металла на валки.

При прокатке в чистовом калибре шейка профиля подвергается не только поперечному растяжению, но и продольному, так как она при этом совершенно не обжимается.

Балка № 24 облегченного типа по сравнению с обычной балкой № 24 имеет меньшую толщину шейки и фланцев. Балку прокатывают

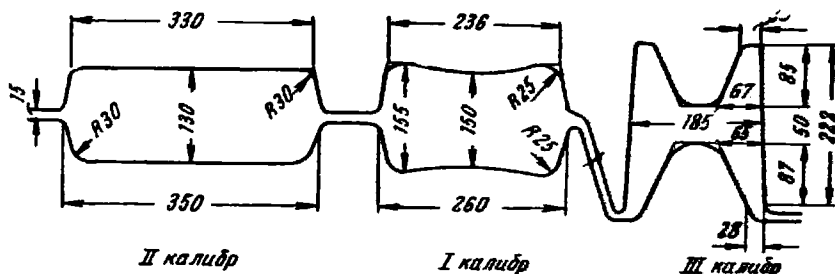


Рис. 132. Схема получения черного профиля балки № 24 облегченного типа

на рельсобалочном остане, имеющем сменную чистовую универсальную клеть.

Исходной заготовкой для прокатки балки № 24 является блюм 250×250 мм, который прокатывают в дуо-реверсивной клетке рельсобалочного стана в черновой профиль (рис. 132) за семь проходов. При этом за первые два прохода из ящичного калибра получают прямоугольную заготовку 190×270 мм для последующей прокатки в разрезном калибре.

После первого прохода в разрезном калибре полосу кантуют на 180° и прокатывают в том же калибре четыре раза, причем последний проход является холостым. Обжатия в разрезном калибре распределены очень неравномерно и, вероятно, можно было бы сократить общее число проходов в дуо-реверсивной клетке с семи до пяти. В результате прокатки в этой клетке получают черновой двугавровый профиль шириной 185 мм, высотой 212 мм, толщиной шейки 40 мм и средней толщиной фланцев 47,5 мм.

Дальнейшую прокатку балки осуществляют за девять проходов в закрытых балочных калибрах, из которых пять калибров размещено в первой черновой клетке трио, три калибра — во второй черновой клетке трио и последний чистовой калибр — в универсальной клетке. Использование универсальной клетки для прокатки балки с более тонкой стенкой значительно облегчает получение профиля, так как в этой клетке меньше отдача валков и проще регулировать высоту фланцев.

Прокатку балки № 24 облегченного типа осуществляют с большими коэффициентами вытяжки, чем прокатку обычной балки того же номера.

При прокатке облегченной балки получают также большее боковое обжатие, чем при прокатке обычной балки того же номера. Особенно сильно обжимают края фланцев балки в открытых фланцах калибра, где коэффициенты бокового обжатия достигают 1,50—1,65. У

основания фланцы балки в открытых фланцах калибра обжимают меньше (максимальный коэффициент бокового обжатия не превышает 1,45).

В закрытых фланцах калибра фланцы балки обжимают намного меньше и обжатие сосредотачивается главным образом у основания. Края фланцев балки в закрытых фланцах калибра совершенно не получают бокового обжатия или имеют небольшое боковое обжатие. В девятом калибре применено большое боковое обжатие краев фланцев балки в закрытых фланцах калибра (коэффициент бокового обжатия равен 1,28). В результате этого будет наблюдаться большая осадка фланцев по высоте. В чистовом калибре универсальной клетки боковое обжатие верхних и нижних фланцев предусмотрено одинаковым, причем края фланцев обжимаются несколько больше, чем их основания.

Утяжка фланцев балки в закрытых фланцах калибров изменяется с 11 до 7 мм. Эта утяжка несколько больше, чем в обычной балке того же номера. Приращение высоты фланцев балки в открытых фланцах калибра отсутствует, за исключением чистового калибра, в котором для верхних и нижних фланцев оно составляет 0,5 мм.

Обжатие шейки при прокатке облегченной балки во всех калибрах меньше, чем при прокатке обычной балки того же номера.

Для обеспечения необходимой температуры облегченной балки в конце прокатки исходные блюмы нагревают на 20—30 град выше, чем для обычной балки № 24.

Выше было указано, что прокатка широкополочных балок высотой до 1000 мм и шириной полок до 400 мм и более осуществляется на универсальном балочном стане (см. рис. 97 и 98). Исходной заготовкой для прокатки таких балок является двутавровый профиль, у которого отношение площадей полки и шейки примерно такое же, как и у готовой балки. Вследствие этого на балочном стане обеспечивается равномерное уменьшение размеров шейки и полки.

В черновой линии стана осуществляется 7—15 проходов. При прокатке во вспомогательной клетки наклонные фланцы (см. рис. 98) осаживаются скошенными буртами горизонтальных валков, причем шейка профиля балки не соприкасается с валками. В четырехвалковом калибре главной универсальной клетки стана происходит всестороннее обжатие шейки и полки балки.

В чистовой линии стана, состоящей из одной универсальной клетки, за один проход полкам придается вертикальное положение (см. рис. 98).

Для успешной прокатки балок на универсальном стане необходимо соблюдать одинаковые коэффициенты вытяжки шейки и фланцев. Если коэффициент вытяжки шейки окажется больше, чем фланцев, то балка будет иметь волнистую шейку; если коэффициент вытяжки шейки будет меньше, чем фланцев, то это может привести к образованию волны на полках или к появлению трещин на шейке.

При большой разнице коэффициентов вытяжки шейки и полки может нарушиться целостность металла и прокатка станет невозможной. Чтобы обеспечить нормальный процесс прокатки балок на универсальном стане, необходимо соблюдать одинаковые относительные изменения площадей шейки $F_{ш}$ и полки $F_{п}$, т. е.

$$\frac{F_{ш0}}{F_{ш1}} = \frac{F_{п0}}{F_{п1}} = \mu$$

или

$$\frac{d_0 B_0}{d_1 B_1} = \frac{t_0 h_0}{t_1 h_1} = \mu,$$

где $F_{ш_0}$ и $F_{п_0}$ — площади поперечного сечения соответственно шейки и полки до прохода;

$F_{ш_1}$ и $F_{п_1}$ — то же, после прохода.

Вследствие того, что при прокатке балок в универсальной клети ширина шейки и полок изменяется незначительно, приближенно можно принять $B_0 = B_1$ и $h_0 = h_1$. Тогда

$$\frac{d_0}{d_1} = \frac{t_0}{t_1} = \mu.$$

Отсюда

$$\frac{d_0}{t_0} = \frac{d_1}{t_1} = \text{const.}$$

Таким образом, условие постоянства относительного изменения площадей заменено условием постоянства отношения толщины шейки к

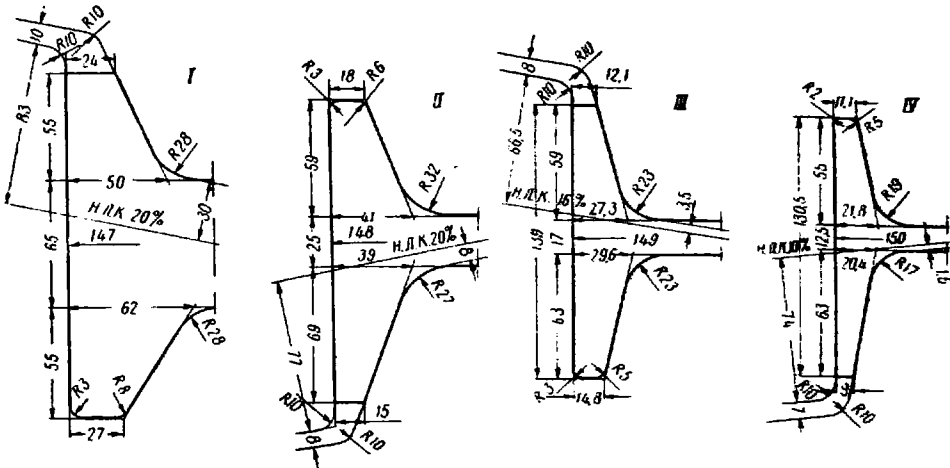


Рис. 133. Косорасположенные калибры для прокатки балки № 16

толщине полки. Это условие должно соблюдаться в каждом проходе начиная от чернового и кончая отделочным.

Так как

$$d_0 = d_1 + \Delta d \text{ и } t_0 = t_1 + \Delta t,$$

можно записать

$$\frac{d_1 + \Delta d}{t_1 + \Delta t} = \frac{d_0 - \Delta d}{t_0 - \Delta t}.$$

Отсюда после преобразований получаем

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_n}{t_n} = \text{const.}$$

Это уравнение является основным для расчета режима обжатий при прокатке балок на универсальном стане. Задавшись для любого прохода обжатием шейки, легко найти обжатие полок.

В последнее время получает распространение схема прокатки балок, в которой применяют закрытые балочные калибры с наклоном к горизонтальной линии (рис. 133).

Исследование деформации металла в косорасположенных балочных калибрах было проведено П. И. Полухиным и др. Установлено, что различия в условиях деформации металла в косорасположенных балочных калибрах по сравнению с обычными определяются главным образом условиями трения металла о боковые стенки калибра.

В калибрах без наклона, но с диагональным расположением разъемов существенно изменяются прежде всего условия трения наружных поверхностей фланцев прокатываемой полосы о боковые стенки калибра. Если в калибрах с обычным (односторонним) расположением разъемов происходит защемление полосы между неподвижными относительно друг друга стенками калибра (принадлежащими одному валку), то при диагональном расположении разъемов полоса прокатывается между подвижными относительно друг друга стенками калибра (принадлежащими двум валкам). В результате расход электроэнергии и удельное давление металла на валки при прокатке уменьшаются и облегчается выход полосы из калибра. Кроме того, в диагональных калибрах изменяются скоростные и силовые условия деформации.

Однако в диагональных калибрах возникают нежелательные осевые усилия, для восприятия которых на валках предусматривают упорные бурты. Чтобы уменьшить осевые усилия и увеличить срок службы упорных буртов, диагональные калибры располагают с наклоном к оси валков.

Кроме того, наклон калибра создает благоприятные условия для интенсивного обжата фланцев балки в открытых фланцах калибра, уменьшает износ боковых стенок и позволяет при переточке валков восстанавливать первоначальные размеры калибра. Поэтому срок службы валков с косорасположенными калибрами увеличивается в 2—2,5 раза по сравнению с обычным расположением калибров. Угол наклона калибра влияет на скоростные и силовые условия прокатки, а следовательно, на расход электроэнергии, удельное давление и на заполнение калибра металлом.

С увеличением угла наклона калибра увеличивается приращение высоты открытых фланцев при одновременном возрастании утяжки закрытых фланцев, причем абсолютное приращение высоты открытых фланцев в несколько раз больше абсолютной утяжки закрытых фланцев. Поэтому при косой калибровке имеется возможность применять исходную заготовку с меньшей высотой, чем это требуется для прокатки того же профиля по обычной калибровке.

На величину осевого усилия, возникающего при прокатке в косорасположенных калибрах, влияет не только изменение угла наклона калибра, но и режим обжата фланцев и шейки профиля. С увеличением обжата открытых фланцев (при прочих равных условиях) осевое усилие возрастает, а при повышении обжата шейки уменьшается. Для уменьшения осевых усилий применяют также дополнительный наклон открытых фланцев калибра, благодаря чему фланцы профиля прокатываются в отогнутом положении.

Измерение скручивания профиля при прокатке в косорасположенных калибрах показало, что с увеличением угла наклона калибра скручивание возрастает. Абсолютное скручивание профиля при прокатке даже в калибрах с наклоном 25° весьма незначительное и легко исправляется проводковой арматурой.

Косую калибровку для прокатки балок следует прежде всего рекомендовать для средних и малых профилей, причем угол наклона в первых черновых калибрах целесообразно принимать в пределах $20—25^\circ$, уменьшая его в предчистовых и чистовых калибрах.

В некоторых случаях (например, на непрерывных сортовых станах) для прокатки двутавровых балок целесообразно применять диагональные калибры без наклона, за исключением чистового, который следует располагать с наклоном к оси валка. Прокатка балок в диагональных калибрах без наклона требует меньшего расхода электроэнергии и со-

проводится меньшим давлением металла на валки. Кроме того, в этом случае не требуется осуществлять кантовку полосы при прохождении ее между клетями, что особенно важно для обеспечения нормальной работы непрерывных станов.

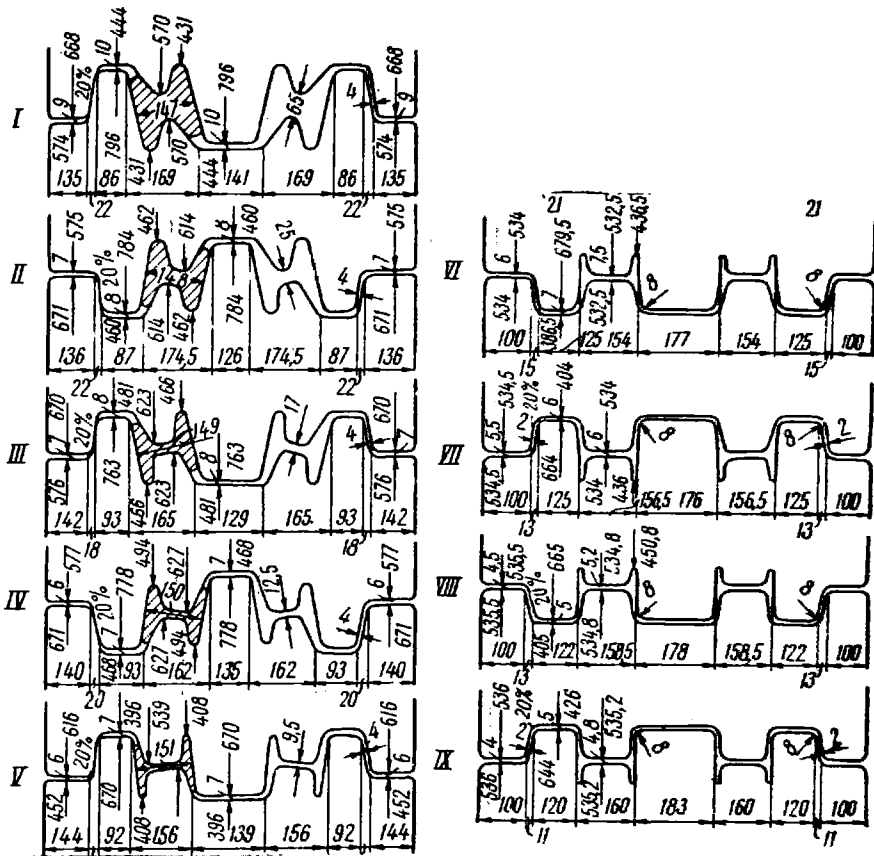


Рис. 134. Калибровка валков для прокатки балки № 16 с косорасположенными калибрами (стан 500 кросс-коунтри; I—IX — номера клеток)

На рис. 134 представлена калибровка балки № 16 с косорасположенными калибрами для стана 500 кросс-коунтри.

Калибровка валков для прокатки швеллеров

Швеллеры прокатывают по двум способам: 1) с прямыми полками; 2) с разворотом полок по радиусу.

К первому способу прокатки швеллеров относят прокатку швеллеров по балочному методу и прокатку швеллеров с увеличенным (до 15—20%) выпуском полок и сгибанием стенки (рис. 135, а и б). Ко второму способу прокатки швеллеров относят прокатку швеллеров в калибрах развернутой системы с постепенным сгибанием полок (135, в).

Каждый из этих способов прокатки швеллеров имеет преимущества и недостатки. Выбор способа прокатки определяется конкретными условиями производства.

При прокатке швеллеров по балочному методу разрезной и первые 1—2 черновых калибра очень часто используют для прокатки швеллеров

и балок одного и того же номера. При прокатке в последующих калибрах ложные фланцы (противофланцы), предназначенные для «питания» действительных фланцев и уменьшения охлаждения углов швеллера, полностью осаживаются в предчистовом и чистовом калибрах (рис. 135, а).

Применение для швеллеров балочного метода калибровки вызывает необходимость использовать сравнительно высокую исходную заготовку и энергичные обжатия ложных фланцев, что увеличивает работу трения металла о стенки калибра, износ калибров и расход энергии. Этому же способствует значительная разность катающих диаметров вал-

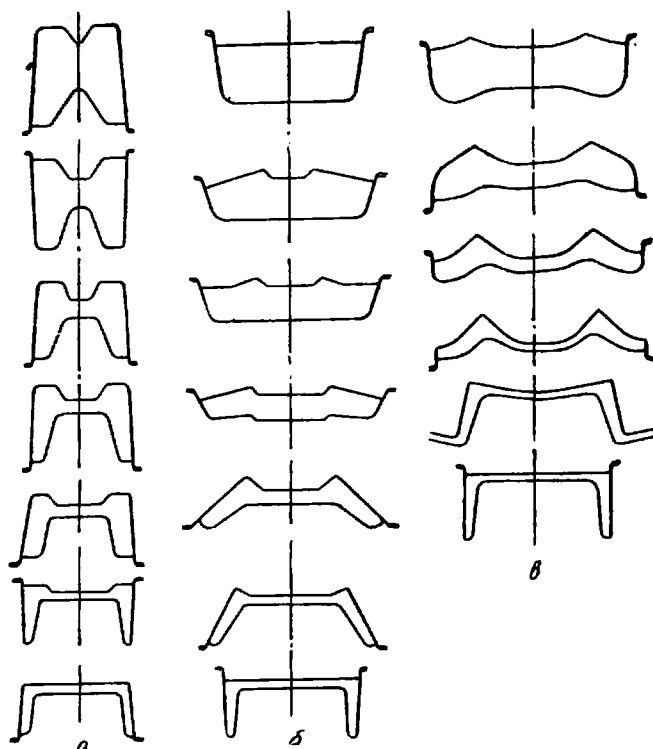


Рис. 135. Схемы калибровки валков для прокатки швеллеров

ков в различных частях калибра. Ввиду малого выпуска боковых стенок калибра при переточке валков приходится снимать большое количество металла, что сокращает срок их службы и увеличивает расход.

В настоящее время ввиду специализации станов и возможности прокатывать швеллеры большими партиями калибровка швеллеров по балочному методу не применяется.

Система калибров с увеличенным (до 15—20%) выпуском полок и сгибанием стенки обеспечивает сохранение прямого угла между полкой и стенкой. Применение этих калибров несколько уменьшает глубину вреза в валки, что повышает прочность валков и уменьшает съем металла при переточке. Последнее увеличивает срок службы валков и количество прокатываемого металла одним комплектом валков. Кроме того, увеличение выпуска полок и изгиб стенки позволяют применять более интенсивные обжатия за проход, что весьма важно для освоения прокатки облегченных швеллеров.

В развернутой калибровке применены кривополючные и прямополючные (предчистовой и чистовой) калибры. В зависимости от размера профиля число прямополючных калибров (кроме чистового) может быть различно (обычно один или два). Развернутая система калибров обеспечивает значительное повышение интенсивности деформации за счет увеличения доли прямого обжатия, существенное уменьшение глубины вреза ручьев в валки и снижение съема металла при их переточке и т. д.

Однако переход от кривополючного развернутого калибра к прямополючному характеризуется значительным формоизменением и требует применения вводных пропусков для удержания полосы в прямополючном калибре, что иногда затрудняет захват полосы валками; последнее снижает технологичность данной системы калибров.

Для использования преимуществ развернутой калибровки при прокатке швеллеров на современных высокопроизводительных станах предложена система развернутых калибров, предусматривающих постепенное сгибание полок при переходе от развернутого до горизонтали кривополючного калибра к прямополючному. Сгибание полок осуществляется постепенно с применением ряда переходных кривополючных калибров. В этих условиях обеспечивается более плавное формоизменение профиля и облегчается захват полосы валками.

При расчете калибровки валков для прокатки швеллеров необходимо прежде всего установить число проходов и коэффициенты вытяжки фланцев и шейки профиля в каждом проходе. Вследствие того, что устанавливается общий коэффициент вытяжки действительных и ложных фланцев, возникает необходимость разделения общей площади фланцев на площадь действительных и площадь ложных фланцев.

На основании анализа заводских калибровок валков для прокатки швеллеров А. П. Виноградов установил, что коэффициент вытяжки действительного и ложного фланцев равен коэффициенту вытяжки шейки. Отклонение от этого правила наблюдается в чистовом калибре, где для обеспечения лучшего выполнения фланцев коэффициент вытяжки для шейки принимают меньше, чем для фланцев.

По данным А. П. Виноградова, отношение $\frac{F_{л}}{F_{д}+F_{л}} \cdot 100\%$ в первом и последующих калибрах следует выбирать в зависимости от номера швеллера:

Номер швеллера	$\frac{F_{л}}{F_{д}+F_{л}} \cdot 100\%$								
30—18	6	9	12	18	24	30	36	42	48
16—12	6	12	18	24	30	36	42	48	—
10—5	8	16	24	32	40	48	56	—	—

Пользуясь этими данными, определяют площади ложных и действительных фланцев калибров до такого калибра, в котором общая площадь равняется площади действительного фланца. В остальных калибрах фланцы являются почти симметричными и одинаковыми по площади. Такие калибры могут быть использованы также и для прокатки балок.

Уширение в калибрах при прокатке швеллеров определяют также по эмпирической формуле

$$B = 0,01B_1 + (n - 1),$$

где B_1 — ширина чистового калибра;

n — порядковый номер калибра, считая от чистового.

Толщину ложных фланцев у основания принимают в зависимости от толщины действительных. В разрезном калибре толщину ложных и действительных фланцев у основания принимают одинаковой, а в последнем калибре, в котором сохраняются ложные фланцы, толщину у

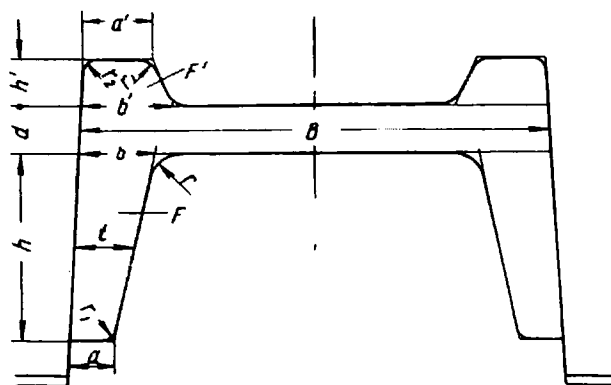


Рис. 136. Конструкция швеллерного калибра

основания принимают в 1,5 раза больше толщины действительных фланцев. В промежуточных калибрах толщина ложных фланцев у основания изменяется равномерно от b до $1,5 b$ (рис. 136).

Толщину ложного фланца у края определяют по формуле

$$a_n = (0,5 \div 0,4) b_n,$$

где b_n — толщина ложного фланца у основания.

Высоту ложного фланца определяют по формуле

$$h_n = \frac{2F_n}{a_n + b_n},$$

где F_n — площадь ложного фланца;

a_n — толщина ложного фланца у края.

Радиусы закруглений в швеллерном калибре принимают согласно рис. 136: $r = t$, $r_1 = (0,5 \div 0,4) r$, $r_2 = 0,5r_1$.

Выпуск наружных стенок чистового швеллерного калибра принимают равным 0,5—1,0%, а в остальных калибрах 5—8%.

Форма швеллера позволяет избежать чередования открытых и закрытых фланцев. Для лучшего образования фланцев и более быстрого формирования профиля несколько открытых калибров следуют один за другим. Так как точный размер фланца можно получить только в закрытом калибре, в котором он обжимается по высоте, при прокатке швеллеров для регулирования высоты фланцев приходится применять контрольные калибры.

Чаще всего применяют 1—2 контрольных калибра. Первым контрольным является предчистовой калибр, который выполняют закрытым (см. рис. 135, а) или полузакрытым (рис. 137). Второй контрольный калибр применяют после разрезного; он предназначен для устранения неточности по высоте фланцев вследствие колебаний размеров заготовки. При применении разрезного калибра открытого типа обеспечивается получение точной высоты фланцев.

При расчете калибровки валков для прокатки швеллеров сначала выбирают способ прокатки, что определяет метод расчета калибров и

число проходов. По практическим данным принимают коэффициенты деформации по проходам и элементам профиля применительно к данным конкретным условиям, а также рассчитывают уширение. Зная ко-

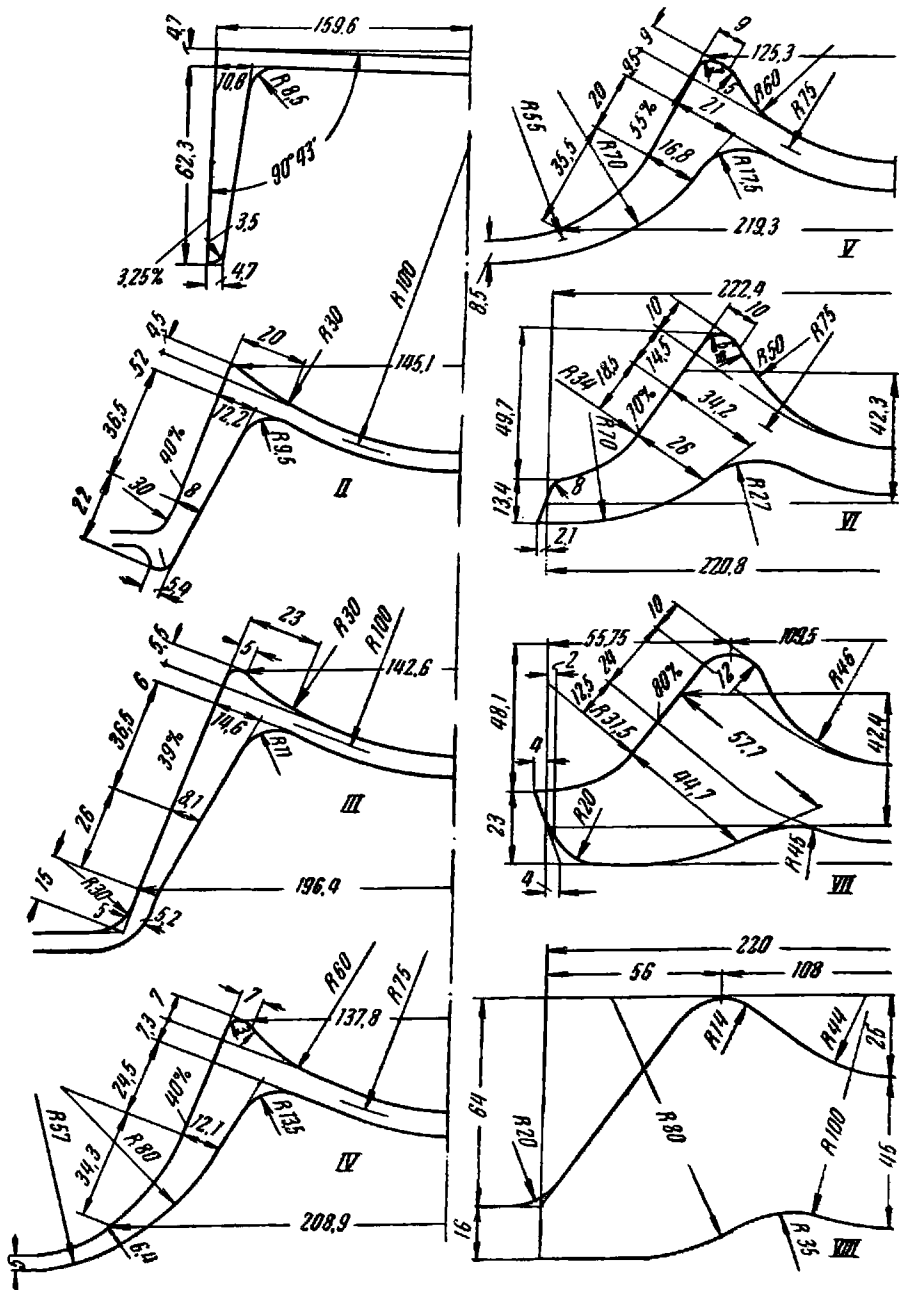


Рис. 137. Калибровка валков для прокатки швеллера № 16

эффиценты деформации профиля и его элементов по проходам, рассчитывают площади профиля и его элементов начиная от чистового калибра.

Метод расчета развернутой калибровки швеллеров способом постепенного сгибания основан на равенстве коэффициентов вытяжки по эле-

ментам профиля и расчете элементов профиля по средним линиям калибра.

Метод расчета калибров при равенстве коэффициентов деформации элементов профиля (стенки и полок) уменьшает перемещение металла из одной части калибра в другую в процессе деформации, сокращает износ калибров и расход энергии.

Для определения коэффициентов вытяжки по проходам и элементам профиля сначала выбирают линейные обжатия стенки, а затем рас-

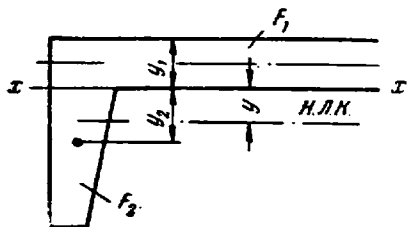


Рис. 138. Определение центра тяжести швеллерного калибра

считывают коэффициенты вытяжки стенки, которые принимают и для полки.

Определение элементов переходных сечений по средним линиям калибра позволяет постепенно разворачивать профиль по ходу калибровки (см. рис. 135) и находить наиболее благоприятные формы переходных кривополочных калибров (при прокатке швеллера № 16 такими калибрами являются IV и V).

За среднюю линию швеллерного калибра принимают линию, совпадающую с осью стенки швеллера. По этой линии рассчитывают уширение стенки.

Кривополочные переходные калибры позволяют постепенно отгибать полки на определенный угол. Углы наклона наружных граней прямополочных калибров и углы отгиба полок выбирают, исходя из задачи поставленной о характере деформации металла в фасонных калибрах.

Для выполнения чертежа валков необходимо предварительно определить нейтральную линию калибров.

В симметричных калибрах нейтральная линия проходит по середине высоты калибра. К таким калибрам относят прямоугольные, квадратные, ромбические, овальные, круглые и т. п. Для несимметричных калибров эту линию определяют несколькими способами.

Наиболее распространенный способ определения нейтральной линии основан на нахождении центра тяжести профиля, который определяют опытом или расчетом. В первом случае для определения центра тяжести профиля изготавливают шаблон из картона. Подвешивая последний за разные места при помощи нити, находят центр тяжести.

При определении центра тяжести расчетом профиль делят на элементарные участки и для каждого из них определяют центр тяжести и статический момент.

Тогда ордината центра тяжести калибра

$$y = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n},$$

где M_1, M_2, \dots, M_n — статические моменты элементарных участков калибра;

F_1, F_2, \dots, F_n — площади элементарных участков калибра.

При определении центра тяжести швеллерного калибра (рис. 138) последний делят на шейку и два фланца. Тогда ордината центра тяжести калибра

$$y = \frac{M_1 + 2M_2}{F_1 + 2F_2} = \frac{F_1 y_1 + 2F_2 y_2}{F_1 + 2F_2},$$

где M_1 и M_2 — статические моменты шейки и фланца;

F_1 и F_2 — площади шейки и фланца;

y_1 и y_2 — ординаты центра тяжести шейки и фланца.

Для калибров, не симметричных относительно горизонтальной оси, этот способ не всегда дает удовлетворительные результаты. В связи с этим для швеллера иногда применяют следующий способ определения нейтральной линии (рис. 139).

Профиль делят на три прямоугольника и для каждого из них определяют нейтральную линию. Для крайних прямоугольников (полок) и

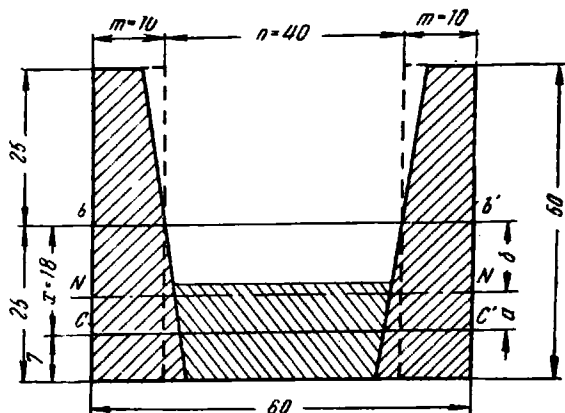


Рис. 139. Определение нейтральной линии в швеллерном калибре

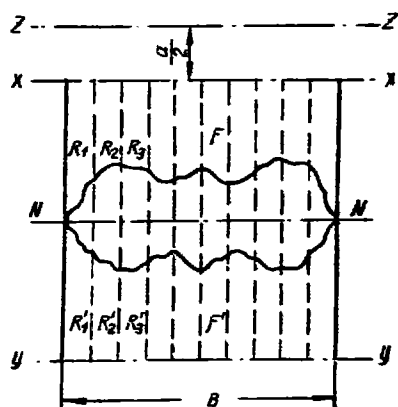


Рис. 140. Определение нейтральной линии калибра по катающим диаметрам валков

среднего прямоугольника (шейки) нейтральные линии $b-b'$ и $c-c'$ проходят посередине высоты. Расстояние между обеими нейтральными линиями $x = 25 - 7 = 18$ мм.

Рабочие поверхности для крайних прямоугольников пропорциональны $2m$, а для среднего прямоугольника — n . Поэтому нейтральная линия калибра NN делит расстояние x на части, обратно пропорциональные рабочим поверхностям:

$$a = \frac{2m}{n + 2m} x \quad \text{и} \quad b = \frac{n}{n + 2m} x,$$

где

$$x = a + b.$$

В результате получаем $a = 6$ мм и $b = 12$ мм.

Более общий метод определения нейтральной линии состоит в следующем. Допустим, калибр имеет произвольную форму (рис. 140). Разделим его на t элементарных вертикальных полос. Рабочие (катающие) диаметры верхнего вала для каждой полосы обозначим через $D_1, D_2, D_3, \dots, D_m$ и для нижнего соответственно $D'_1, D'_2, D'_3, \dots, D'_m$.

Если прокатка ведется без давления, то из условия равенства средних скоростей валков

$$\frac{\pi n}{60} \cdot \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_m}{m} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{D'_1 + D'_2 + D'_3 + \dots + D'_m}{m}$$

следует, что

$$\frac{\Sigma D}{m} = \frac{\Sigma D'}{m}, \text{ т.е. } D_{\text{ср}} = D'_{\text{ср}}.$$

Для определения средних рабочих диаметров $D_{\text{ср}}$ и $D'_{\text{ср}}$ проведем две произвольно расположенные горизонтальные оси $x-x$ и $y-y$. При помощи планиметра или другим способом определяем площади F и F' . Так как $F = BR_m$ и $F' = BR'_m$, находим радиусы

$$R_m = \frac{F}{B} \text{ и } R'_m = \frac{F'}{B}.$$

Предположим, что получили $R'_m > R_m$. Тогда разность $R'_m - R = a$. Величину $a/2$ откладываем выше оси $x-x$ и проводим новую ось $z-z$.

Разделив расстояние между осями $y-y$ и $z-z$ пополам, получаем положение нейтральной линии калибра $N-N$, совпадающей со средней линией валков.

Если нужно применить верхнее или нижнее давление в калибре, то нейтральную линию смещают соответственно вниз или вверх.

Описанный метод определения нейтральной линии калибра так же, как и предыдущие, не является вполне совершенным.

Калибровка валков для прокатки рельсов

Рельсы прокатывают во фланцевых калибрах, которые располагают в валках горизонтально или наклонно. Рельсовые калибры несимметричны относительно вертикальной оси. При прокатке полосы в таких калибрах со стороны подошвы рельса возникает большее боковое давление, чем со стороны головки, что приводит к осевому смещению валков. Последнее приводит к увеличению толщины подошвы и уменьшению толщины головки (в открытых фланцах калибра). Чтобы предотвратить это явление, на валках предусматривают опорные замки (рабочие конусы).

Сложная форма и несимметричность рельсового профиля обуславливают его прокатку с неравномерными обжатиями. При этом надо стремиться к тому, чтобы неравномерная деформация в возможно большей степени осуществлялась в черновых калибрах, когда металл обладает наибольшей пластичностью и наименьшим сопротивлением деформации. В последних калибрах прокатка рельсов должна осуществляться по возможности с наименьшей неравномерностью деформации.

Для прокатки рельсов применяют несколько схем калибровки, что связано со специфическими особенностями производства их на каждом заводе. Несмотря на это, все схемы имеют общие особенности [IV-7]. Все калибры, применяемые для прокатки рельсов, по форме разделяют на два типа: 1) тавровые, 2) рельсовые.

Тавровые калибры предназначены для образования подошвы рельсов. Первый из рельсовых калибров является разрезным. Обычно число тавровых калибров 3—4, а рельсовых 5—7.

В тавровых и в первом разрезном калибрах формируется черновой рельсовый профиль. Эти калибры являются подготовительными. Осталь-

ные рельсовые калибры придают полосе окончательную форму и размеры готового профиля в горячем состоянии.

Обычно при прокатке рельсов по различным калибровкам общая вытяжка полосы получается не больше семикратной. Средний коэффициент вытяжки за проход колеблется в пределах 1,20—1,22, а коэффициент вытяжки в чистовом калибре составляет 1,07—1,09.

На рис. 141 представлены различные схемы калибровки рельсов. В качестве подготовительных раньше применяли тавровые калибры. Уширенные кверху (схема I). Применение таких тавровых калибров, врезанных в нижний валок, обуславливалось стремлением располагать выводные проводки так, чтобы они опирались на нижний валок; установка выводных проводок на верхнем валке связана с большими трудностями. Прокатка полосы в этих калибрах была сопряжена с большими неудобствами, так как полоса, уширенная кверху, недостаточно устойчива при задаче в калибр. Поэтому в дальнейшем начали применять тавровые калибры, уширенные книзу.

Принципиальным изменением способа прокатки рельсов является схема Бартшерера (схема II), который доказал, что если исходный блюм со стороны подошвы деформировать разрезным гребнем, то качество рельса значительно повышается. Благодаря внедрению в исходное сечение разрезного гребня и последующего разгибания будущих полок подошвы подкорковые пузыри и столбчатые кристаллы, расположенные перпендикулярно к граням слитка, изменяют ориентировку и в поперечном сечении рельса они оказываются расположенными параллельно основанию подошвы. Вследствие этого локализуются поверхностные трещины на подошве и значительно сокращается брак рельсов при копровых испытаниях. Рельсы, прокатанные по методу Бартшерера, дают более высокие показатели при испытаниях на прогиб подошвы.

Первоначальная схема калибровки рельсов по методу Бартшерера не получила распространения вследствие того, что применяли высокую прямоугольную заготовку. Такая заготовка затрудняла процесс ее захвата валками. Однако идея Бартшерера в дальнейшем была использована при конструировании тавровых калибров.

Схема III предназначена для прокатки рельсов за девять проходов, из которых четыре прохода производят в тавровых калибрах, а остальные в рельсовых. Для осуществления значительных боковых обжатий при прокатке и уменьшения износа первый разрезной рельсовый калибр стали врезать в валки в наклонном положении. Целесообразность такого расположения рельсового калибра была доказана практически, что привело к внедрению косой калибровки рельсов (схема IV).

Применение косой калибровки для прокатки рельсов позволило сократить число проходов, уменьшить износ валков и увеличить срок их службы.

Прокатчиками Кузнецкого металлургического комбината было предложено применить для прокатки рельсов калибры системы овал — квадрат (схема V).

Благодаря прокатке в овальном калибре, а затем в квадратном происходит обновление ребер полосы, в результате которого металл ребер блюма переходит на подошву и головку профиля. Ребра блюмов обычно менее или совсем не поражены поверхностными дефектами; структура металла в этих участках имеет мелкозернистое и плотное строение.

При расчете калибровки рельсов сначала выбирают схему прокатки и число проходов в зависимости от типа рельса, мощности электродви-

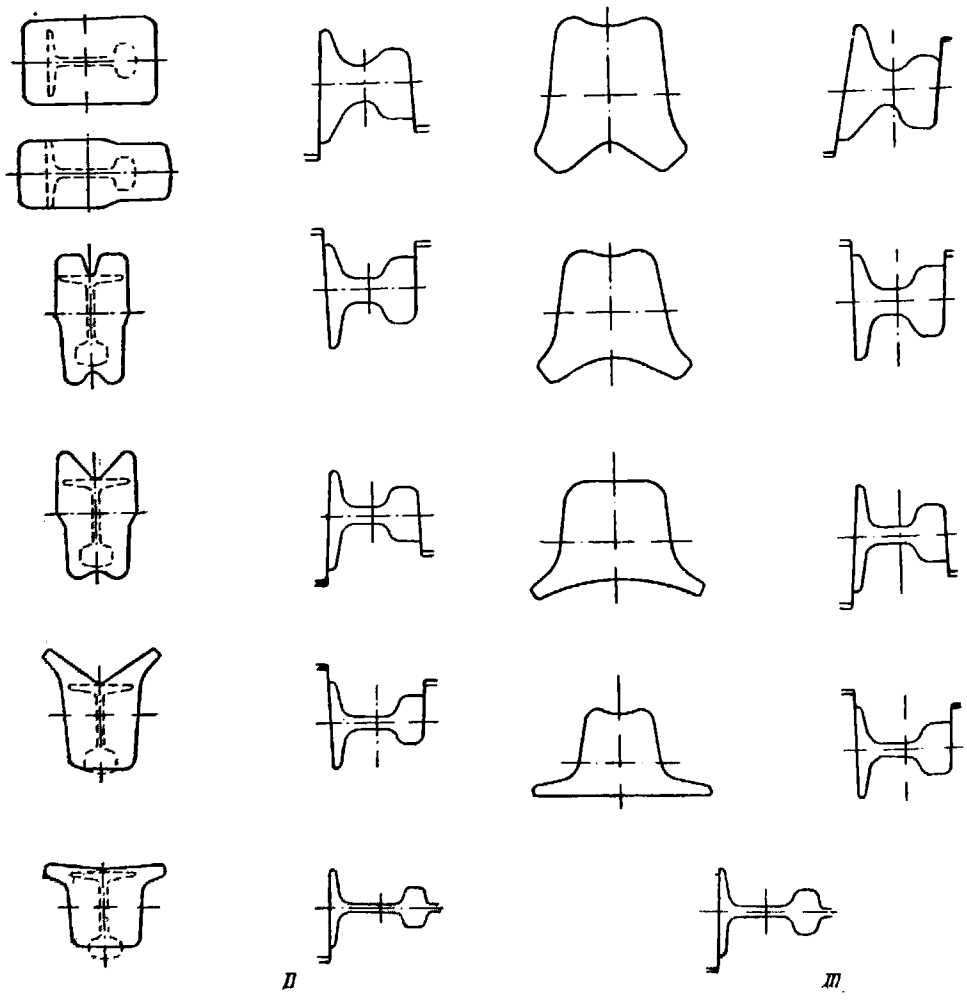
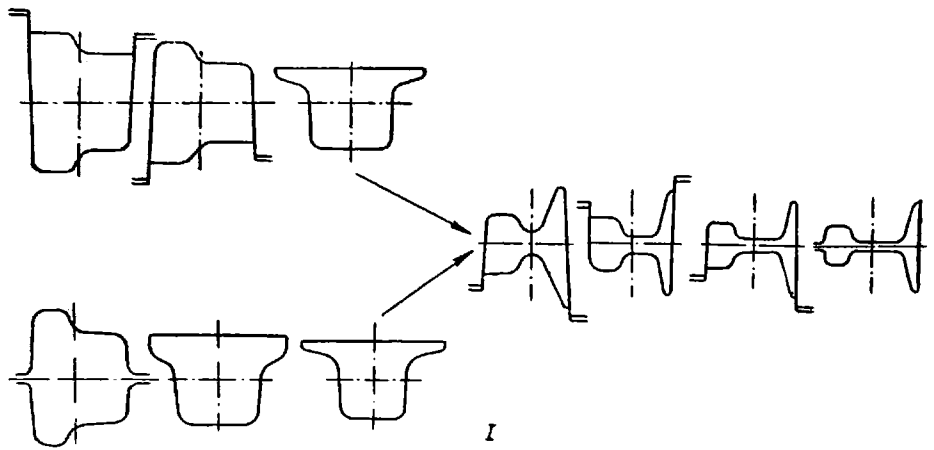


Рис. 141. Схемы

гателей и типа рельсобалочного стана. Порядок расчета калибровки рельсов тот же, что и калибровки двутавровых балок.

Прокатка в рельсовом калибре характеризуется следующими видами деформации (рис. 142):

- 1) обжатие шейки $\Delta d = d_2 - d_1$;
- 2) уширение профиля (шейки) $\Delta B = B_1 - B_2$;
- 3) боковое обжатие открытого фланца подошвы $\Delta t_{\text{п}} = t'_{\text{п}2} - t_{\text{п}1}$;
- 4) приращение высоты открытого фланца подошвы $\Delta h_{\text{п}0} = h_{\text{п}1} - h'_{\text{п}2}$;
- 5) боковое обжатие закрытого фланца подошвы $\Delta t'_{\text{п}} = t_{\text{п}2} - t'_{\text{п}1}$;
- 6) уменьшение высоты (утяжка) закрытого фланца подошвы

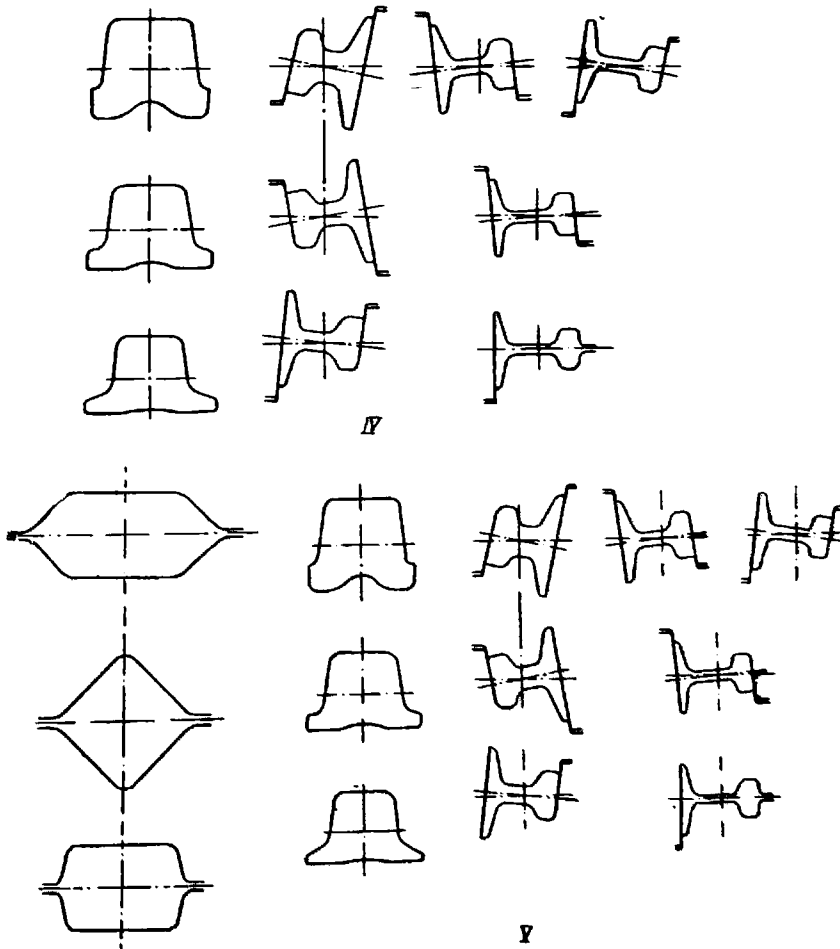
$$\Delta h_{\text{п.з}} = h_{\text{п}2} - h'_{\text{п}1};$$

- 7) боковое обжатие открытого фланца головки

$$\Delta t_{\text{г}} = t'_{\text{г}2} - t_{\text{г}1};$$

- 8) высотное обжатие открытого фланца головки

$$\Delta t_{\text{г.о}} = h'_{\text{г}2} - h_{\text{г}1};$$



9) боковое обжатие закрытого фланца головки

$$\Delta t'_{r1} = t_{r2} - t'_{r1};$$

10) высотное обжатие закрытого фланца головки

$$\Delta h_{r,3} = h_{r2} - h'_{r1}.$$

Отличительной особенностью прокатки рельсов является то, что головка рельса во всех калибрах получает высотное обжатие. Это делается для того, чтобы головка, как наиболее ответственная часть рельсо-

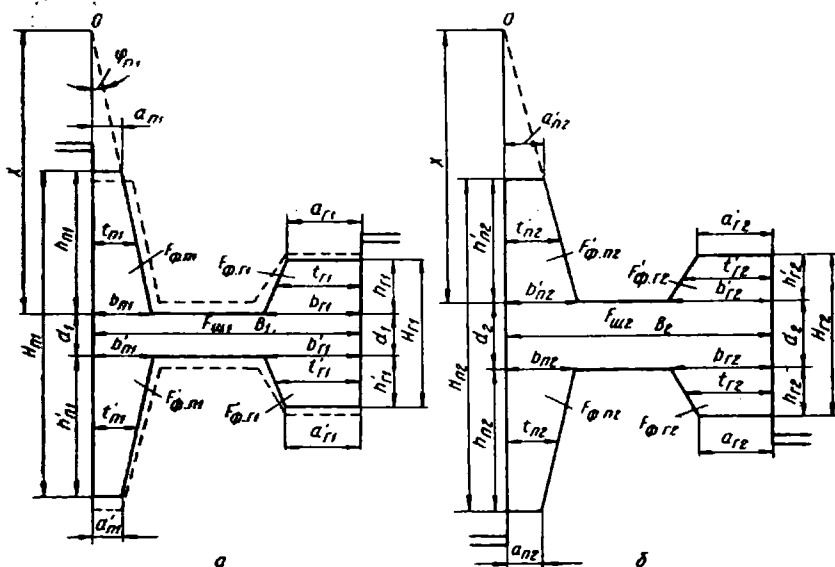


Рис. 142. Общая схема деформации в рельсовых калибрах:
а — чистовой калибр; б — предчистовой калибр

вого профиля, в процессе прокатки была подвержена сжимающим напряжениям, предотвращающим возможность появления трещин в металле.

Расчет рельсовых калибров в основном сводится к определению размеров фланцев подошвы и головки, а также шейки в данном калибре исходя из известных размеров этих же элементов в смежном калибре. Обычно расчет рельсовых калибров ведут против хода прокатки начиная от чистового калибра.

Размеры чистового рельсового калибра обычно соответствуют, за исключением ширины, размерам готового профиля в горячем состоянии. При определении ширины чистового калибра B_1 (рис. 142, а) учитывают минусовый допуск по высоте рельса и коэффициент линейного расширения

$$B_1 = (H - \Delta) k,$$

где H — высота рельса в холодном состоянии;

Δ — минусовый допуск по высоте рельса;

$k = 1,012 - 1,015$ — коэффициент линейного расширения стали при температуре прокатки.

Для определения размеров следующего, считая от чистового смежного калибра (рис. 142, б), необходимо знать:

1) коэффициенты вытяжки отдельных элементов профиля: шейки $\mu_{ш1}$; открытого фланца подошвы $\mu_{ф.п1}$; открытого фланца головки $\mu_{ф.г1}$, а также закрытых фланцев подошвы $\mu'_{ф.п1}$ и головки $\mu'_{ф.г1}$;

2) уширение в калибре ΔB_1 ;

3) утяжку высоты фланца подошвы в закрытом фланце калибра

$$\Delta h_{п.з1};$$

4) приращение высоты фланца подошвы в открытом фланце калибра $\Delta h_{п.о1}$;

5) высотное обжатие фланцев головки в закрытом фланце калибра $\Delta h_{г.з1}$;

6) высотное обжатие фланцев головки в открытом фланце калибра $\Delta h_{г.о1}$;

Тогда в смежном (в данном случае предчистовом калибре) можно определить следующие размеры:

$$\text{площадь шейки } F_{ш2} = F_{ш1} \mu_{ш1};$$

$$\text{ширину шейки (калибра) } B_2 = B_1 - \Delta B_1;$$

$$\text{толщину шейки } d_2 = \frac{F_{ш2}}{B_2};$$

$$\text{площадь открытого фланца подошвы } F_{ф.п2} = F'_{ф.п1} \mu'_{ф.п1};$$

$$\text{высоту открытого фланца подошвы } h_{п2} = h'_{п1} + \Delta h_{п.з};$$

$$\text{среднюю толщину открытого фланца подошвы } t_{п2} = \frac{F_{ф.п2}}{h_{п2}};$$

$$\text{площадь закрытого фланца подошвы } F'_{ф.п2} = F_{ф.п1} \mu_{ф.п1};$$

$$\text{высоту закрытого фланца подошвы } h'_{п2} = h_{п1} - \Delta h_{п.о};$$

$$\text{среднюю толщину закрытого фланца подошвы } t'_{п2} = \frac{F'_{ф.п2}}{h'_{п2}};$$

$$\text{площадь открытого фланца головки } F_{ф.г2} = F'_{ф.г1} \mu'_{ф.г1};$$

$$\text{высоту открытого фланца головки } h_{г2} = h'_{г1} + \Delta h_{г.з};$$

$$\text{среднюю толщину открытого фланца головки } t_{г2} = \frac{F_{ф.г2}}{h_{г2}};$$

$$\text{площадь закрытого фланца головки } F'_{ф.г2} = F_{ф.г1} \mu_{ф.г1};$$

$$\text{высоту закрытого фланца головки } h'_{г2} = h_{г1} - \Delta h_{г.о};$$

$$\text{среднюю толщину закрытого фланца головки } t'_{г2} = \frac{F'_{ф.г2}}{h'_{г2}}.$$

При расчете фланцев подошвы, кроме определения их высоты и средней толщины, необходимо знать толщину фланцев у края $a_{п2}$ и $a'_{п2}$ и у основания $b_{п2}$ и $b'_{п2}$.

Оптимальным режимом обжатия фланцев является такой, при котором в закрытых фланцах калибра обеспечивается меньшее обжатие у края, чем у основания, т. е.

$$\frac{a_{п2}}{a'_{п2}} < \frac{b_{п2}}{b'_{п2}},$$

а в открытых ручьях — наоборот, т. е.

$$\frac{a'_{п2}}{a_{п2}} > \frac{b'_{п2}}{b_{п2}}.$$

На практике чаще всего применяют этот режим обжатия для фланцев подошвы.

На рис. 143, б приведен график изменения обжатия фланцев подошвы по ходу прокатки рельса Р-50. Во всех калибрах закрытый фланец подошвы у края не получает обжатия, что облегчает его проникновение в закрытый фланец калибра. В открытых фланцах калибра края фланцев получают максимальные боковые обжатия.

На графике (рис. 143, а) показано также изменение коэффициентов бокового обжатия фланцев головки по ходу прокатки. Во всех калибрах

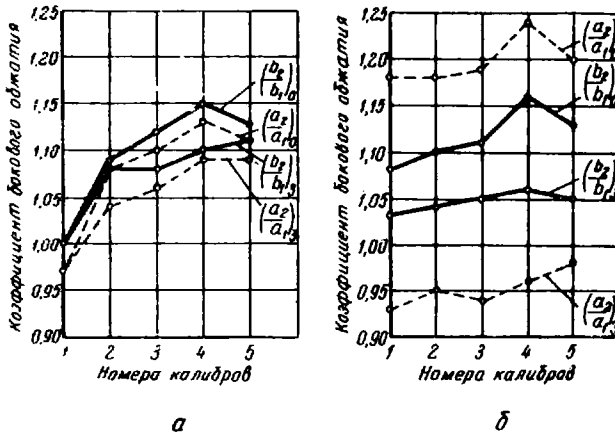


Рис. 143. График изменения коэффициентов бокового обжатия при прокатке рельсов Р-50

(за исключением чистового) фланец головки у основания обжимается больше, чем у края. В чистовом калибре фланцы головки в закрытом и открытом фланцах калибра не получают бокового обжатия, так как головка в этом случае прокатывается в калибре, имеющем разъем посередине высоты головки.

Таким образом, во всех проходах фланцы головки в закрытых и открытых фланцах калибра получают у края меньшее обжатие, чем у основания, что не оказывает существенного влияния на неравномерность остывания головки, так как она имеет значительную массу металла, способствующую выравниванию температуры по сечению.

Исходной заготовкой для прокатки рельсов обычно является прямоугольный блюм с отношением сторон $\frac{H}{B} = 1,5 \div 2$.

Особенности деформации рельсов при прокатке требуют того, чтобы максимальные коэффициенты вытяжки осуществлялись в черновых калибрах, а затем снижались по мере приближения к чистовому калибру. Кроме того, во время прокатки в черновых калибрах металл имеет более высокую температуру и, следовательно, меньше сопротивление деформации.

При прокатке рельсов и других подобных профилей, к которым предъявляют высокие требования по точности профиля и чистоте поверхности, в чистовых и предчистовых калибрах целесообразно назначать небольшие обжатия для увеличения срока службы валков. Поэтому при прокатке рельсов в чистовых калибрах применяют коэффициенты вытяжки в пределах 1,07—1,09 с плавным увеличением их в черновых рельсовых калибрах до 1,30—1,40.

Как правило, во всех рельсовых калибрах шейка обжимается сильнее, чем фланцы подошвы и головки. В данном случае это не опасно для утяжки фланцев калибра вследствие того, что площадь шейки состав-

ляет сравнительно небольшую долю в общей площади поперечного сечения рельса. Фланцы подошвы и головки прокатываются примерно с одинаковыми коэффициентами вытяжки; исключение составляет чистовой калибр, в котором во всех случаях головка имеет меньший коэффициент вытяжки, чем подошва рельса. Это обусловливается тем, что в чистовом

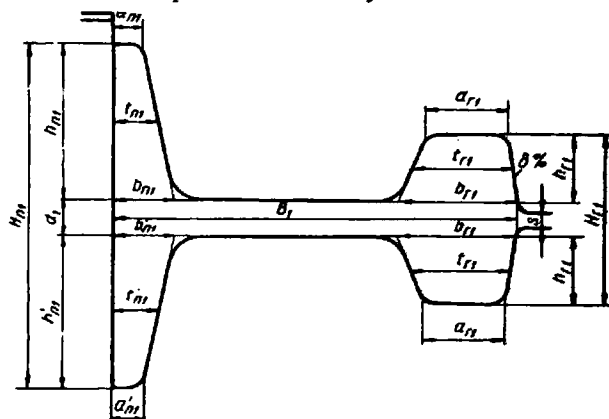


Рис. 144. Конструкция чистового рельсового калибра

калибре головка деформируется со свободным уширением для образования округленного ее очертания.

В разрезном калибре коэффициент вытяжки шейки достигает 1,5—1,6, а фланцев подошвы и головки 1,3—1,4. В подготовительных рельсовых калибрах соответствующие коэффициенты вытяжки отдельных элементов профиля имеют промежуточное значение между теми, которые рекомендуются для чистового и разрезного калибров.

Уширение в рельсовых калибрах обычно принимают на основании практических данных. Прокатка в рельсовых калибрах осуществляется с уширением, которое меньше его естественной или расчетной величины. Практика показывает, что чем меньше уширение в рельсовых калибрах, тем лучшую обработку получают наружные поверхности подошвы и головки. В то же время прокатка в рельсовых калибрах без уширения вызывала бы большой износ боковых стенок калибра и повышенный расход энергии.

Утяжку фланцев подошвы в закрытых фланцах чистового калибра принимают в пределах 5—7 мм, а для остальных калибров 7—10 мм. Приращение высоты фланцев подошвы в открытых фланцах калибра принимают до 1 мм.

Головка рельса во всех калибрах получает высотное обжатие: в чистовом калибре 1—3 мм, в остальных калибрах 3—5 мм (закрытые фланцы) и 1—2 мм (открытые фланцы).

По конструкции чистовой рельсовый калибр (рис. 144) несколько отличается от обычных рельсовых калибров тем, что со стороны головки предусматривается разъем посередине ее высоты. Это надо для того, чтобы при прокатке в чистовом калибре головка рельса получила выпуклые очертания. В чистовом калибре головка рельса имеет наклонные боковые стенки, которые представляют собой касательные к кривой очертания головки (их проводят из точки, расположенной на оси рельса на расстоянии 1—1,5 мм от верхней точки кривизны головки). При прокатке в таком калибре выпуклость головки достигается за счет уширения металла.

Зазор между валками принимают равным 5—8 мм, а радиус закругления при переходе от стенок головки к разъему валков — равным 6—8 мм. Верхний фланец подошвы чистового калибра выполняют открытым, а нижний — закрытым для того, чтобы избежать применения двойных проводок.

Для облегчения выхода полосы чистовой калибр располагают с наклоном примерно 2%.

На заводе «Азовсталь» чистовой рельсовый калибр располагают на валках с большим наклоном (до 12%). Опыт работы подтвердил преимущества косого расположения чистового калибра.

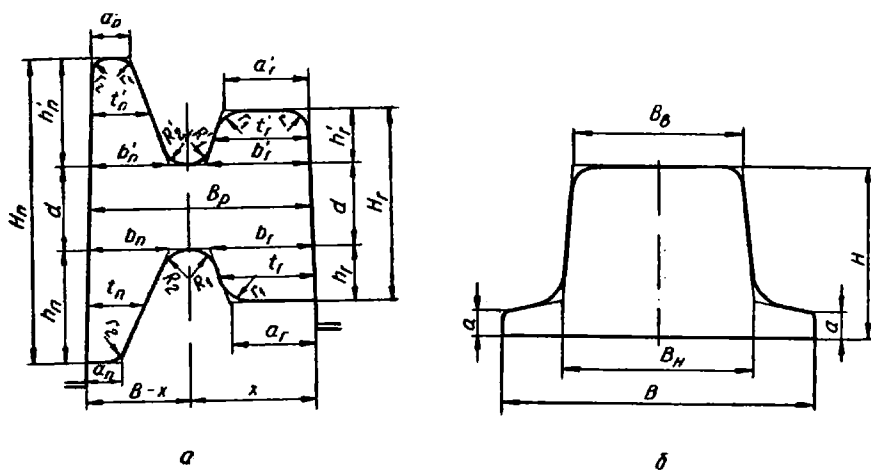


Рис. 145. Конструкция разрезного рельсового калибра (а) и предшествующего ему таврового калибра (б)

Промежуточные рельсовые калибры конструируют по принципу чередования обработки фланцев профиля в открытых и закрытых фланцах калибра.

Отметим некоторые особенности расчета и конструирования разрезного рельсового калибра (рис. 145, а). Угол разрезного гребня принимают примерно 50° , причем его вершину выполняют округленной. Ось разрезного гребня располагают не посередине ширины калибра, а ближе к подошве рельса. Для определения положения оси гребня необходимо исходить из того, что отношение толщины головки к толщине подошвы в готовом рельсе колеблется в пределах 1,7—2. Это отношение для разрезного калибра целесообразно увеличить, так как фланцы головки в процессе прокатки обжимаются больше, чем фланцы подошвы. Если принять для разрезного калибра указанное отношение в пределах 1,8—2,5, то нетрудно определить положение вертикальной оси гребня.

Толщина шейки разрезного калибра должна корректироваться, исходя из допустимого угла захвата при обжатии тавровой заготовки в этом калибре.

Переход от тавровых калибров к рельсовым является наиболее ответственной стадией прокатки рельсов, так как при этом надо учитывать особенности деформации металла в тех и других калибрах.

Если известны размеры разрезного рельсового калибра, то нетрудно найти размеры предшествующего ему таврового калибра (рис. 145, б). Зная ширину разрезного рельсового калибра, можно определить высоту таврового калибра

$$H = B_p - \Delta B,$$

где ΔB — уширение полосы при прокатке в разрезном калибре (обычно принимают 8—10 мм).

Ширину подошвы таврового калибра принимают на 10—15% больше высоты подошвы разрезного рельсового калибра, т. е.

$$B = (1,10 \div 1,15) H_{\pi}.$$

Это необходимо для компенсации утяжки фланцев при прокатке таврового профиля в разрезном рельсовом калибре. Ширину головки

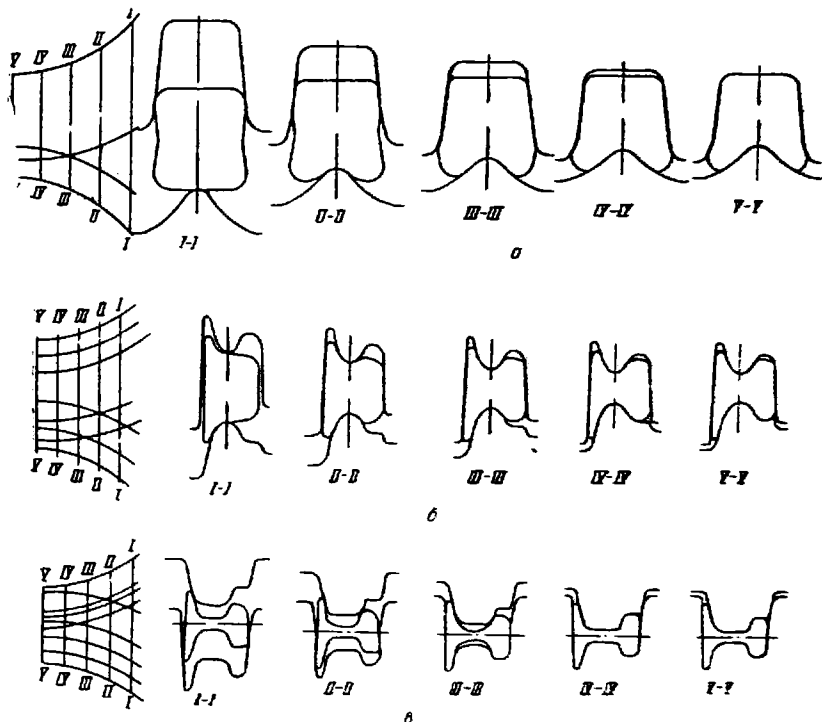


Рис. 146. Стадии прокатки в рельсовых калибрах

таврового профиля принимают равной или несколько больше ширины головки разрезного рельсового калибра, т. е. $B_b \geq H_r$.

Уклон боковых стенок таврового калибра принимают в пределах 8—10%.

Толщину фланцев таврового профиля у края принимают равной толщине фланцев у края в рельсовом калибре, чтобы обеспечить их свободное внедрение во фланцы разрезного калибра.

Важным критерием оценки таврового калибра является угол захвата, подсчитанный по максимальному обжатию (по оси разрезного гребня). Если угол захвата превышает допускаемые углы, то размеры таврового и разрезного калибров должны быть скорректированы.

При прокатке прямоугольной полосы в первом тавровом калибре наблюдается резкая неравномерность деформации по ширине полосы. Несмотря на относительно небольшую общую вытяжку, отдельные части полосы подвергаются значительным обжатиям. Процесс постепенного внедрения гребня нижнего вала в заготовку и заполнения калибра металлом показан на рис. 146, а. С момента захвата валками полоса начинает внедряться в ручей при значительном боковом ее обжатии; одновременно происходит и разрезание полосы гребнем вала. Последова-

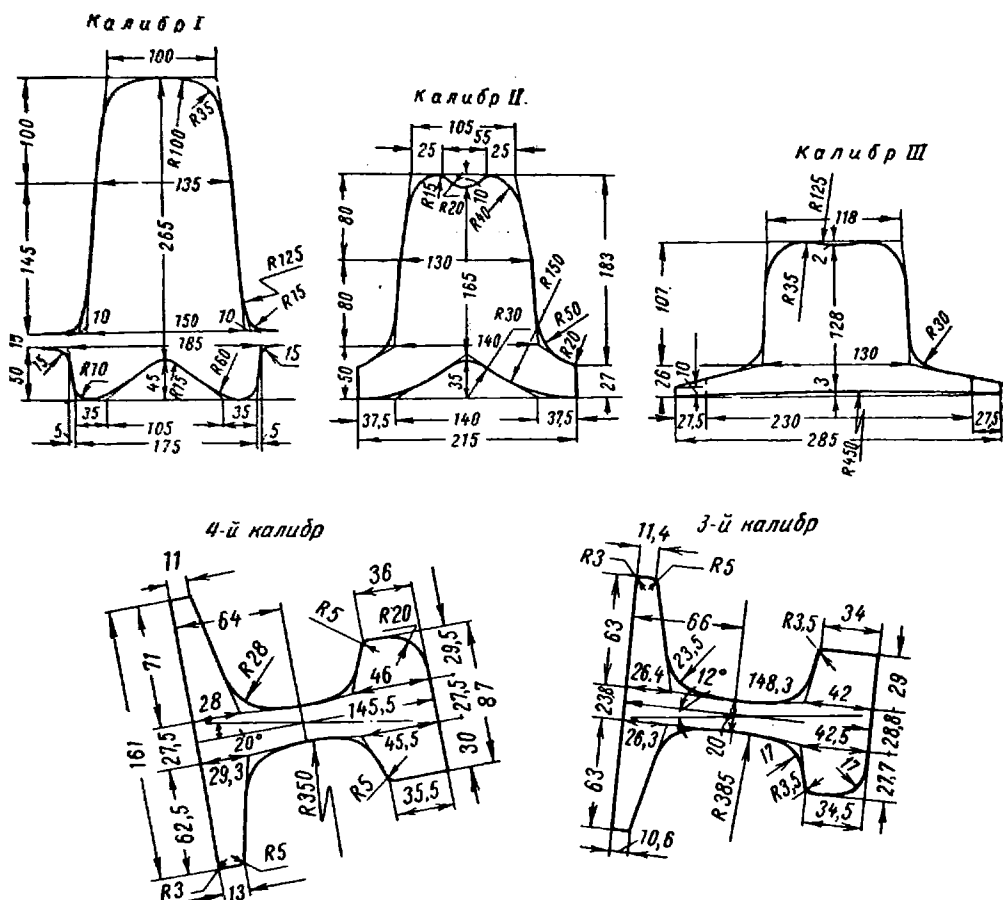


Рис. 147. Калибровка

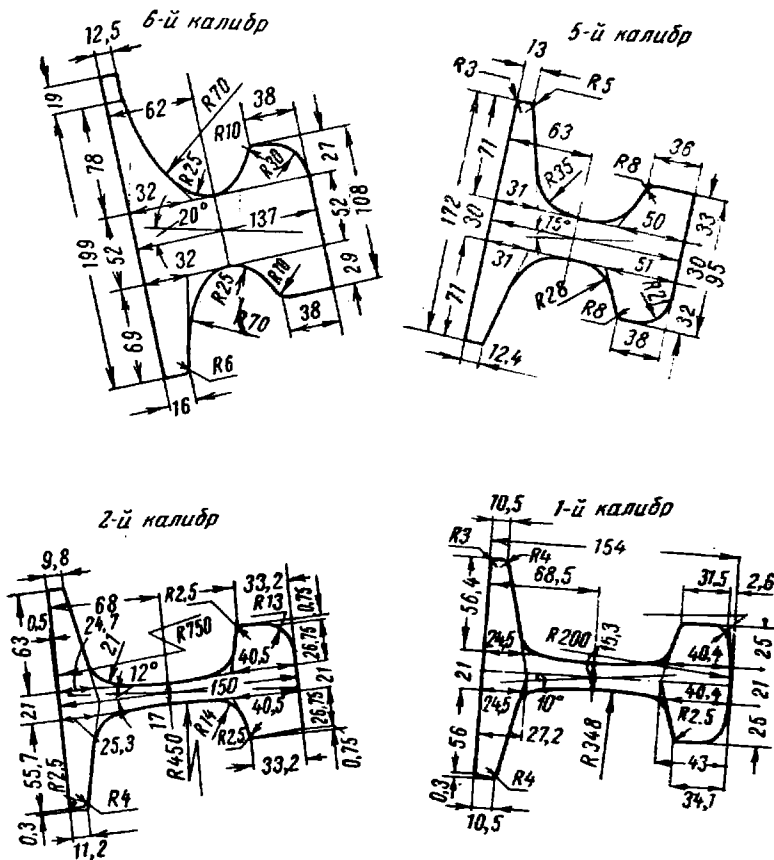
тельность процесса деформации тавровой заготовки в разрезном калибре представлена на рис. 146, б.

При большом обжатии центральной части полосы происходит вынужденное уширение и высотная утяжка подошвы. Процесс деформации в промежуточном рельсовом калибре показан на рис. 146, в. Шейка профиля в этом случае начинает обрабатываться после обжатия фланцев подошвы и головки.

Анализ различных калибровок валков показывает, что для повышения качества рельсов большое значение имеют условия деформации металла в рельсовых калибрах. Наилучшая обработка подошвы и головки рельса достигается при прокатке в косорасположенных рельсовых калибрах, так как в них используется не только прямое, но и боковое давление. Всесторонняя обработка металла в косорасположенных рельсовых калибрах улучшает не только качество поверхности рельсов, но и механические свойства.

Большой наклон боковых стенок калибра позволяет полностью восстанавливать первоначальные размеры калибра, в том числе и ширину, что не достигается при горизонтальном положении рельсовых калибров. Первоначальные размеры калибра восстанавливаются при малом съеме металла валков, что позволяет увеличивать срок их службы.

Полное восстановление первоначальных размеров калибров при



рельсов Р-50

переточках валков способствует получению рельсов точных и устойчивых размеров и повышает выход рельсов первого сорта.

При наклонном положении калибров увеличивается поверхность рабочих конусов, что также благоприятно сказывается на точности прокатываемых рельсов и на увеличении срока службы валков.

Важным новшеством в калибровке рельсов является усиленная обработка металла в области головки. На заводе «Азовсталь» была применена неглубокая разрезка заготовки со стороны головки. При этом в тавровых калибрах осуществлялось незначительное боковое обжатие полосы при большом высотном обжатии металла со стороны головки.

Рассмотрим калибровку рельсов Р-50 завода «Азовсталь». Рельсобалочный стан состоит из обжимной дуо-реверсивной клетки 900, двух клеток трио 800 и одной клетки дуо 800; последние три клетки размещены в одной линии.

Рельсы Р-50 прокатывают из прямоугольной заготовки 270×280 мм. В обжимной клетки за несколько проходов получают полосу шириной примерно 330 мм с переменной высотой; средняя высота равна 135 мм. Эту полосу кантуют на ребро и в таком положении задают в первый тавровый калибр, в котором осуществляют разрезку со стороны подошвы на глубину 45 мм. Первый тавровый калибр является общим для прокатки рельсов Р-50, Р-65 и Р-75.

Расчетные данные тавров калибров

Номер калибра	Высота трапеции $H_{тр}$, мм	Ширина верхнего основания B_v , мм	Ширина нижнего основания B_n , мм	Коэффициент высотного обжатия	Средний коэффициент бокового обжатия	Коэффициент бокового обжатия верхней части полосы	Коэффициент вытяжки $\mu_{тр}$	Толщина фланцев у края a , мм
<i>Прокатка</i>								
1	265	100	150	1,24	1,04	1,1	1,29	65
2	175	105	140	1,513	1,018	0,95	1,54	27
3	130	118	130	1,35	1,0	0,89	1,34	15,5
<i>Прокатка</i>								
1	265	100	150	1,24	1,04	1,1	1,29	65
2	175	105	140	1,513	1,018	0,95	1,54	27
3	128	122	135	1,367	0,94	0,86	1,29	16
<i>Прокатка</i>								
1	265	112	162	1,24	1,04	1,09	1,29	65
2	180	118	150	1,36	1,02	0,95	1,39	35
3	138	122	135	1,30	1,04	0,97	1,36	18

Тавровые калибры, применяемые для прокатки рельсов на этом заводе, существенно отличаются от тавровых калибров, применяемых на других заводах, по форме и характеру деформации.

Тавровые калибры приведены на рис. 147, а их расчетные данные — в табл. 12.

Особенностью первого калибра является большая высота (310 мм) при сравнительно небольшой ширине (135 мм). Угол гребня в этом калибре равен 91° при высоте гребня 45 мм. При прокатке заготовки в этом калибре высотное обжатие по оси гребня составляет 65 мм; коэффициент бокового обжатия в среднем равен 1,04.

Второй тавровый калибр имеет гребень с углом 100° , высотой 35 мм. В этом калибре имеется разрезной гребень высотой 10 мм со стороны головки, что обеспечивает очень большую высотную деформацию (обжатие по оси гребня равно 100 мм). Боковое обжатие очень небольшое (средний коэффициент бокового обжатия равен 1,018); в верхней части калибра предусматривается уширение металла. Коэффициент вытяжки металла во втором тавровом калибре равен 1,51.

В третьем тавровом калибре полоса обжимается по высоте на 37 мм; при этом происходит полное разворачивание фланцев подошвы и сглаживание образовавшейся борозды со стороны головки (при свободном уширении металла в этой области). Боковое обжатие происходит только у основания трапеции. Общий коэффициент вытяжки в этом калибре равен 1,50.

Следует отметить, что во втором и третьем калибрах фланцы подошвы получают большое обжатие по толщине (коэффициенты обжатия соответственно равны 2,41 и 1,74), вследствие чего возникает вынужденное уширение металла, способствующее получению подошвы требуемой ширины.

Общий коэффициент высотного обжатия по оси гребня составляет 2,6. Усиленная обработка головки достигается также за счет разрезки ее во втором тавровом калибре. Боковое обжатие металла в тавровых калибрах практически очень мало. Такая деформация металла в тавровых калибрах способствует получению более качественных рельсов, поскольку

Таблица 12

для прокатки рельсов Р-50, Р-65 и Р-75 на заводе «Азовсталь»

Коэффициент обжатия фланца у края	Высота калибра $H_{\text{общ}}$, мм	Ширина калибра $B_{\text{общ}}$, мм	Высота гребня $H_{\text{гр}}$, мм	Угол гребня ϕ град.	Обжатие по оси гребня мм	Площадь калибра F , мм ²	Коэффициент вытяжки полосы μ	Смещенная площадь $F_{\text{см}}$, мм ²
<i>рельсов Р-50</i>								
—	310	185	45	91	65	41412	1,219	8870
2,41	210	215	35	100	100	27650	1,51	14762
1,74	133	230	3	175	37	18400	1,50	9250
<i>рельсов Р-65</i>								
—	310	185	45	91	65	41412	1,219	8870
2,41	210	215	35	100	100	27650	1,51	14762
1,88	157	245	3	177	23	20200	1,37	7450
<i>рельсов Р-75</i>								
—	310	205	45	91	65	46470	1,14	7780
1,86	240	240	35	124	60	35100	1,32	11370
1,95	170	260	3	177	41,5	23550	1,49	11550

ку первичная кристаллическая структура раздробляется, ориентировка ее изменяется и волосные трещины и другие поверхностные дефекты устраняются.

Такой характер деформации в тавровых калибрах оправдывается тем, что при последующей прокатке в рельсовых калибрах профиль обрабатывается так, что поверхности подошвы и головки незначительно подвергаются боковому обжатию.

Дальнейшая прокатка производится в шести рельсовых косорасположенных калибрах, причем первый разрезной и следующие за ним рельсовые калибры имеют угол наклона 20° ; затем этот угол наклона уменьшается, достигая в чистовом калибре 10° .

В разрезном рельсовом калибре полоса обжимается по оси гребня на 72 мм при уширении 9 мм; головка получает небольшое обжатие (примерно 10 мм). Фланцы тавровой заготовки свободно входят во фланцы разрезного калибра. В следующем рельсовом калибре шейка также сильно обжимается (коэффициент вытяжки равен 1,67 при общем коэффициенте 1,36). В дальнейшем коэффициенты вытяжки профиля его шейки плавно уменьшаются, достигая в чистовом калибре одинаковых значений 1,08. Фланцы подошвы и головки имеют весьма умеренные коэффициенты вытяжки; причем практически в последних четырех калибрах они незначительно отличаются от общего коэффициента вытяжки.

Уширение в рельсовых калибрах сравнительно мало, особенно начиная с четвертого калибра.

Боковое обжатие фланцев головки в последних четырех калибрах колеблется от 1,05 до 1,10 у основания фланца и от 1,025 до 0,75 у краев фланца.

Фланцы подошвы также получают небольшое боковое обжатие; преимущественно они обжимаются в открытых фланцах калибра, причем обжатие у края фланца больше, чем у основания. В закрытых фланцах калибра фланцы полосы весьма мало обжимаются у основания и совсем не обжимаются у края.

По боковой обработке фланцев головки и подошвы рассматриваемая калибровка рельсов не может быть признана вполне удовлетворительной.

Недостаточная боковая обработка фланцев головки в некоторой степени компенсируется обжатием головки по высоте. Исключение составляет пятый калибр, в котором вследствие большого обжатия шейки

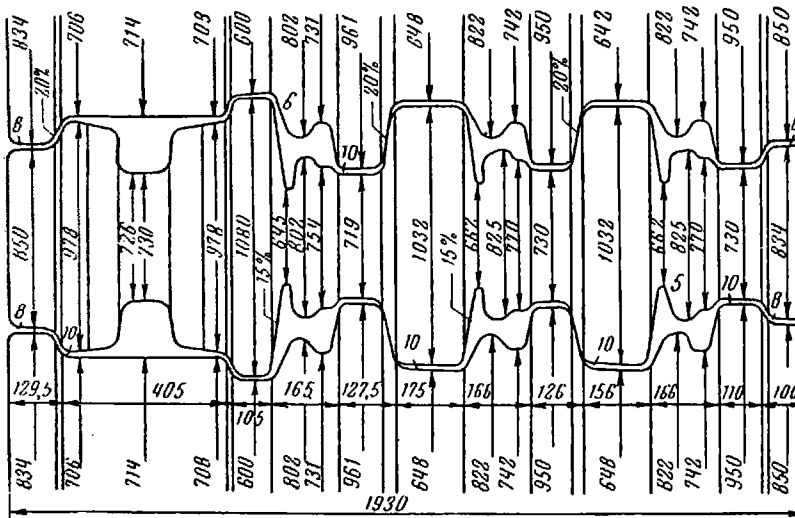
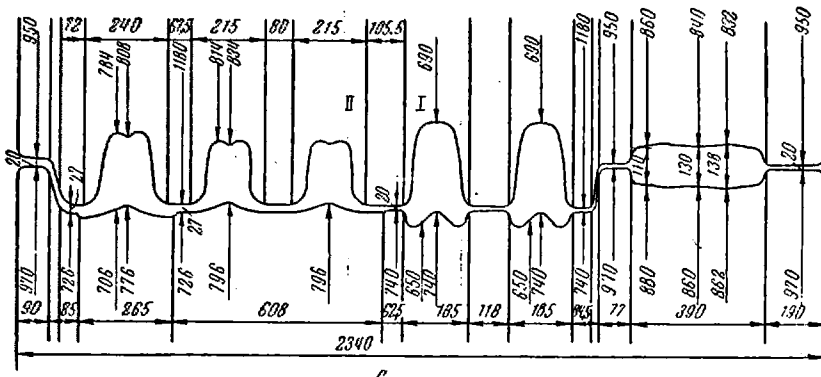


Рис. 148. Калибровка валков
 а — валки обжимной клетки дуо 900; б — валки I клетки трио 800:

предусматривается приращение высоты фланцев головки. Фланцы подошвы, обрабатываемые в закрытых фланцах калибра, получают высотную осадку от 8,5 мм (в четвертом калибре) до 6,6 мм (в чистовом калибре).

Для данной калибровки рельсов характерно весьма рациональное размещение калибров по клетям (рис. 148), которое обеспечивает равномерную загрузку клетей и позволяет более эффективно использовать валки.

аналитической формулой (см. стр. 118):

$$n_{\sigma} = a \left(\frac{l}{h_{\text{ср}}} + b \frac{h_{\text{ср}}}{l} \right) > 1,$$

где a и b — коэффициенты, различные для разных калибров;

$h_{\text{ср}}$ — средняя приведенная толщина полосы в зоне деформации;

l — длина контакта (горизонтальная проекция дуги захвата).

На основе использования метода построения полей линий скольжения получены следующие значения коэффициентов a и b при условии, что $1 < \frac{l}{h_{\text{ср}}} < 2,5$:

1) $a = 0,5$ и $b = 1$ тогда, когда справедливо применение схемы плоской деформации (полоса, плоский овал);

2) $a = 0,6$ и $b = 0,8$ для свальных и круглых калибров; $a = 0,7$ и $b = 0,5$ для квадратных и ромбических калибров; $a = b \approx 0,8$ для фасонных закрытых калибров; эти коэффициенты принимают при объемной деформации в калибрах.

При $\frac{l}{h_{\text{ср}}} > 2,5$, когда деформацию можно принять плоской, коэффициент

$$n_{\sigma} = 0,75 + 0,25 \frac{l}{h_{\text{ср}}}.$$

Прокатка сортовых профилей осуществляется без натяжения полосы, поэтому коэффициент $n_H = 1$.

Среднее и полное давление металла на валок определяют по формулам

$$p_{\text{ср}} = 1,15 \sigma_{\text{сф}} n_{\sigma},$$

$$P = b_{\text{ср}} l p_{\text{ср}}.$$

Момент прокатки для двух валков находим по формуле

$$M_{\text{пр}} = 2P a_{\text{к}} = 2P \psi_{\text{к}} l,$$

где $\psi_{\text{к}} = \frac{a_{\text{к}}}{l}$ — коэффициент плеча $a_{\text{к}}$ приложения равнодействующей силы P .

В случае горячей прокатки полосы (плоская деформация) теоретически коэффициент $\psi_{\text{к}} = 0,45 \div 0,5$ при $\varepsilon = 0,4 \div 0,1$ и $f = 0,4 \div 0,5$.

При прокатке в калибрах (сложная объемная деформация) вследствие влияния дополнительных сил трения плечо приложения равнодействующей увеличивается. На основании экспериментальных данных можно принимать следующие значения $\psi_{\text{к}}$ при прокатке в калибрах: 0,55 для квадратных; 0,6 для круглых и ромбических; 0,65—0,7 для закрытых фланцевых.

Пример. Определить давление и момент при прокатке рельса в четвертом проходе (закрытый калибр клетки трио 800). Исходные данные: температура прокатки 1050 °С; предел текучести рельсовой стали (0,7%С) при статическом растяжении $\sigma_s = 40 \text{ Мн/м}^2$ (4 кгс/мм²); скорость прокатки 4 м/сек; скорость деформации 15 сек⁻¹; фактический предел текучести с учетом скорости и степени деформации $\sigma_{\text{сф}} = 120 \text{ Мн/м}^2$ (12 кгс/мм²) [см. рис. 117]; рабочий диаметр валков 810 мм; размеры сечения: $F_0 = 7000 \text{ мм}^2$; $b_0 = 140 \text{ мм}$; $F_1 = 5470 \text{ мм}^2$; $b_1 = 144 \text{ мм}$; приведенные толщины и обжатия: $h_0 = \frac{F_0}{b_0} = 50 \text{ мм}$; $h_1 = \frac{F_1}{b_1} = 38 \text{ мм}$; $\Delta h = 12 \text{ мм}$; $\varepsilon = 0,24$; $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = 0,17 \text{ рад}$ (10°); $l =$

$\sqrt{R\Delta h} = 70 \text{ мм}, \frac{l}{h_{\text{ср}}} = 1,6$. Коэффициент напряженного состояния при деформации металла в калибре

$$n_{\sigma} = 0,8 \left(1,6 + \frac{0,8}{1,6} \right) = 1,68.$$

Среднее удельное давление

$$p_{\text{ср}} = 1,15 \cdot 120 \cdot 1,68 = 230 \text{ Мн/м}^2 \text{ (23 кгс/мм}^2\text{)}$$

Полное давление металла на валки

$$P = 142 \cdot 70 \cdot 10^{-8} \cdot 230 = 2,28 \text{ Мн (228 тс)}.$$

Момент прокатки при $\psi_{\text{н}} = 0,7$

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot 2,28 \cdot 0,7 \cdot 0,07 = 0,223 \text{ Мн} \cdot \text{м (22,3 тс} \cdot \text{м)}.$$

6. ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ

Вводную и выводную арматуру устанавливают на проводковых брусках. До последнего времени применяли квадратные или прямоугольные брусья. Крепление арматуры к брускам осуществлялось с помощью болтов и планок и часто оказывалось ненадежным, что нарушало процесс прокатки. Практика работы показала, что наиболее приемлемой формой поперечного сечения бруса является форма ласточкина хвоста. В этом случае арматуру крепят клином и шпилькой, что позволило сократить расходы на валковую арматуру и обеспечить надежность крепления [IV.6, 10, 18].

Наиболее целесообразным является крепление с самостоятельным и независимым регулированием каждого бруса (рис. 149). Брус имеет на торцах пазы, в которые входит шип сухаря, расположенного в пазу станины и поддерживаемого специальной планкой. Концы бруса закрепляют между парой отдельных выступов станины и его регулировка не влияет на положение остальных брусков, устанавливаемых в рабочей клетке.

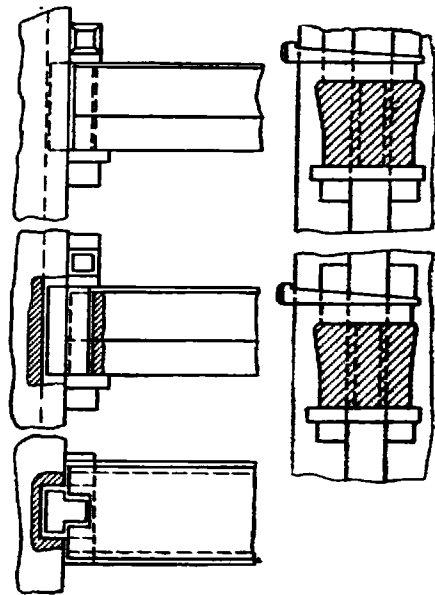


Рис. 149. Форма и крепление брусков

Для правильной задачи полосы в валки и правильного выхода ее из валков применяют линейки, которые представляют собой вертикальные щеки, укрепленные на проводковых брусках (рис. 150). Устанавливать эти линейки необходимо весьма тщательно и точно против буртов валков. Промежутки между линейками (против нерабочих калибров) надо закрывать щитами или забивать деревянными пробками во избежание ошибочной задачи полосы в эти калибры. Рабочая поверхность линейек должна быть зачищена, чтобы избежать царапин на прокатываемых

полосах. Линейки, изготовленные из стального литья, быстро изнашиваются и портят поверхность прокатываемого металла. На одном из отечественных заводов применяют выводные стальные линейки с боковыми вкладышами, которые можно заменять после их износа.

Проводки являются одной из наиболее ответственных деталей валковой арматуры. По форме они должны соответствовать профилю прокатываемой полосы и быть достаточно прочными. Проводки устанавли-

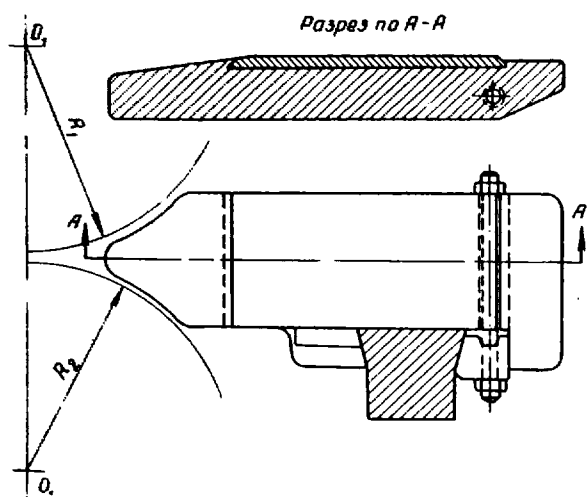


Рис. 150. Форма и крепление линеек

вают так, чтобы один конец опирался на валок, а другой на проводковый брус. Носик проводки должен плотно прилегать к валку, в противном случае возможно оковывание валка полосой.

Размеры проводок определяются конструктивно. Верхняя грань проводки должна находиться ниже горизонтальной касательной к ок-

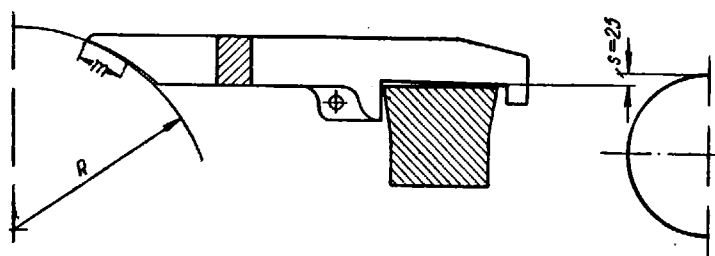
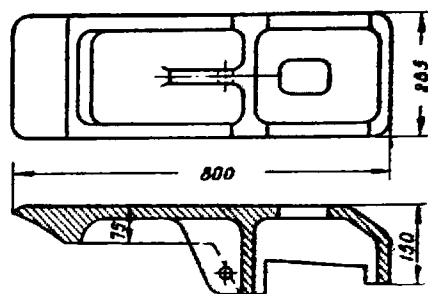


Рис. 151. Форма и установка проводок

ружности валка примерно на 5 мм, а носик проводки на 10 мм. Носик проводки должен плотно прилегать к валку на протяжении дуги m (рис. 151), причем величина этой дуги обычно составляет 6—7% диаметра валка. Проводка не должна соприкасаться с боковыми стенками калибра, чтобы избежать дополнительного трения. На конце пятки проводки делается выступ, который препятствует втягиванию проводки в валки при изменении их вращения. Пятка проводки не должна прилегать к брусу всей поверхностью. По мере износа носика проводки зазор между пяткой и брусом будет уменьшаться. Во избежание подъема носика проводки последнюю в некоторых случаях нагружают специальным грузом. На конце проводки делают небольшой скос для того, чтобы ослабить давление металла на пятку проводки.

При прокатке рельсов, балок и швеллеров применяют фланцевые (перьевые) и шеечные проводки. При прокатке балок и швеллеров больших размеров шеечные проводки изготавливают из стального литья. Для

Рис. 152. Проводка облегченной конструкции



сокращения расхода металла и уменьшения массы применяют проводки облегченной конструкции (рис. 152). Фланцевые проводки обычно изготавливают ковкой из углеродистой стали.

7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА РЕЛЬСОВ, БАЛОК И ШВЕЛЛЕРОВ

На рис. 153 представлена схема расположения оборудования для отделки рельсов, балок, швеллеров и других фасонных профилей [IV. 1, 4, 19].

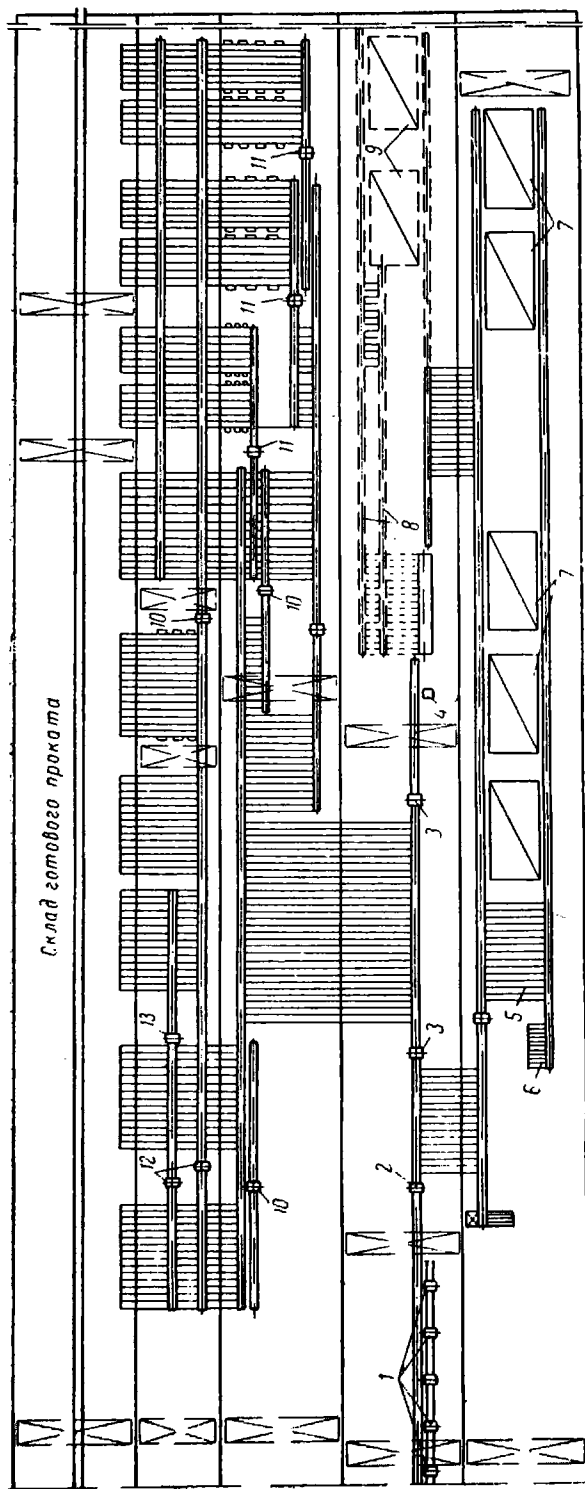
Перед поступлением на холодильник прокатанные полосы нарезают на мерные длины дисковыми салазковыми пилами. Эти пилы устанавливают на двух направляющих чугунных балках, расположенных на фундаменте вдоль отводящего рольганга за чистовой клетью. По этим направляющим пилы устанавливают на требуемом расстоянии друг от друга для одновременной разрезки прокатанной полосы. Для передвижения пил вдоль рольганга направляющие балки с внутренних боковых сторон имеют зубчатые рейки, с которыми находятся в зацеплении две вертикальные шестерни.

Дисковые салазковые пилы в последние годы получили широкое распространение. Преимуществом этих пил является жесткость направляющих станины, в которых движутся салазки с диском. Боковые колебания диска в этом случае совершенно незначительны. Диск приводится во вращение электродвигателем, установленным на салазках, преимущественно через клиноремennую передачу. В некоторых случаях применяют непосредственный привод диска от электродвигателя.

Максимальная производительность пилы обеспечивается высокой скоростью вращения ее диска. Пределом увеличения окружной скорости диска являются в данном случае только радиальные напряжения в диске от сил инерции.

Практически при работе на дисковых пилах применяют скорости примерно 100—120 м/сек. При таких высоких скоростях вращения диска пилы необходимо интенсивное охлаждение его водой; в противном случае при сильном нагреве зубья не будут обладать достаточной прочностью, необходимой при резке металла.

Диски пил изготавливают заодно с зубьями или отдельно. В первом случае после износа зубьев диски перетачивают на меньший диаметр и с новым профилем зубьев; во втором случае зубья после износа заменяют. В настоящее время зубья диска пилы закалывают, что повышает их стойкость на истирание.



Р и с. 153. Схема расположения оборудования для отделки рельсов, балок, швеллеров и других фасонных профилей:
 1 — пидла; 2 — штемпельная машина; 3 — гибочная машина; 4 — пидла для проб; 5 — холодильник; 6 — уборочный стеллаж; 7 — пещи изостер-
 мической выдержки; 8 — сортизатор; 9 — нормализационные печи; 10 — правильная машина; 11 — вертикальный пресс; 12 — горизонтальный
 пресс; 13 — ножницы

Производительность дисковой пилы определяется площадью сечения, снимаемой в 1 сек. Обычно при резании стальных профилей производительность пилы принимается равной 2000—500 мм²/сек.

Кроме скорости вращения диска, производительность пилы зависит также от скорости подачи пилы при резании, которая определяется допустимым давлением на зубья и окружным усилием.

Прокатанные рельсовые полосы режут на мерные длины 12,5 или 25 м с припуском на усадку металла по длине при охлаждении и на фрезерование торцов рельсов. Припуск на усадку металла по длине оп-

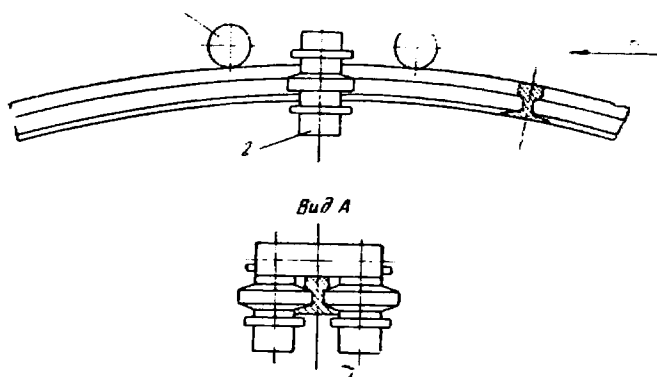


Рис. 154. Роликовая машина для горячего загиба рельсов

ределяют исходя из нормальной для данных условий температуры конца прокатки и соответствующей температуры металла в момент резки.

При прокатке на шейке рельсовой полосы в чистовом калибре выкатываются выпуклые цифры и буквы высотой не менее 20 мм в следующем порядке: марка завода-изготовителя (буквенная); обозначение вида стали (М—мартеповская); год и месяц изготовления рельсов; тип рельсов (Р-43, Р-50 и т. д.); обозначение вида термической обработки (О — замедленное охлаждение, И — изотермическая выдержка).

После разрезки на пилах рельсы проходят клеймовочную машину, где на шейке каждого рельса с той же стороны, на которой выкатаны знаки, выбивают номер ллавки и порядковый номер рельса из слитка.

Так как головка рельса имеет большую массу металла и меньшую поверхность охлаждения, чем подошва, это обуславливает различную температуру конца прокатки подошвы и головки. При охлаждении рельса подошва быстрее остывает и рельс вначале искривляется на подошву. Головка рельса, остывающая в последнюю очередь, изгибает полосу на головку. Последующая операция правки рельсов в холодном состоянии вызывает появление в них дополнительных напряжений, ухудшающих качество рельсов. Чтобы получить после охлаждения по возможности прямой рельс, последний изгибают предварительно на подошву.

Стрела прогиба рельса устанавливается опытом, в значительной степени она зависит от распределения металла между головкой и подошвой. Рельсы, у которых меньше разница в количестве металла в головке и подошве, изгибаются перед охлаждением меньше. Кроме того, стрела прогиба рельса зависит от температуры конца прокатки, скорости охлаждения после прокатки и др. Необходимо стремиться, чтобы стрела прогиба рельсов после охлаждения была возможно меньше; чем больше прогиб, тем больше остаточные напряжения, возникающие при

правке рельсов в холодном состоянии на роликовых правильных машинах.

На современных рельсобалочных станах загиб рельсов на подошву осуществляется роликовой машиной. На рис. 154 показана роликовая машина для горячей загибки рельсов на подошву, состоящая из двух горизонтальных и двух вертикальных роликов.

Для охлаждения прокатанного металла на рельсобалочных станах применяют обычно канатные шлеперные холодильники. Горячую полосу передают к холодильнику по подводящему рольгангу. Во время охлаждения полосу перемещают по холодильнику поперек пролета стана (см. рис. 153).

Так как на рельсобалочных станах резку рельсов, балок, швеллеров и других профилей производят в горячем состоянии до поступления на холодильник, длина последнего сравнительно незначительна и равна максимальной длине полосы (25 м). Ширину холодильника (по направлению движения охлаждаемого металла) определяют в зависимости от производительности стана и времени охлаждения полосы по формуле

$$B = \frac{Ata}{G} \text{ м,}$$

где A — максимальная производительность стана, $\tau/\text{ч}$;

G — масса одной полосы, τ ;

t — время охлаждения полосы, ч ;

a — расстояние между двумя полосами, находящимися на холодильнике, м .

Продолжительность охлаждения t полосы можно определить по формуле

$$t = \frac{Gc}{FC} \left[\left(\frac{1000}{T_2} \right)^3 - \left(\frac{1000}{T_1} \right)^3 \right] \text{ ч,}$$

где c — теплоемкость, $\text{кдж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ [$\text{ккал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$];

F — теплоотдающая поверхность, м^2 ;

T_1 — абсолютная температура поверхности полосы в начале охлаждения, $^\circ\text{К}$;

T_2 — абсолютная температура окружающей среды, $^\circ\text{К}$;

C — постоянная лучеиспускания охлаждаемого металла; для углеродистой стали

$$C \approx 5,1 \frac{\text{вт } 100^4}{\text{м}^2 (^\circ\text{К})^4} \left(\frac{\text{ккал } 100^4}{\text{м}^2 \cdot \text{ч } (^\circ\text{К})^4} \right).$$

Эта формула не учитывает отдачи тепла конвекцией. При охлаждении полосы ниже $500\text{—}700^\circ\text{C}$ эта отдача тепла приобретает существенное значение, вследствие чего расчетная продолжительность в $1,2\text{—}1,8$ раза больше фактической.

Для уменьшения ширины пролетов стана и создания требуемого грузопотока холодильник рельсобалочных станов состоит из двух частей, расположенных по длине здания.

На современных рельсобалочных станах общая площадь холодильника достигает 2000 м^2 и более, а удельная площадь $10\text{—}12 \text{ м}^2/\tau$ часовой производительности.

Холодильники рельсобалочных станов оборудованы кантователями для кантовки балок до охлаждения и после него, кантовки рельсов до посадки их в колодцы замедленного охлаждения и кантовки других профилей в случае необходимости.

Одним из мероприятий, повышающим качество рельсов, является проведение полной термической обработки.

В 1931 г. на американских железных дорогах и несколько позднее на советских возникло и быстро распространилось разрушение рельсов усталостного характера, начинающееся от внутренней трещины в головке рельсов. Пятна усталости всегда располагались внутри головки, не выходя наружу. Эти пятна постепенно росли до тех пор, пока оставшаяся часть сечения рельса не разрушалась хрупко под нагрузкой колес проходящего состава.

Потребовалась большая исследовательская работа для того, чтобы установить, что центром разрушения являются флокены. Опыты по про-

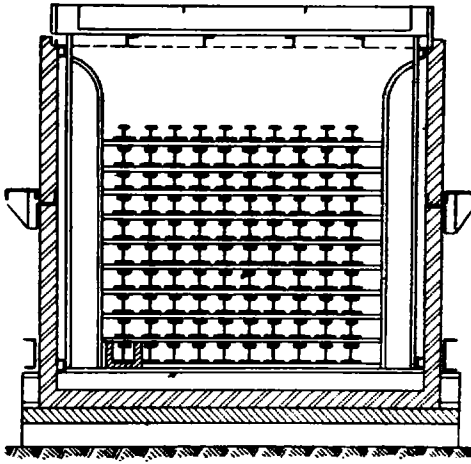


Рис. 155. Колодцы замедленного охлаждения рельсов

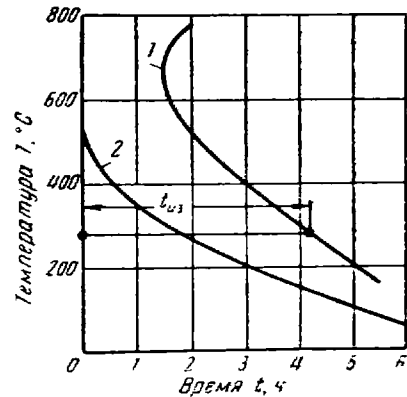


Рис. 156. Определение продолжительности замедленного охлаждения по кривым изотермических выдержек

дукке жидкой углеродистой рельсовой стали в изложнице водородом убедительно показали высокую ее флокеночувствительность.

Флокены представляют собой короткие, извилистые трещины, ориентированные как вдоль, так и под различными углами к направлению прокатки. Отсутствие ориентировки трещин вдоль прокатки и их извилистость указывают на то, что флокены образуются в готовых рельсах.

На всех металлургических заводах, прокатывающих мартеновские рельсы, были проведены специальные исследования изотермической выдержки рельсов и замедленное их охлаждение. Установлено, что изотермическая выдержка при 600—620 °С в течение 2 ч или замедленное охлаждение в течение 4—5 ч с 400 °С надежно предохраняют от флокенов даже сталь, насыщенную в жидком состоянии водородом.

На всех современных рельсобалочных станах рельсы подвергают замедленному охлаждению или изотермической выдержке.

Замедленное охлаждение рельсов осуществляют в колодцах, выложенных огнеупорным кирпичом и имеющих съемные крышки (рис. 155)

В этом случае рельсы охлаждают на холодильнике до появления магнитных свойств стали, но не ниже 450—500 °С, и затем магнитными кранами загружают в колодцы. Нижний ряд рельсов укладывают на подину, а все последующие — на подкладки из немагнитной стали Г13, которые позволяют после охлаждения снимать отдельно каждый ряд рельсов магнитными кранами. В колодец укладывают 10 рядов рельсов. Продолжительность загрузки каждого колодца не должна превышать

20 мин. По окончании загрузки колодец плотно закрывают теплоизолирующей крышкой и медленно охлаждают рельсы до 100—150 °С в течение 6—8 ч. После этого рельсы выдерживают в колодце при открытой крышке 30 мин, а затем их выгружают. Скорость охлаждения и температуру внутри колодца контролируют термопарами. При указанном режиме охлаждения флокены в рельсах не образуются.

Недостатками замедленного охлаждения рельсов в колодцах являются неравномерность охлаждения их по высоте и длине колодца, слож-

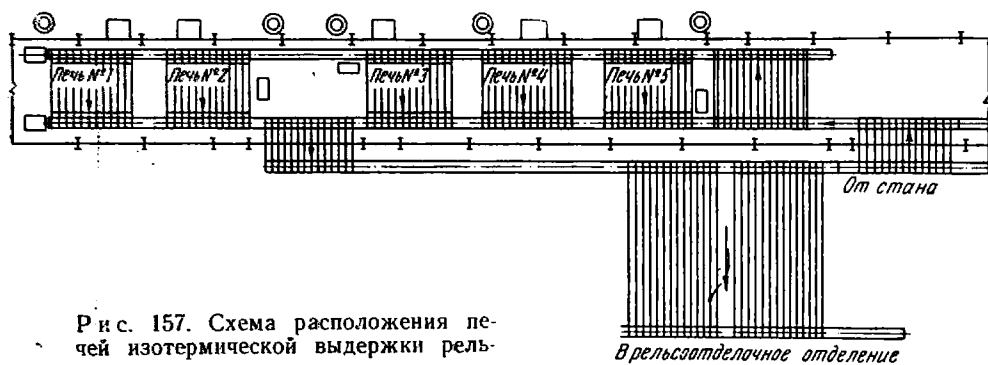


Рис. 157. Схема расположения печей изотермической выдержки рельсов

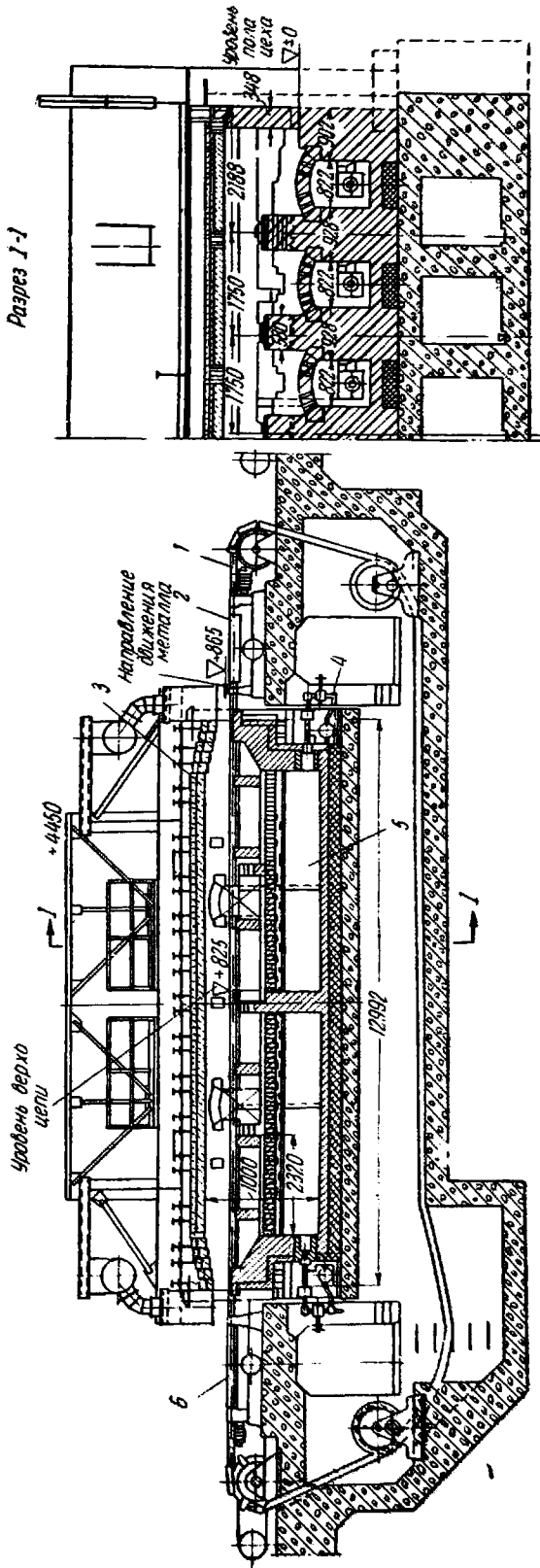
ность операций по загрузке и выгрузке и большая длительность процесса охлаждения, что значительно снижает производительность. Большая продолжительность замедленного охлаждения рельсов в колодцах вызывается тем, что в них происходит непрерывное снижение температуры, и поэтому рельсы находятся сравнительно небольшое время при 600—650 °С, когда выделение водорода происходит с наибольшей скоростью. При более низких температурах скорость диффузии водорода очень мала.

Эффективным способом предотвращения образования флокенов является изотермическая выдержка при температурах максимальной подвижности водорода $\Delta H_{\text{макс}}$. При этом обязательным условием является полное завершение превращения $\gamma \rightarrow \alpha$.

При замедленном охлаждении диффузия водорода протекает при снижающейся температуре. При этом изменяется величина ΔH и время, необходимое для уменьшения концентрации водорода, до величин, при которых флокены не образуются.

Переход от изотермической выдержки к замедленному охлаждению может быть представлен следующим образом. На рис. 156 в координатах температура — время приведены кривые изотермической выдержки 1 и замедленного охлаждения 2. Кривая 1 показывает время при каждой температуре, необходимое для предотвращения образования флокенов. Отрезок любой горизонтали от оси ординат ($t=0$) до кривой дает продолжительность изотермической выдержки $t_{\text{из}}$, достаточной для снижения содержания водорода до безопасных величин.

Следует отметить, что перед изотермической выдержкой полезно переохладить сталь до 250—300 °С, выдержать короткое время, а затем снова нагреть до температуры изотермической выдержки 600—650 °С. При этом полностью завершается превращение и создаются остаточные напряжения, способствующие более быстрому движению дислокаций, увлекающих с собой водород. В результате такого переохлаждения сокращается продолжительность изотермической выдержки.



Р и с. 158. Печь изотермической выдержки рельсов:
 1 — конвейер; 2 — подводный реллинг; 3 — подвесной свод; 4 — горелки; 5 — подводные топки; 6 — отводящий реллинг

Этот способ был применен на одном из отечественных металлургических заводов, что заметно повысило надежность изотермической выдержки рельсов этого завода. Для этого в рельсобалочном цехе были построены пять печей (рис. 157). После резки на пилах рельсы по ролюгангу направляли на холодильник, где температура их снижалась до 600 °С. Затем партиями по 6 шт. рельсы транспортировали к печам. При помощи шлепперов рельсы передавали на цепной конвейер печи. Температура в печах поддерживалась постоянной 600 °С; продолжительность пребывания рельсов в печи была установлена 2 ч. После выдержки рельсы направляли на отделку и осмотр.

Печи (рис. 158) имеют ширину 26,68 м и длину 13 м, так что в них могут обрабатываться рельсы длиной 25 м или две партии рельсов длиной 12,5 м. Полная садка печи равна 180 т.

Свод печи подвесной. Инжекционные горелки (30 шт.) расположены в нижней части в торцах печи. Продукты горения поступают в рабочее пространство печи по каналам. Отапливают печи смесью коксовального и доменного газов.

Эти печи отвечают требованиям поточности производства. Печи допускают изменение режима изотермической выдержки рельсов в зависимости от профиля их и марки стали.

При переходе к производству рельсов Р-50 на заводе возникла необходимость пересмотреть режим изотермической выдержки. После исследования был принят режим с переохлаждением рельсов до 350 °С. Без предварительного переохлаждения рельсов в структуре стали сохранилось бы значительное количество остаточного аустенита, распад которого протекал бы очень медленно. Значительная доля выдержки была бы бесполезной. Это обстоятельство привело к увеличению продолжительности изотермической выдержки при повышенных температурах.

Кроме этого, переохлаждение вызывает в рельсах дополнительные напряжения, которые ускоряют движение дислокаций. Это способствует более быстрому выделению водорода из стали. Переохлаждение также увеличивает пересыщенность твердого раствора водорода в железе и карбидах и способствует большему выделению водорода из раствора.

Окончательный режим обработки следующий: подстуживание рельсов до 350 °С, посадка в печь при 650 °С, выдержка 2 ч. Этот режим оказался вполне надежным.

Наиболее простым методом улучшения свойств рельсовой стали является повторный нагрев холодного рельса с последующим охлаждением на спокойном воздухе — нормализация. При нормализации прежде всего значительно измельчаются зерна и снимаются остаточные напряжения.

Нормализация способствует резкому снижению остаточных напряжений в рельсах. Поэтому для рельсов нормализация является смягчающей обработкой: прочностные характеристики снижаются, а показатели пластичности повышаются.

Особое значение приобрела нормализация рельсов из бессемеровской стали на одном из отечественных заводов. Эти рельсы отличались склонностью к старению. Нормализация полностью предотвратила склонность этих рельсов к старению. Поэтому на этом заводе была построена нормализационная печь (рис. 159). Печь имеет роликовый под с гладкими роликами. Рельсы движутся в положении «на боку» партиями по 8—10 шт. Выдача рельсов боковая при помощи шлепперного устройства. На участке выдачи свод печи подвесной.

Печь отапливают доменным газом. В печи имеется восемь зон с индивидуальным подводом газа в каждую зону. Общая длина печи 105,8 м.

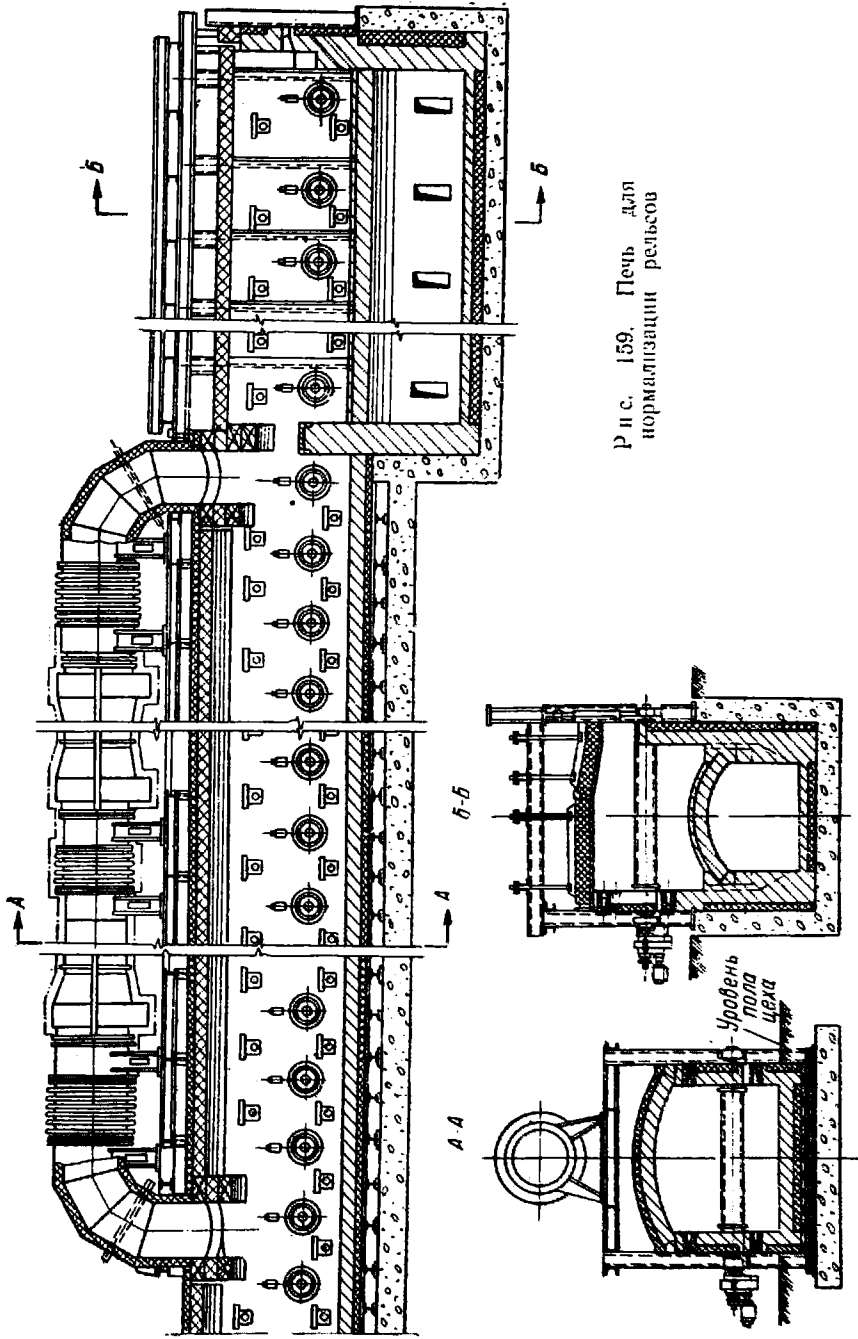


Рис. 159. Печь для нормализации рельсов

ширина рабочего пространства 2552 мм. В печи расположено 67 роликов и 24 ролика имеются в камере выдачи; шаг роликов 1160 мм. Ролики имеют диаметр 360 мм и изготовлены из стали X18H25C2. Привод роликов индивидуальный; линейные скорости движения рельсов 0,65 и 0,12 м/сек. Большая скорость движения рельсов равна скорости движения их по подводящему ролюгангу и применяется в момент загрузки новой партии рельсов в печь. В период между загрузками рельсы движутся со скоростью 0,12 м/сек к окну выдачи, или совершают реверсивные движения. Эти движения необходимы, чтобы предотвратить охлаждение частей рельсов, соприкасающихся с роликами.

Продолжительность нагрева рельсов равна примерно 30 мин; производительность печи равна 60 т/ч. После нагрева до 860—880 °С рельсы выдают на воздух для охлаждения или направляют в сорбитизационную машину для закалки поверхности катания рельсов по всей длине.

Промышленное применение термическая обработка рельсов получила значительно позднее. Сначала в Америке, затем в Англии и Франции и позже в Германии была организована закалка рельсов по методу инж. Зандберга; в России началась термическая обработка рельсов на Надеждинском заводе по способу инж. Шадрина

Способ Зандберга представляет собой мягкую закалку головки рельсов с прокатного нагрева на горячих стеллажах посредством обрызгивания ее водой, мелко распыленной сжатым воздухом или паром.

В 1925 г. на Надеждинском заводе проводили опыты по поверхностной закалке рельсов. Мартеновские рельсы имели большое смятие при работе в пути, так что предполагали вообще прекратить производство рельсов на этом заводе. По способу Шадрина поверхность катания рельсов охлаждали струями воды, направляемыми на головку специальными заслонками.

Отдельные секции обрызгивающих аппаратов могли перемещаться за рельсом, сохраняя неизменным расстояние от водопроводных труб до поверхности катания.

Закалка производилась во время движения рельсов по ролюгангу так, что каждое сечение рельса проходило последовательно четыре закалочных аппарата, установленных на расстоянии 2—3 м друг от друга. Таким образом, охлаждение рельсов было прерывистым. При выходе из-под одного аппарата и до вступления под следующий поверхностные слои рельса успевали несколько нагреться, что смягчало закалку и уменьшало остаточные напряжения в рельсах. Температура начала закалки 850 °С; обрызгивание продолжалось 10—30 сек, после чего температура в головке рельса уменьшалась до 600—650 °С. В результате происходил самоотпуск закаленного слоя. Толщина зоны сорбита достигала 6—8 мм. После закалки рельсы изгибали для уменьшения окончательной остаточной их кривизны.

Во всех опытах наблюдалось повышение прочностных характеристик рельсов: большее для предела текучести и меньшее для предела прочности. Это увеличение прочности происходило за счет снижения пластичности стали, характеризуемой удлинением, но в то же время сужение площади поперечного сечения резко возрастало. Такое сочетание свойств присуще сорбитной структуре, которая наиболее отвечает условиям работы рельсов в пути. При переходе к троосто-сорбитным или троосто-мартенситным структурам одновременно резко снижаются удлинение при разрыве и сужение площади поперечного сечения, а также ударная вязкость. Сталь переходит в хрупкое состояние.

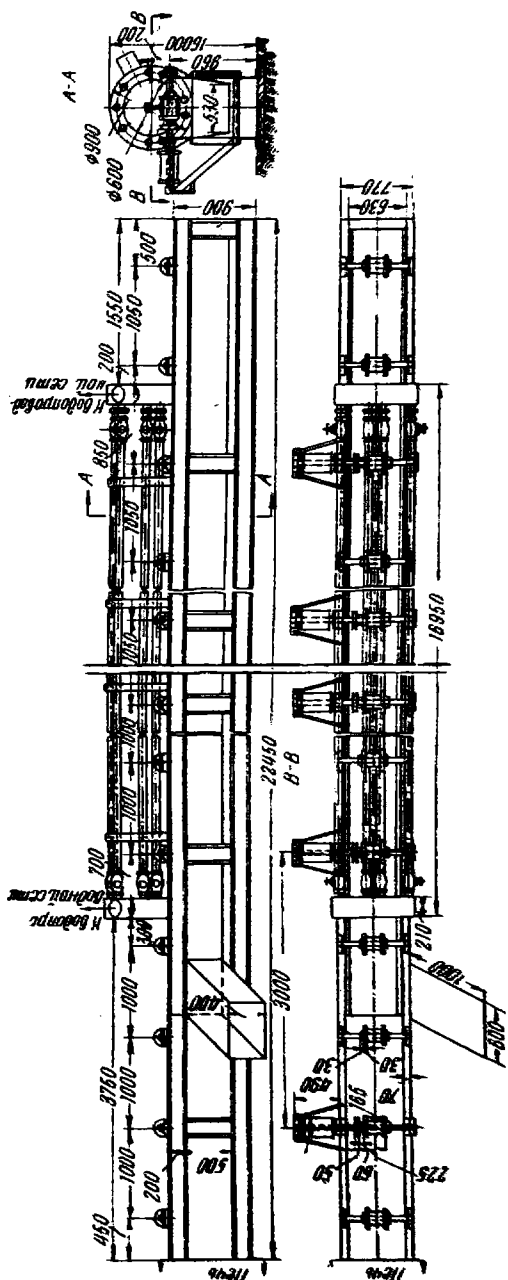
Многолетние наблюдения за службой термически обработанных рельсов показали, что при твердости примерно 300—320 НВ, пределе

прочности 1000—1100 Mn/m^2 (100—110 $кгс/мм^2$) и пределе текучести 800—850 Mn/m^2 (80—85 $кгс/мм^2$) исчезают все явления смятия и связанные с ними дефекты. Поэтому при термической обработке рельсов нет необходимости значительно превышать указанные пределы. Только в случае предотвращения контактной усталости рельсов необходимо повышать предел прочности 1800—2000 Mn/m^2 (180—200 $кгс/мм^2$) и предел текучести 1500—1700 Mn/m^2 (150—170 $кгс/мм^2$). Это вряд ли может быть достигнуто на простой углеродистой стали вследствие резкого уменьшения ее вязкости. Здесь необходим переход к легированным рельсам.

Легированные высокопрочные рельсы не являются рельсами массового производства. Потребность в них ограничивается трудными участками пути с наибольшей грузонапряженностью и кривыми малых радиусов. Рельсы массового производства останутся углеродистые рельсы, обработанные на сорбит.

Наилучшее сочетание характеристик прочности и пластичности достигается при следующей термической обработке: изотермическая выдержка, повторный нагрев, закалка, отпуск. Эта схема представляет собой правильно построенную схему термической обработки рельсов, предназначенную для предотвращения образования флокенов и улучшения стали.

Закалка с прокатного напрева также значительно повышает механические свойства рельсов. Показатели образцов, взятых из закаленной зоны, не ниже показателей образцов рельсов, закаленных с повторного нагрева. В средней части головки образцы рельсов, за-



Р и с. 160. Машина для объемной закалки рельсов конструкции Сибирского металлургического института

каленных с прокатного нагрева, имели значительно меньшее относительное сужение.

Следует также иметь в виду, что при поверхностной закалке головки с повторного нагрева все остальное сечение рельса проходит нормализацию, а при закалке с прокатного нагрева ни подошва, ни шейка рельса не получают никакого улучшения. При закалке с повторного нагрева структура металла шейки и подошвы является мелкозернистой;

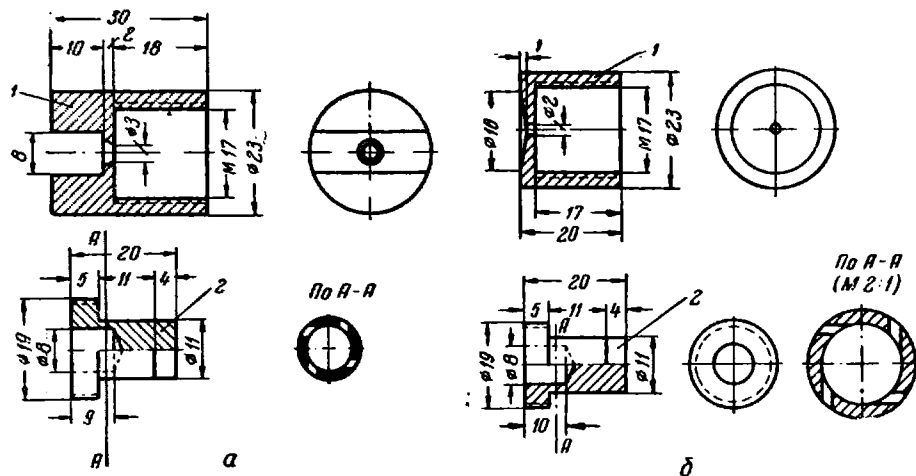


Рис. 161. Форсунки для охлаждения элементов рельса:

1 — корпус; 2 — вставка

металл обладает высокой пластичностью, ударной вязкостью, сопротивлением ударам, большой усталостной выносливостью. В необработанном виде все эти свойства стали снижены.

Если последней операцией термической обработки является изотермическая выдержка, то наблюдается значительное смягчение стали. Режим изотермической выдержки определяется необходимостью предотвратить появление флокенов и не может выбираться так, чтобы обеспечить оптимальное сочетание механических свойств.

Таким образом, кроме опасности появления флокенов в стали или, по крайней мере, высоких напряжений на фазовых границах, насыщенных водородом, получаются для этого варианта и худшие механические свойства. Правильная последовательность термической обработки рельсов — операция по предотвращению флокенов, повторный нагрев, закалка и отпуск.

Первые опыты закалки рельсов обрызгиванием всей поверхности мелкими каплями воды были проведены Сибирским металлургическим институтом. После этого была построена машина для обработки рельсов (рис. 160). Машина состоит из приводных роликов, по которым движется рельс в положении «на подошве». В машине имеются три кольцевых коллектора (по концам и посередине машины), соединенные с водопроводной сетью. Между коллекторами укреплено девять труб, в которых через 60 или 80 мм расположены специальные форсунки для распыливания воды. Число распылителей и общий расход воды трубами выбирали так, чтобы количество воды, охлаждающее каждую часть профиля, было пропорционально ее площади.

После предварительного опробования были приняты следующие конструкции распылителей. Распылитель для охлаждения головки (рис.

161, а) состоит из корпуса, на одном из концов которого имеется канавка шириной 8 мм и глубиной 10 мм. В дне канавки находится отверстие диаметром 3 мм. В торце вставки, ввернутой в корпус, имеется сверление диаметром 8 мм и глубиной 9 мм. Это сверление сообщается с одной стороны с отверстием в корпусе распылителя, а с другой посредством четырех каналов, расположенных по касательной к окружности, — с кольцевым зазором между вставкой и корпусом. Вода из трубы под давлением попадает в кольцевой зазор между корпусом распылителя и вставкой, а оттуда через каналы в осевое сверление и выходит в распыленном состоянии через отверстие в корпусе распылителя. Распылитель обеспечивает конус распыливания с углом 62—65° вдоль длины прорези и расходует 2,5 и 4,8 $\text{дм}^3/\text{сек}$ воды при давлении соответственно 0,1 (1,0) и 0,4 $\text{Мн}/\text{м}^2$ (4 ат).

Для охлаждения шейки применяли распылитель без канавки (рис. 161, б) с выходным отверстием диаметром 2 мм и углом распыливания 40—45°. Для охлаждения подошвы применяли распылитель с выходным отверстием 3 мм и углом распыливания 64—69°.

Рельсы нагревали в специальной печи до 850—870 °С, после чего задала в закалочную машину.

Применяли два режима закалки: 1) после закалки самоотпуск рельсов; в этом случае продолжительность закалки составляла 10 сек, не считая времени на открытие и закрытие задвижки; 2) после закалки отпуск рельсов; в этом случае продолжительность закалки составляла 15 сек также без учета времени на открытие и закрытие задвижки.

Перед закалкой рельс подстуживали для того, чтобы снизить температуру краев подошвы, которые в печи несколько перегревались. При выходе из стана края подошвы всегда бывают более холодными.

Температура печи при всаде рельсов для отпуска составляла 650—680 °С. Печь медленно охлаждали так, что в конце отпуска температура ее снижалась до 530—560 °С. Отпуск продолжался 3 ч.

Следует отметить, что после закалки рельсы оставались прямыми. Некоторое незначительное их искривление возникало только в процессе отпуска. Это большое достоинство данного способа закалки рельсов.

Химический состав закаленных рельсов следующий: 0,65% С, 0,75% Мп, 0,19% Si, 0,035% Р, 0,029% S. Механические свойства рельсов приведены в табл. 13.

В опытах получено недостаточное повышение механических свойств, особенно предела пропорциональности. Объясняется это сравнительно низким содержанием в рельсах углерода и марганца. Отпуск был выб-

Таблица 13

Механические свойства термически обработанных рельсов

Термическая обработка рельсов	$\sigma_{\text{в}}, \text{Мн}/\text{м}^2 \cdot 10^{-1}$ (кас/мм ²)	$\sigma_{\text{р}}, \text{Мн}/\text{м}^2 \cdot 10^{-1}$ (кас/мм ²)	$\delta, \%$	$\psi, \%$	Твердость НВ на поверхности катания
Без термической обработки	88,8—88,9	36,8—39,3	9,05—9,0	12,4—14,3	236
Закалка с самоотпуском	113,9—114,2	67,3—57,6	8,8—6,4	36,8—34,4	356
Закалка с отпуском в печи; охлаждение вместе с печью	97,3—98,0	63,8—63,9	9,7—9,5	38,3—39,9	255
То же, охлаждение на воздухе	98,4—100,7	59,9—57,2	8,7—8,9	36,3—32,7	257

ран неудачно, так как значительно снижал прочностные характеристики и твердость. Твердость рельсов должна быть выше 300—320 НВ. Резко возросло относительное сужение, что характерно для сорбитной структуры стали. Ударная вязкость оказалась высокой и одинаковой по всему профилю рельса. Ударная вязкость термически обработанных рельсов по сравнению с необработанными возросла примерно в два

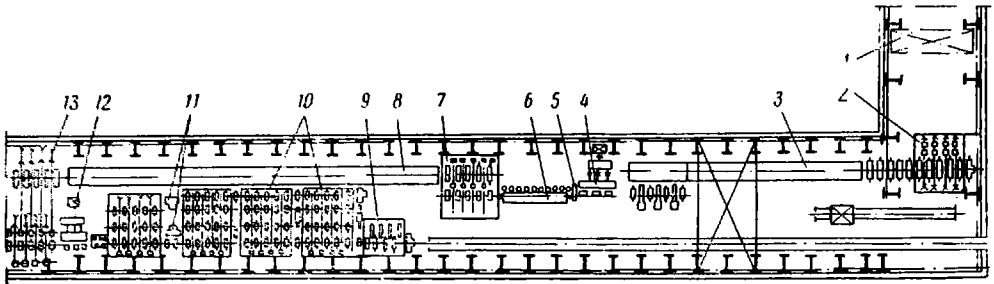


Рис. 162. Схема расположения оборудования в термическом отделении

раза. При -40°C сохранилась высокая ударная вязкость, вполне гарантирующая рельсы от хрупких разрушений.

При испытании рельсов на усталость на машине с катящейся нагрузкой были получены следующие результаты: термически необработанный рельс выдержал 110 тыс. циклов до излома, закаленный с самоотпуском в печи 137 тыс. циклов и нормализованный 124 тыс. циклов.

Для рельсов из низкоуглеродистой стали этот способ закалки обеспечивает наибольшее возможное улучшение свойств и постоянство их по сечению профиля. Были получены высокие механические свойства, высокая ударная вязкость, повышенная усталостная стойкость рельсов, низкая температура перехода в хрупкое состояние.

На рис. 162 показана схема поточной линии термической обработки рельсов, имеющейся на одном из отечественных заводов. Готовые (термически не упрочненные) рельсы длиной до 25 м со склада при помощи магнитного крана 1 подаются на стеллаж 2. На рольганге рельсы комплектуются в пачки по 8—10 шт. (в положении «лежа на боку») и задаются (с интервалом 5—6 мин) в закалочную роликовую печь 3.

Нагретые рельсы по одному выдаются из печи, кантуются в положении «стоя на подошве», правятся на роликовой машине 4 и роликами 5 задаются в закалочную машину 6 для объемной закалки в масле. Последняя представляет собой барабан длиной 26 м с горизонтальной осью вращения. По окружности барабана расположены 12 линий с каретками для рельсов. При повороте барабана на 30° рельс, нагретый до 850°C , погружают в масло (имеющее температуру $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$), а с диаметрально противоположной стороны выдается закаленный рельс. На стеллаже 7 закаленные рельсы собираются в пачки (по 12—18 шт.) и направляются в печь 8 для отпуска (конструкция этой печи аналогична конструкции печи 3) при температуре примерно 450°C в течение 2 ч. Далее рельсы охлаждаются на холодильнике 13 и правятся в горизонтальной и вертикальной плоскостях на комбинированной роликотправильной машине 12. Предусмотрена возможность дополнительной правки рельсов на вертикальных прессах 11. Выправленные рельсы подвергаются инспекторскому осмотру на стеллажах 10, пакетируются в пачки по 25 шт. на специальном механизированном устройстве 9 и затем маг-

нитным краном загружают в железнодорожные вагоны или транспортируют на склад.

В соответствии с техническими условиями твердость поверхности головки после термообработки должна быть в пределах 320—380 НВ.

Объемная закалка в масле улучшает свойства рельса. Поэтому рельсы, закаленные в масле, будут прочнее рельсов, подвергнутых поверхностной закалке. При объемной закалке рельсов получается большее упрочнение шейки посредине ее высоты и в местах перехода шейки в головку, а также подошвы в средней трети ее ширины, т. е. упрочнение тех частей профиля, в которых возникают высокие напряжения и концентрируются дефекты седьмой и четвертой групп (согласно классификации дефектов МПС).

Поверхностную закалку рельсов широко исследовали в Советском Союзе и за рубежом. Методы поверхностной закалки проще, чем методы объемной закалки. Долгое время считали рельсы дешевой «торговой» продукцией, которую экономически нецелесообразно подвергать полной термической обработке, например закалке с отпуском. Многие авторитетные исследователи до настоящего времени считают, что рельс достаточно прочен и нужно только упрочнить поверхность катания его против смятия, истирания и образования выщербин. По нашему мнению, это основано на недоразумении. Если в настоящее время положение с большинством дефектов, кроме явлений контактной усталости, является более или менее благополучным, то это объясняется тем, что значительно увеличилась масса 1 м рельса, толщина шейки и подошвы, а также содержание углерода в стали.

Опыты по термической обработке легированных рельсов показывают, что для получения удовлетворительных свойств обработанного слоя необходимо снижать содержание углерода в рельсовой стали. В результате этого при поверхностной обработке головки резко снизится прочность шейки и подошвы и неизбежно возникнут дефекты седьмой и четвертой групп.

Следует отметить, что термически необработанная сталь работает зимой при температурах ниже порога хладноломкости. Кроме того, в легированных рельсах сравнительно жесткая закалка поверхности обрызгиванием водой вызовет чрезмерно высокие напряжения и в закаленной зоне. В углеродистых рельсах необработанный металл шейки и подошвы окажется неработоспособным в пути при возрастании нагрузки на ось, скоростей движения и грузонапряженности дорог. Поэтому нецелесообразно оставлять большую часть сечения рельса необработанной и не использовать то повышение прочностных свойств и пластичности стали, которые обеспечивает термическая обработка.

При поверхностной закалке водой, хотя бы даже при прерывистой закалке, появляются значительные напряжения первого рода, вызывающие большое искривление рельсов. Значительные местные напряжения возникают также около различных концентраторов напряжений (например, болтовые отверстия и др.). Это свидетельствует о больших напряжениях в рельсах.

Опыты показали, что полная объемная закалка рельсов в воде невозможна, так как приводит к их разрушению по шейке. Закалка в масле вызывает значительно меньшие напряжения.

В рельсоотделочном отделении рельсы подвергают правке в холодном состоянии на роликовых правильных машинах. Обычно в крупных рельсобалочных цехах для правки рельсов устанавливают две пяти-семироликовые правильные машины. Скорость правки колеблется в пределах 0,8—1,6 м/сек.

Ролики установлены консольно на приводных валах, имеющих опоры на роликоподшипниках (радиальных и осевых). Верхний вал каждого ролика установлен в эксцентричной кассете-втулке, имеющей привод от электродвигателя. Таким образом, вращением эксцентричной втулки достигается радиальная (вертикальная) установка верхних роликов.

Для направления рельса в машину и частичной доправки его в горизонтальной плоскости имеются два вертикальных холостых ролика.

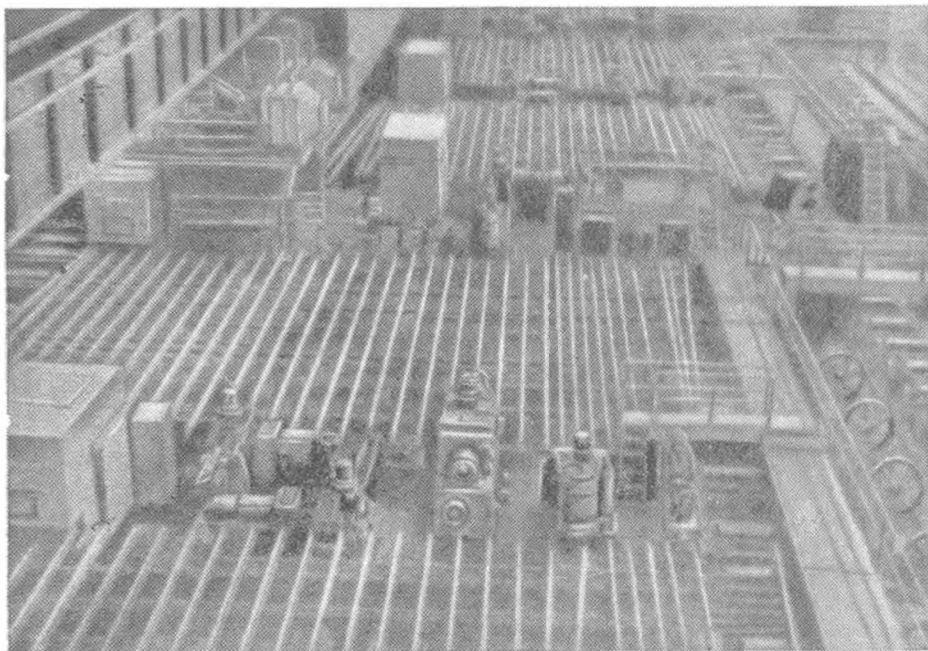


Рис. 163. Общий вид поточной линии отделки рельсов

Установка каждого из этих роликов на необходимый размер профиля осуществляется винтами.

Правку рельсов на этих машинах чаще всего производят на ребро, т. е. в плоскости наибольшей жесткости, и значительно реже плашмя. При правке рельсов плашмя давление испытывают шейка и внутренние стороны головки и подошвы, благодаря чему усилия правки не вызывают дополнительных напряжений в рабочих частях подошвы и головки; последнее наблюдается при правке рельса на ребро.

Кроме двух роликовых правильных машин, в рельсоотделочной мастерской устанавливают четыре вертикальных штемпельных прессы (по два прессы на каждую машину). Эти прессы применяют для правки рельсов в плоскости наименьшей жесткости и для доправки концов рельсов, которые на роликовых правильных машинах выправляются недостаточно. Усилие каждого такого прессы равно 2 Мн (200 тс). Прессы оборудованы кантователями для кантовки рельсов во время правки.

Перед каждой роликовой правильной машиной и каждым штемпельным прессом имеются стеллажи для накопления рельсов.

После правки торцы рельсов фрезеруют, а затем сверлят дыры. Последние делают овальными. Эти операции выполняют на фрезерных и сверлильных станках. На отдельных заводах обе операции производят одновременно на комбинированных станках. Однако в последнее время

3) кантователь для кантовки рельсов на 90° в начале и в конце поточной линии.

Выправленные рельсы по рольгангу подают к поточным линиям отделки и канатными шлеперами укладывают на стеллажи перед фрезерными станками на расстоянии 300 мм друг от друга. Со стеллажей рельсы подают к фрезерным станкам, а затем к сверлильным станкам и установкам для высокочастотной закалки, при этом расстояние между рельсами автоматически увеличивается до 500 мм.

На фрезерных станках рельсы автоматически зажимаются гидравлическими зажимами и фрезеруются одновременно с обоих концов. Возвращение фрезерных головок и зажимов в исходное положение также происходит автоматически.

Рельсы одновременно подают к фрезерным и сверлильным станкам. Затем рельсы автоматически приподнимаются над стеллажами и гидравлическими вталкивателями подаются к сверлильным станкам, где их зажимают и сверлят отверстия.

После этого рельсы подают к установкам для последней отделочной операции — высокочастотной закалки концов рельсов, которая позволяет автоматизировать термический процесс, увеличить производительность и получить хорошее качество рельсов.

Чтобы увеличить прочность и износостойчивость концов рельсов, производят закалку с обеспечением сорбитовой структуры. Для проведения закалки концов рельсов имеются специальные кабины, каждая из которых предназначена для закалки одного конца рельса. В этих кабинах на конец рельса надевают индуктор, подключенный к высокочастотному генератору. После нагрева конца рельса индуктор выключается и включается охлаждающая жидкость — вода или эмульсия. Охлаждающую жидкость подают периодически, что обеспечивает самоотпуск закаленной стали и получение сорбитовой структуры. Время нагрева конца рельса 40—45 сек, время охлаждения около 30 сек. Длина закаленного конца рельсов составляет около 100 мм, но не более 150 мм, причем глубина закаленного слоя должна быть не менее 4 мм. Кроме того, должен быть постепенный переход от закаленного слоя к незакаленному, отсутствовать перегрев и должна быть обеспечена правильная конфигурация закаленного слоя металла по поперечному сечению и по длине рельса. Твердость закаленных концов рельсов должна быть не менее 300 и не более 401 НВ.

После отделки рельсы поступают на рольганг, по которому их передают на инспекторские стеллажи, где производят окончательную приемку рельсов.

На инспекторских стеллажах производят осмотр рельсов, который позволяет выявить внешние дефекты (трещины и волосовины, следы усадочной раковины и рыхлости, плены, неправильный профиль, скрученные рельсы и др.). Наружная поверхность рельсов должна быть гладкой, без плен, рванин, трещин и закатов. Единичные волосовины и закаты на поверхности рельсов допускают глубиной не более 0,3 мм. Торцовые поверхности рельсов и поверхности их болтовых отверстий не должны иметь следов усадки в виде расслоений и трещин.

Основным испытанием, определяющим свойства рельсовой стали, является испытание рельсов на удар на копре. От одной из рельсовых полос каждой плавки в горячем состоянии после обрезки усадочного конца полосы отрезают пробу. Последнюю укладывают головкой кверху на опоры копра, расставленные на расстоянии 1 м и ударяют бабой (массу и высоту принимают в соответствии с ГОСТом). Проба рельса должна выдерживать испытание, причем на поверхности не допускаются

грешины или другие признаки разрушения; стрела прогиба должна быть определенной величины.

Для испытания рельсов на разрыв изготавливают нормальные разрывные образцы, вырезанные из головки рельса. Предел прочности при растяжении должен быть не менее 800 Мн/м^2 (80 кгс/мм^2). Контрольные испытания на растяжение производят от каждой десятой плавки. Дополнительные испытания на растяжение производят по требованию инспектора в спорных случаях. Технические условия на железнодорожные рельсы, правила приемки и методы их испытания, а также маркировка рельсов приведены в ГОСТ 8160—56.

После инспекторской приемки рельсы поступают на склад готовой продукции для отгрузки.

Балки, швеллеры и другие профили сортовой стали, прокатываемой на рельсобалочных станах, после резки на мерные длины на салазковых пилах и охлаждения на холодильнике поступают в специальное отделение, где подвергаются различным отделочным операциям.

Для правки балок, швеллеров и других профилей в этом отделении устанавливают такие же роликовые правильные машины, как и для правки рельсов. Для правки сортовой стали в плоскости большей жесткости и для доправки концов полос, не выправленных на роликовой сортоправильной машине, устанавливают горизонтальные правильные прессы.

Для резки проката на мерные длины и вырезки брака после осмотра профилей на инспекторских стеллажах устанавливают ножницы холодной резки.

Укладка в штабеля сортового проката производится штабелирующей машиной, состоящей из сварной рамы, перемещающейся по рельсам на четырех ходовых колесах с установленным на ней подъемным столом.

Для кантовки сортового проката при осмотре на инспекторских стеллажах применяют кантователь. Он установлен на тележке, имеющей возможность передвигаться по рельсам вдоль инспекторского стеллажа.

ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВОЙ СТАЛИ

1. СОРТАМЕНТ

Наиболее распространенные профили общего назначения, прокатываемые на сортовых станах 250—750, приведены в табл. 14.

Наибольшую долю в общем выпуске сортовой стали составляет круглая сталь, прокатываемая с обычной и повышенной точностью. Круглую сталь, как правило, поставляют в прутках. Круглую сталь диаметром до 8 мм включительно поставляют в мотках. По соглашению сторон круглую сталь диаметром 9—22 мм можно поставлять в мотках [III. 3; IV. 3, 5, 15].

Квадратную сталь прокатывают с точно выполненными и закругленными углами. Допуски при повышенной точности предусмотрены только для квадратной стали со стороной менее 150 мм. Прутки со стороной квадрата до 100 мм включительно прокатывают с прямыми углами, а свыше 100 мм — с закругленными (радиус закругления не более 0,15 стороны квадрата).

С каждым годом увеличивается производство полосовой стали, для прокатки которой в настоящее время устанавливают специальные непрерывные станы.

Угловую сталь прокатывают также с обычной и повышенной точностью.

Современные сортовые станы прокатывают большое количество простых и сложных специальных профилей, применяемых главным образом в различных отраслях машиностроения.

Качество сортовой стали должно отвечать определенным требованиям, указанным в технических условиях и стандартах.

2. СОРТОВЫЕ СТАНЫ

К сортовым станам обычно относят станы 250—750. Некоторые из них (например, рельсобалочные, полосовые и проволочные) вследствие узкой специализации рассмотрены отдельно.









Примерная программа прокатки на современных сортовых станах приведена в табл. 15. Указанные в этой таблице размеры профилей, прокатываемых на том или другом стане, в случае необходимости могут быть изменены.

Сортовые станы линейного типа являются типовыми станами старых прокатных цехов с небольшим объемом производства. Крупносортные станы этого типа обычно состоят из четырех клеток, расположенных в две линии.

На рис. 165 представлена схема расположения оборудования крупносортного стана 650 линейного типа. Черновая линия стана состоит

Таблица 14

Профили общего назначения, прокатываемые на сортовых станах 250—750

Форма профиля	Профиль	Основные размеры, мм	Масса 1 м кг	ГОСТ
	Сталь круглая	$d = 6 \div 150$	$0,222 \div 138,72$	2590—57
	Сталь квадратная	$a = 8 \div 150$	$0,502 \div 176,6$	2591—57
	Сталь полосовая	$b = 12 \div 200,$ $S = 4 \div 60$	$0,38 \div 94,20$	103—57
	Сталь угловая равнобокая	$b = 20 \div 200$	$0,89 \div 87,6$	8509—57
	Сталь угловая неравнобокая	$b = 16 \div 160,$ $B = 25 \div 250$	$0,91 \div 61,7$	8510—57
	Балка	$h = 100 \div 300$	$9,46 \div 49,9$	8239—56
	Швеллер	$h = 50 \div 300$	$4,84 \div 40,5$	8240—56
	Проволока	$d = 5 \div 9$	$0,154 \div 0,499$	2590—57

из одной дуо-реверсивной клетки с валками диаметром 800 мм, оборудованной нажимным устройством для установки верхнего вала, манипуляторами и кантователями с обеих сторон клетки.

Дуо-реверсивную клетку устанавливают в черновой линии на крупносортовых станах, прокатывающих значительное количество балок, швеллеров и других фасонных профилей из слитков или блюмов крупного сечения. Капитальные затраты в этом случае несколько больше по сравнению с черновой линией, состоящей из клетки трио. Использо-

Примерная программа прокатки на различных современных сортовых станах

Стан	Размеры профиля, мм								
	сталь круглая	сталь квадратная	сталь полосовая	сталь угловая равнобокая	швеллер Н	балка Н	рельс кг/м (не более)	сталь тавровая Н (не более)	
Крупносортовый	650	70—220	70—220	до 350	90×90—200×200	160—300	160—300	24	220
	550	50—150	50—150	до 300	75×75—150×150	100—200	100—200	24	150
Среднесортный	450	40—125	40—125	до 200	50×50—120×120	80—160	100—160	15	120
	350	25—90	25—90	до 150	45×45—90×90	50—100	100	8	100
Мелкосортный	300	16—60	16—60	до 100	20×20—60×60	50—65	—	—	60
	250	8—30	8—30	до 65	20×20—40×40	—	—	—	30

вание дуо-реверсивной клетки позволяет применять независимую схему обжатий и значительно большие обжатия, благодаря чему сокращается число проходов.

Чистовая линия стана состоит из двух клеток трио и одной клетки дуо 650. Применение чистой клетки дуо объясняется большей жесткостью и возможностью быстрее и точнее производить настройку по сравнению с клетью трио.

Валки двух клеток трио вращаются от одного электродвигателя через шестеренную клетку и универсальные шпиндели. Валки чистой клетки дуо вращаются от отдельного электродвигателя также через шестеренную клетку и универсальные шпиндели. Между клетью дуо и второй клетью трио предусмотрена возможность установки универсальных шпинделей. Таким образом, при выходе из строя одного из электродвигателей можно продолжать прокатку во всех клетях, валки которых будут вращаться от другого электродвигателя.

Валки современных крупносортовых станов линейного типа вращаются от электродвигателей, обеспечивающих широкую регулировку числа оборотов. Станы оборудованы рольгангами, манипуляторами, кантователями, качающимися столами, шлеперами, салазковыми пилами, механическими холодильниками и другими механизмами.

Обычно крупносортовые станы 650-750 устанавливают на заводах, имеющих рельсобалочные станы. В этом случае эти станы обеспечивают прокатку крупносортовой стали всех размеров.

Современные крупносортовые станы 650-750 линейного типа оборудованы сменной универсальной клетью, устанавливаемой на место чистой клетки дуо при прокатке широкополочных балок.

Среднесортные станы линейного типа обычно состоят из пяти клеток, расположенных в две линии. В отличие от крупносортовых станов черновая линия этих станов состоит из одной клетки трио, а чистовая линия — из трех клеток трио и одной клетки дуо.

Станины рабочих клеток сортовых станов линейного типа выполняют, как правило, открытыми. Эти станины менее жестки по сравнению со станинами закрытого типа, однако они дешевле и более удобны при смене валков.

Станины закрытого типа применяют в черновых дуо-реверсивных клетях крупносортовых станов. Для некоторых сортовых станов линейного типа станины чистовых клетей дуо с целью обеспечения большей жесткости также выполняют закрытого типа.

В клетях трио сортовых станов подушки среднего валка устанавливают в станинах неподвижно, поэтому настройку осуществляют перемещением верхнего и нижнего валков. Скорость перемещения валков определяется требуемой точностью настройки и на сортовых станах ее принимают небольшой (2—5 мм/сек). Валки устанавливают при помощи нажимных устройств, имеющих ручной привод.

В прокатных цехах старых металлургических заводов или заводов с небольшим объемом производства имеется большое число мелкосортовых станов 250-350 линейного типа. Рабочие клетки этих станов расположены в 2—3 линии, что позволяет увеличить скорость прокатки на чистовой линии и, следовательно, сократить машинное время прокатки, повысить температуру конца прокатки и увеличить производительность стана.

Кроме простых профилей (круглой, квадратной и полосовой стали), на этих станах прокатывают весьма разнообразные простые и сложные мелкие профили из различных сталей.

Разные программы прокатки и объем производства потребовали создания различных мелкосортовых станов, являющихся для каждого данного случая экономически выгодными.

Исходным материалом для мелкосортовых станов линейного типа обычно является заготовки сечением 60×60 — 150×150 мм. Только на старых металлургических заводах с небольшим объемом производства, на которых отсутствуют заготовочные станы, в качестве исходного материала применяют мелкие слитки.

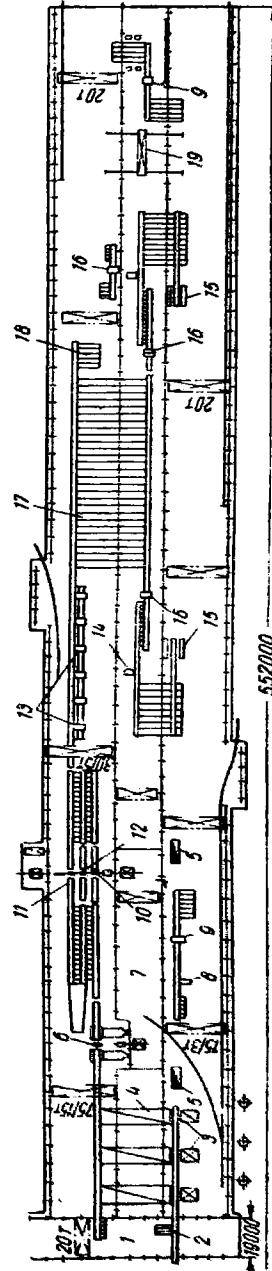


Рис. 165. Схема расположения оборудования крупносортового стана 650:

- 1 — склад блюмов; 2 — загрузочные решетки; 3 — толкатель; 4 — нагревательная печь; 5 — колодец для сканинга; 6 — черновая реверсивная клетя дуо 800; 7 — электроинерционный вал; 8, 14 — дисковые пилы холодной резки; 9 — правый валок; 10, 12 — черновые клетки трио 650; 11 — чистовая клетя дуо 650; 13 — дисковые пилы; 15 — установка готового проката; 16 — правый валок; 17 — передаточная тележка; 18 — стеллаж для качественных заготовок; 19 — передаточная тележка.

Прокатка средних и мелких профилей (например, круглой стали диаметром 8—25 мм) на мелкосортных станах линейного типа начиная с промежуточной черновой линии ведется петлями. В этом случае полоса находится одновременно в нескольких клетях и образует между ними петли. Выходящий конец полосы задают в следующую клетку вручную или автоматически (при помощи обводок).

Петлевая прокатка сокращает время прокатки, уменьшает охлаждение металла и позволяет увеличить длину и массу полосы. Благодаря возможности прокатки в несколько ниток сокращается ритм прокатки. Все это повышает производительность стана [IV. 2, 9, 12, 13, 14].

Современные мелкосортные станы линейного типа значительно механизированы и автоматизированы. Черновая клетка оборудована подъемно-качающимся столом с приводными роликами с передней стороны и кантовальными аппаратами с задней. При двух черновых клетках, расположенных в одну линию, передача полосы из калибра осуществляется автоматически.

Чистовая линия станов оборудована обводками, автоматически передающими полосы из клетки в клетку.

Для уменьшения ритма прокатки и, следовательно, увеличения производительности стана прокатка в чистовой линии производится в несколько ниток. В этом случае заготовка, вышедшая из черновой линии, разрезается на ножницах на 2—3 части, которые одна за другой прокатываются в чистовой линии.

Современные мелкосортные станы линейного типа оборудованы автоматическими холодильниками, летучими ножницами, моталками и другим оборудованием, обеспечивающим уборку и отделку проката.

Типовыми сортавыми станами современных прокатных цехов являются станы непрерывные и кросс-коунтри 350-650. На станах кросс-коунтри полоса при выходе из одной клетки прокатывается в другой (исключение составляют отдельные клетки, в которых полоса иногда прокатывается одновременно).

На рис. 166 представлена схема расположения оборудования стана 500 кросс-коунтри, состоящего из девяти рабочих клетей, расположенных последовательно в три ряда. Передача полос от клетки 5 к клетке 6 и от 8 к 9 осуществляется шлепперами. Шлепперы имеются и для передачи полосы к клетке 7, минуя 5 и 6 в случае прокатки полосы за семь проходов.

Стан предназначен для прокатки круглой, квадратной, полосовой и угловой стали, балок, швеллеров, рудничных рельсов и других профилей. Исходным материалом являются заготовки сечением 125×125 — 200×200 мм, длиной 5—6 м и массой 0,6—1,8 т.

Заготовки нагревают в пяти методических рекуперативных печах с торцовой посадкой и выдачей. После нагрева заготовки выдают на рольганг, транспортирующий их к стану. При выдаче из печи очередной нагретой заготовки с другого конца печи загружается следующая холодная. Обычно работой нескольких печей управляет один оператор с пульта, расположенного со стороны загрузки. При получении светового сигнала от оператора стана на выдачу очередной нагретой заготовки оператор печей включает двигатель толкателя.

Дальнейшие операции загрузки, проталкивания заготовок по поду печи и выдачи очередной заготовки совершаются автоматически. Ход толкателя равен толщине (ширине) заготовки. При движении вперед срабатывает концевой выключатель, толкатель останавливается и через определенное время (определяемое имеющимися в схеме управления реле времени) включается двигатель для движения толкателя на-

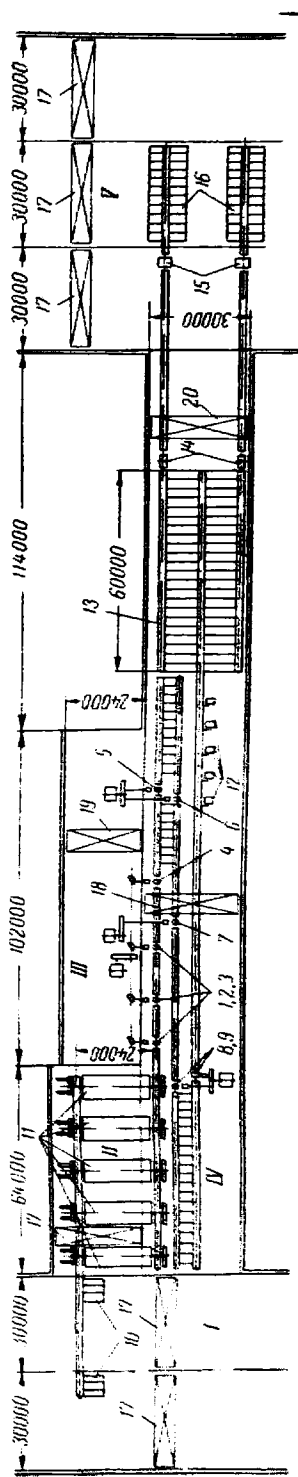
зад. Концевые выключатели устанавливаются на направляющих толкателя или у заслонки печи со стороны выдачи заготовок. В последнем случае выдаваемая из печи заготовка отклоняет заслонку, которая включает концевой выключатель, разрывающий электрическую цепь питания двигателя толкателя. Выданная заготовка засвечивает фотореле, которое дает импульс на включение рольганга.

Клетки стана оборудованы кантователями, при помощи которых полосы кантуют на 45 и 90°. При движении по рольгангу полоса передним концом, входящим во втулку, засвечивает фотореле; последнее дает импульс на включение двигателя кантователя; производится поворот втулки вместе с полосой на угол кантовки. После выхода заднего конца заготовки из поля действия фотореле дается импульс на возврат кантователя в исходное положение.

Автоматическая работа шлепперов за 5 и 8 клетями происходит следующим образом. По выходе переднего конца полосы засвечивается фотореле, которое включает двигатель привода отводящего рольганга. После выхода заднего конца полосы из поля действия этого фотореле последнее дает импульс на остановку двигателя рольганга и включение двигателя привода шлепперов. Шлепперы перемещают полосу на рольганг перед следующей клетью и при помощи импульса от конечного выключателя возвращаются в исходное положение.

Прокатанная полоса поступает к пяти дисковым салазковым пилам для резки на мерные длины. В некоторых случаях полосу без разрезки направляют на двусторонний цепной холодильник для охлаждения. На отводящих рольгангах холодильника установлены роликовые правильные машины, далее расположены ножницы для резки полосы в холодном состоянии и сборочные карманы, куда полосы сбрасывают шлепперами с рольганга и затем убирают мостовыми кранами на склад готового проката.

Некоторым видоизменением сортового стана кросс-коунтри являются



Р и с. 166. Схема расположения оборудования крупнотонного стана 500 кросс-коунтри:

1 — склад заготовок; 2 — печь прокат; 3 — машина вал; 4 — прокат стана; 5 — склад готовой продукции; 6 — 4 — черновые клетки дуго-бук; 7 — 3 — подготовительные и чистовые клетки дуго-бук; 8 — 10 — нагревательные печи; 11 — индукционные печи; 12 — индукционные печи; 13 — холодильник; 14 — правильные машины; 15 — ножницы; 16 — сборочные карманы; 17 — кран грузоподъемностью 16 т; 18 — кран грузоподъемностью 30/7,5 т; 19 — кран грузоподъемностью 25/6 т; 20 — кран грузоподъемностью 6 т.

шахматные станы, у которых чистовые клетки расположены в шахматном порядке (рис. 167). Передача полосы от одной чистовой клетки к другой осуществляется на этом стане рольгангами с косорасположенными роликами.

На рис. 168 представлена схема расположения оборудования современного сортового стана 350, на котором прокатывают круглую

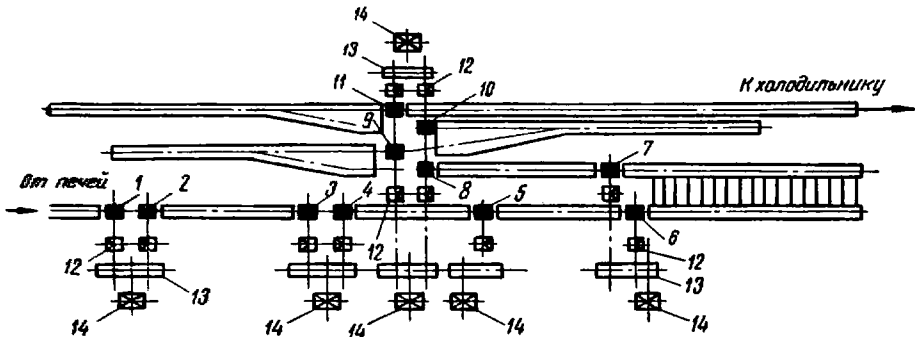


Рис. 167. Схема расположения оборудования шахматного стана 350:
 1—4 — рабочие клетки с валками диам. $D=150$ мм; 5—7 — рабочие клетки с валками диам. $D=400$ мм; 8—11 — рабочие клетки с валками диам. $D=350$ мм; 12 — шестеренная клетка; 13 — редуктор; 14 — двигатель

сталь диаметром 20—75 мм, квадратную сталь стороной квадрата 18—65 мм, шестигранную сталь диаметром 20—68 мм, полосовую сталь шириной 40—120 мм и толщиной 5—40 мм, угловую сталь от 45×45 до 90×90 мм, балки высотой 100 мм, швеллеры высотой 50—100 мм и другие простые и сложные профили специального назначения.

Стан состоит из 14 клеток, расположенных, как и на стане 500, последовательно тремя параллельными группами. Однако от последнего он отличается клетями с вертикальными валками, что исключает кантовку полосы. На стане применен индивидуальный привод валков каждой клетки.

Большее число клеток стана 350 позволило применить более крупные заготовки (от 100×100 до 170×170 мм, длина 6 м и масса 450—1350 кг), чем на станах такого же размера.

Заготовки подают мостовыми кранами на приемные решетки печного рольганга, по которому они поступают к печам. Предварительно заготовки взвешивают на автоматических весах, установленных между роликами печного рольганга.

Заготовки нагревают в трех методических рекуперативных печах с торцовой посадкой и выдачей. Между печами и первой клетью стана имеются ножницы, на которых в случае необходимости обрезают передний конец или разрезают заготовку на две части.

Нагретую заготовку прокатывают на стане за 9—14 проходов. Передача полосы от одной группы клеток к другой осуществляется шлепперами. Максимальная скорость прокатки в последней клетке составляет 15 м/сек.

После прокатки полосы поступают на рольганг со стрелкой, с помощью которой их разделяют на два потока и по сдвоенному подводящему рольгангу поочередно на левую и правую стороны двустороннего речного холодильника для охлаждения. На отводящих рольгангах холодильника установлены роликовые правильные машины, далее расположены ножницы холодной резки и устройства по уборке готового проката.

На рис. 169 показана схема автоматизации стана 300 кросс-коунтри, аналогичного стану 350 кросс-коунтри.

Главным элементом автоматического управления этим станом является регулятор темпа, который задает стану оптимальный режим прокатки. Все механизмы стана настроены на минимальное время работы, задаваемое регулятором темпа.

При помощи регулятора темпа очередные заготовки направляются в валки клетки стана через определенные одинаковые промежутки времени. Нагретая заготовка из печи 1 подается на рольганг 2. Между этим рольгангом и первой клетью стана имеется промежуточный рольганг 3, который включается автоматически через определенное время от импульса фотореле $\Phi P1$ и реле времени.

При прокатке первой заготовки в клетю на рольганг 3 подана вторая заготовка. После выхода заднего конца первой заготовки из валков фотореле $\Phi P1$ перестает засвечиваться и дает импульс на включение реле времени. Последнее через определенное время включает двигатель привода рольганга 3, и вторая заготовка поступает в валки. При выходе переднего конца раската из валков $\Phi P1$ засвечивается, и рольганг 3 останавливается; к этому моменту на нем находится следующая нагретая заготовка и т. д.

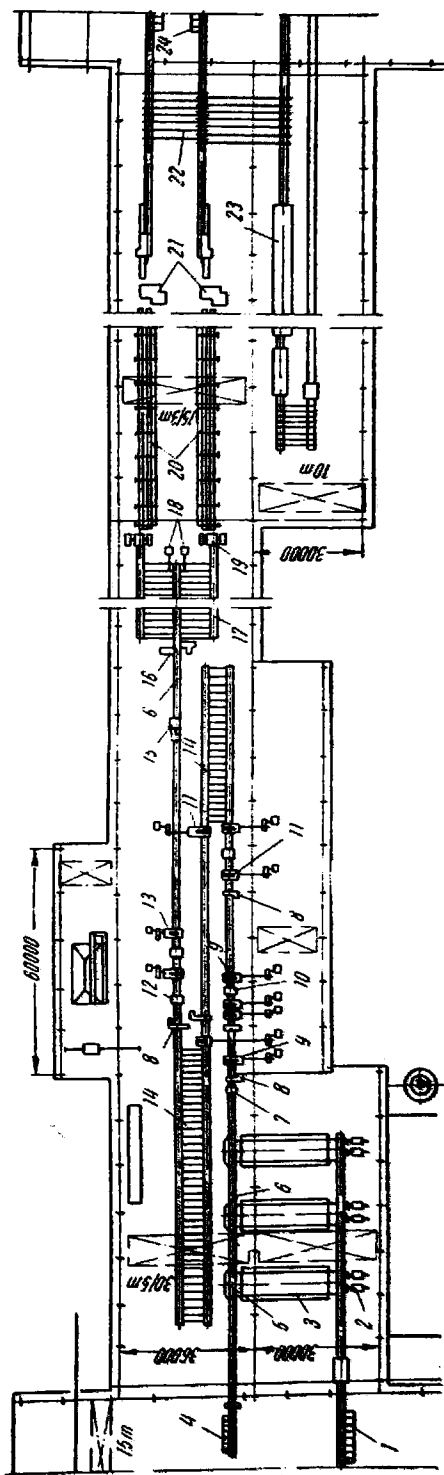


Рис. 168. Схема расположения оборудования сортового стана 350 кросс-коунтри:

- 1 — загрузочные решетки; 2 — толкатели; 3 — нагревательные печи; 4 — разгрузочная решетка; 5 — акторизатор У печей; 6 — рольганг; 7 — действующие ножницы; 8 — кантователи; 9 — четыре горизонтальные клетки Б30; 10 — две вертикальные клетки 420; 11 — четыре горизонтальные клетки 370; 12 — вертикальная клетя; 13 — горизонтальная клетя 370; 14 — шнековый транспортер; 15 — пересадная стрелка; 16 — дисковые лвы; 17 — двухсторонний холодильник; 18 — привод катаной холодной; 19 — переходная сортировочная машина; 20 — направляющие рольганги со шнеками; 21 — ножницы холодной резки сортовых профилей пачками; 22 — шлептеры; 23 — печь для термической обработки готового проката; 24 — уборочные карманы

Для успешной работы регулятора темпа прокатки необходимо, чтобы передний конец очередной заготовки занимал определенное положение перед клетью, а захват металла валками происходил без буксовки.

При движении полосы по рольгангу перед клетями II, III, V, VIII и X требуется производить ее кантовку на ходу. Кантовка производится кантовочной втулкой, имеющей привод от электродвигателя.

При выходе переднего конца из кантователя срабатывает индикатор *И1* (фотореле или флажковый выключатель *КВ*), который дает импульс двигателю привода кантователя. Последний поворачивает кан-

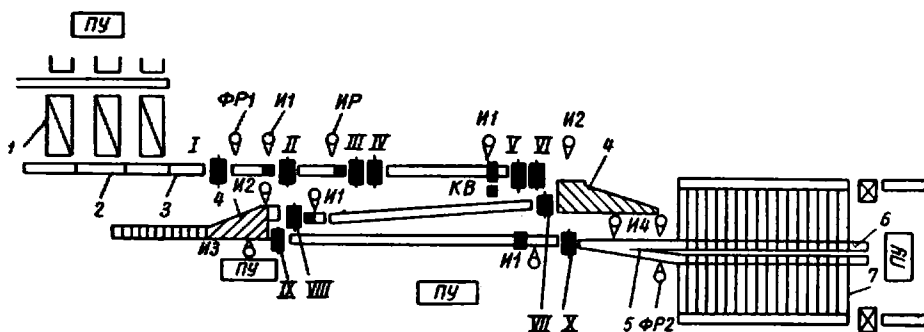


Рис. 169. Схема автоматизации стана 300 кросс-коунтри

товую втулку и останавливается конечным выключателем *КВ*. После выхода заднего конца из кантователя индикатор *И1* отключается и дает импульс на возврат кантователя в исходное положение.

Передача полосы из клетки VI в клеть VII или из клетки VIII в клеть IX осуществляется реверсированием роликов 4 рольганга.

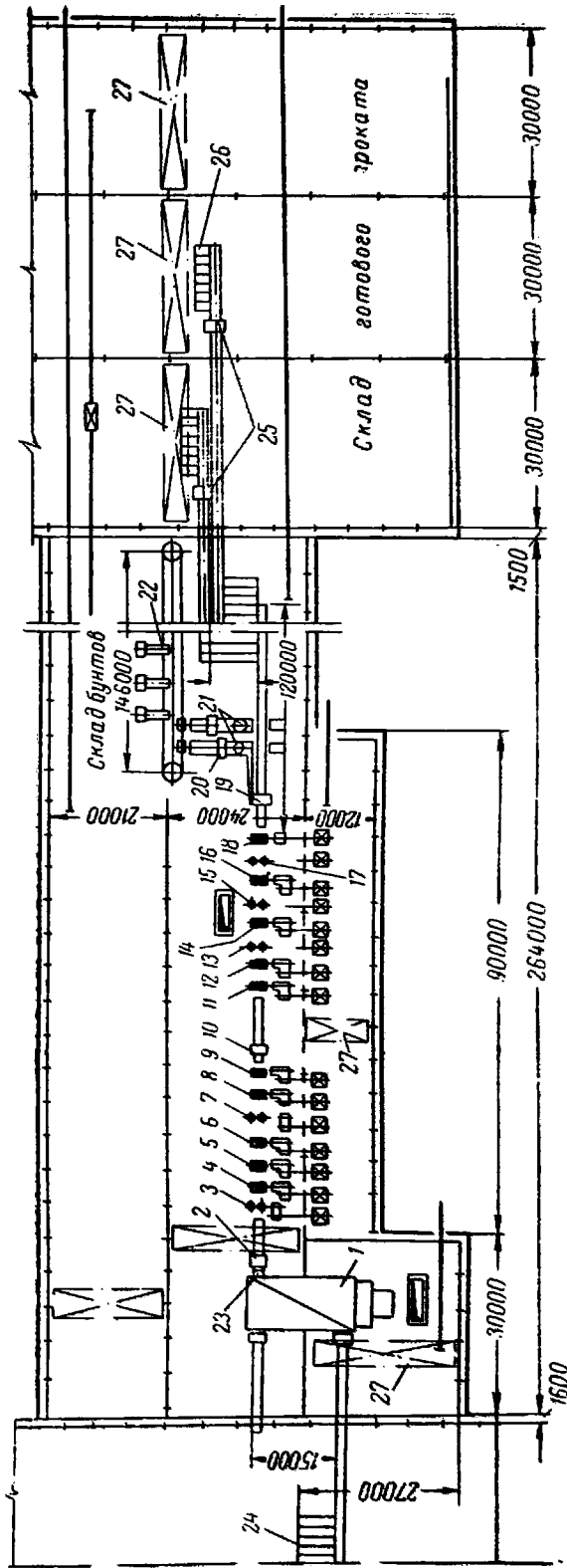
При выходе переднего конца полосы из клетки VI индикатор *И2* (фотореле или флажковый выключатель) дает импульс на включение двигателя привода косо расположенного рольганга «от стана». После выхода полосы из клетки VI реле времени через определенное время останавливает двигатель рольганга с косорасположенными роликами и затем его реверсирует. При подходе полосы к клетке VII включается индикатор *И3*; после прохождения полосы через клеть VII индикатор *И3* отключается и останавливает двигатель привода косо расположенного рольганга.

На обеих секциях холодильника автоматизированы две операции: 1) сброс полос клапанами подводящего рольганга на зубчатые рейки холодильника; 2) перемещение полос рейками холодильника.

Для периодического чередования приема полос на правую или левую секции холодильника установлено автоматическое устройство, устанавливающее приемную стрелку 5 перед холодильником в правое или левое положение.

Перед стрелкой установлен индикатор *И4* (фотореле или флажковый выключатель). При прохождении полосы под индикатором он дает импульс реле времени. После прохода первой полосы на левый рольганг холодильника реле времени отключается и дает импульс двигателю поворота стрелки. Следующая (вторая) полоса будет направляться стрелкой на правый рольганг холодильника и т. д. Таким образом, после прохода под индикатором очередной полосы положение стрелки изменяется.

Сбрасывающие клапаны 6 и зубчатые рейки холодильника работают следующим образом. За X клетью перед холодильником установ-



Р и с. 170. Схема расположения основного оборудования непрерывного сортового стана 300:

1 — нагревательная печь; 2 — ножницы; 4, 6, 6, 8, 8, 11, 12, 14, 16 и 18 — клетч дуо с горизонтальными валами; 3, 7, 13, 15, 17 — клетч дуо с вертикальными валами; 10 — летучие ножницы; 19 — летучие ножницы; 20 — выкатки для полосовой стали; 22 — моталки для квадратной стали; 23 — моталки для круглой и квадратной стали; 24 — вытаскиватель; 25 — приемная решетка; 26 — ножницы; 27 — кран

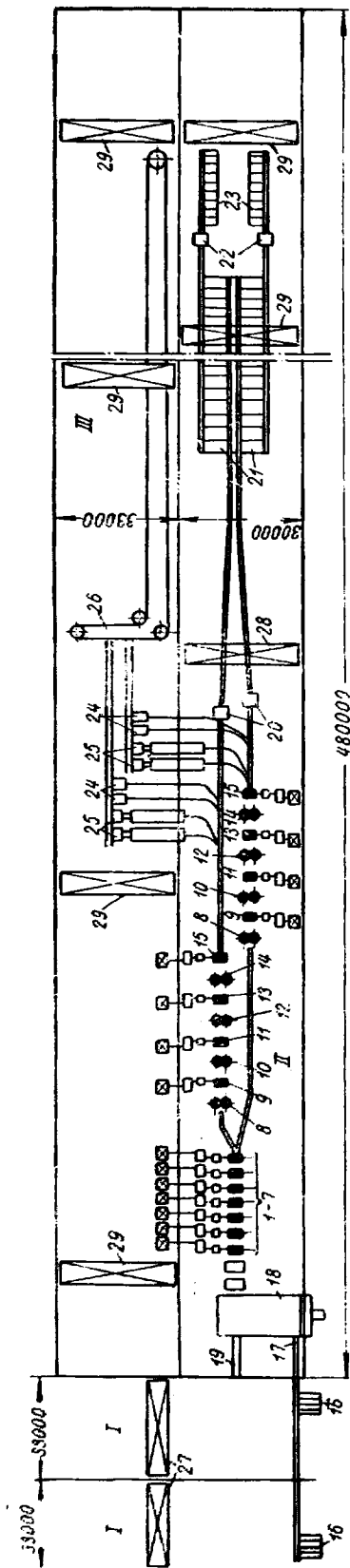


Рис. 171. Схема расположения оборудования непрерывного мелкосортного стана 250:

I — склад заготовок; II — пролет стана; III — пролет сборки окатыши и склада готовой продукции; 1-7 — черновые клетки дуо 370; 8-12 — предчистовые клетки 320 чистой группы; 13-15 — чистовые клетки дуо 270; 16 — нагреватель; 17 — втягиватель; 18 — нагревательная печь; 19 — выталкиватель; 20 — летучие ножницы; 21 — холодный; 22 — сборные карманы; 23 — металл для пролоки; 24 — металл для пролоки; 25 — металл для пролоки; 26 — металл для пролоки; 27 — кран грузоподъемностью 20 т; 28 — кран грузоподъемностью 10 т; 29 — кран грузоподъемностью 10 т; 30 — кран грузоподъемностью 10 т.

лено ФР2 (с правой и левой сторон за стрелкой). При прохождении полосы под фотореле оно срабатывает и дает импульс электронному реле времени, которое начинает отсчет времени. После определенной, установленной заранее выдержки реле времени дает импульс на включение двигателя подъема клапанов. Клапаны поднимаются, сбрасывают полосу с рольганга на рейки 7 холодильника и концевым выключателем возвращаются в исходное положение. При этом одновременно включается двигатель привода зубчатых реек холодильника, которые перемещают полосы на один шаг, после чего двигатель отключается концевым выключателем.

Таким образом, регулирование клапанами сброса движущейся полосы с рольганга на холодильник происходит в функции времени. Чтобы сброс металла происходил всегда в одном и том же месте, необходимо поддерживать скорость роликов рольганга холодильника постоянной.

Для прокатки сортовой стали широко применяют непрерывные станы. На этих станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда. Скорость прокатки на непрерывных сортовых станах достигает 20 м/сек и более.

В последние годы преимущественно устанавливали непрерывные сортовые станы 250-350.

Характерным для современных непрерывных станов является применение индивидуального привода валков каждой рабочей клетки от электродвигателей с широкими пределами регулировки числа оборотов, что позволяет точно установить скорость прокатки для каждой клетки. Кроме того, важным усовершенствованием современных непрерывных станов является также применение рабочих клеток с вертикальными валками. Установка таких

клетей исключает кантовку полосы при прокатке и ненадежные в работе кантовочные проводки.

На рис. 170 представлена схема расположения оборудования непрерывного стана 300, предназначенного в основном для прокатки простых профилей сортовой стали. Стан состоит из двух групп клетей: черновой и чистовой. Черновая группа состоит из семи рабочих клетей, из которых пять с горизонтальными валками и две с вертикальными. Валки каждой клетки вращаются от отдельного электродвигателя с широкой регулировкой числа оборотов. Между чистовой и черновой группами клетей установлены летучие ножницы для обрезки концов или аварийной резки полосы. Чистовая группа состоит из пяти клетей с горизонтальными валками и трех клетей с вертикальными валками.

Стан предназначен для прокатки круглой стали диаметром 10—30 мм, квадратной, шестигранной и арматурной стали соответствующих размеров, а также для прокатки полосовой стали толщиной 1,5—3,5 мм и шириной до 100 мм, угловой стали 20×20—50×50 мм.

На рис. 171 представлена схема расположения непрерывного мелкосортного стана 250, предназначенного для прокатки круглой стали диаметром 8—30 мм, квадратной стали со стороной квадрата 8—27 мм, полосовой стали шириной 12—70 мм и толщиной 2—4 мм и угловой стали 20×20—50×50 мм.

Черновая группа состоит из семи рабочих клетей с горизонтальными валками, каждая из которых имеет самостоятельный электродвигатель с регулируемым числом оборотов. Каждая чистовая группа состоит из восьми клетей, из которых четыре с горизонтальными валками и четыре с вертикальными. Валки всех клетей этих групп имеют индивидуальный привод от электродвигателя.

Между черновой и чистовой группами установлено двое ротационных кривошипных ножниц для обрезки концов или аварийной резки полосы. Между клетями с горизонтальными валками установлены петлевые держатели. Они устроены так, что полоса провисает или образует петлю в горизонтальной плоскости.

Стан почти полностью автоматизирован; скорость прокатки в последних чистовых клетях достигает 15 м/сек.

Исходным материалом являются заготовки сечением 60×60—80×80 мм, длиной 12 м и массой 335—595 кг.

Заготовки нагревают в трехзонной методической рекуперативной печи с боковой выдачей.

Нагретые заготовки выдают из печи выталкивателем и фрикционными роликами. За фрикционными роликами, расположенными у окна выдачи печи, установлены ножницы для резки заготовок на части в случае поступления готового проката на моталки или в случае необходимости обрезки передних концов. Скорость резки ножниц согласована со скоростью прокатки в первой клетке.

За каждой чистовой группой клетей установлены по четыре моталки для сматывания круглой стали и полосовой стали, а также летучие ножницы, которые предназначены для разрезки прутков.

Смотанные и перевязанные на вязальной машине мотки по крюковому транспортеру отправляют на склад готовой продукции.

Прутки поступают на двусторонний холодильный конвейер длиной около 125 м. Наклонная секция холодильника смонтирована так, что полосы можно продвигать группами для замедленного охлаждения или по одной. Полосы продвигаются по наклонной секции рычагами и поступают на горизонтальную секцию, на которой постепенно передвигаются

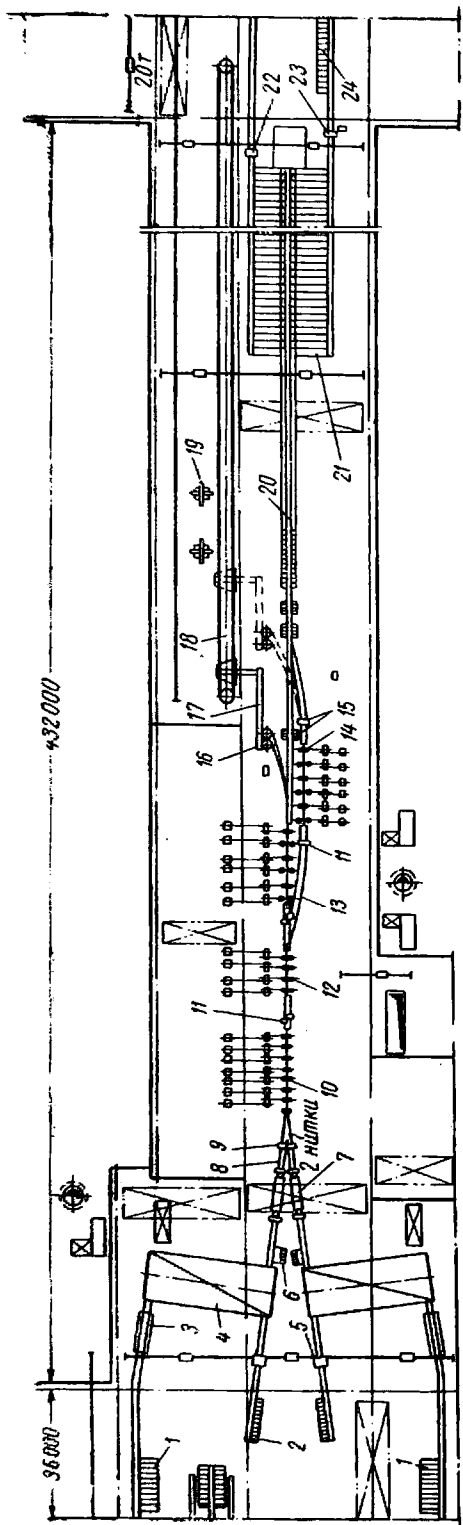


Рис. 172. Схема расположения оборудования непрерывного мелкосортного стана 250.

1 — загрузочные решетки; 2 — разгрузочные решетки для возврата; 3 — весы; 4 — нагревательные печи; 5 — машины огневой резки; 6 — стыковочные машины; 7 — петлевые ямы; 8 — индукционные подогревательные печи; 9 — ножницы; 10 — черновые клетки; 11 — аварийные ножницы; 12 — промежуточная группа клеток; 13 — петлевки; 14 — чистовая непрерывная группа клеток; 15 — летучие ножницы; 16 — моталки для круглой стали; 17 — транспортеры для бунтов; 18 — крюковые конвейеры для бунтов; 19 — съёмники и пакети ровщики бунтов; 20 — рольганг холодильника; 21 — холодильник; 22 — правильная машина; 23 — ножницы; 24 — оборотные карманы

рейками к отводящему рольгангу. После охлаждения полосы разрезают, осматривают и затем отправляют на склад готовой продукции.

На рис. 172 представлена схема расположения нового непрерывного мелкосортного стана 250. Этот стан также состоит из 23 клеток, но расположенных в четырех группах: черновой (7 клеток), промежуточной (4 клетки) и двух чистовых (по 6 клеток, из них 3 клетки в каждой группе с вертикальными валками). Кроме того, на этом стане предусмотрена возможность бесконечной прокатки, осуществляемой в результате стыковой сварки на ходу заготовок, поступающих попеременно из двух нагревательных методических печей, предварительно нагревающих заготовки перед сваркой. Для окончательного нагрева предусмотрена установка двух индукционных нагревательных печей. Скорость прокатки на этом стане увеличена до 20 м/сек.

Стан предназначен для прокатки круглой стали диаметром 8—30 мм, квадратной стали со стороной квадрата 8—27 мм, полосовой стали толщиной 2—12 мм и шириной 10—70 мм, шестигранной стали диаметром 8—27 мм, угловой стали 20×20—40×40 мм.

Исходным материалом являются заготовки сечением 60×60 и 80×80 мм, длиной 12 м и массой соответственно 340 и 600 кг.

Прокатка в черновой

группе клетей осуществляется в две нитки, а в каждой чистовой группе в одну нитку, что обеспечивает одновременную прокатку двух одинаковых или различных профилей с более жесткими допусками. Кроме того, такое расположение позволяет во время прокатки вести перенастройку другой чистовой группы и ее наладку.

На рис. 173 представлена схема расположения оборудования непрерывного сортового стана 450, предназначенного для прокатки экономичных тонкостенных и облегченных фасонных профилей, штрипсов и обычного сорта: балок высотой 100—300 мм, швеллеров высотой 50—300 мм, угловой стали 60×60—125×125 мм, круглой стали диаметром 30—56 мм, квадратной стали со стороной квадрата 26—50 мм, полосовой стали толщиной 4—16 мм и шириной 125—200 мм, штрипсов со скошенными кромками толщиной 3—8 мм и шириной 272—400 мм.

Исходным материалом являются заготовки различного сечения, длиной 11—12 м и массой до 3530 кг. Заготовки можно подавать к стану непосредственно от непрерывного заготовочного стана или через печь быстрого нагрева или непосредственно от непрерывного заготовочного стана через две печи с шагающим подом для предварительного нагрева и одну секционную печь скоростного нагрева для окончательного нагрева заготовок.

На стане предусмотрена возможность бесконечной прокатки, осуществляемой в результате стыковой сварки заготовок при помощи стыкосварочных передвижных машин, установленных в потоке.

Стан состоит из 16 клетей. Черновая группа состоит из восьми клетей дуо, из которых первая — окалиноломатель, четвертая и седьмая с вертикальными валками, остальные с горизонтальными валками. Чистовая группа состоит также из восьми клетей, причем три предпоследние комбинированные и последняя универсальная.

При прокатке балок, швеллеров и штрипсов применяют комбинированные клетки с горизонтальными валками; прокатку заканчивают в универсальной клетке.

Клетки с горизонтальными валками можно перемещать в горизонтальной плоскости, а с вертикальными валками — в вертикальной плоскости. Скорость прокатки на стане 3—15 м/сек. За чистовой группой клетей установлены летучие ножницы для резки полос на длины, соответствующие длине холодильника или массе рулона штрипсов. За холодильником смонтированы правильные машины, дисковые пилы (для резки балок и швеллеров), ножницы (для резки угловой стали и всех остальных профилей простого сечения), устройства для пакетирования, клеймения, маркировки и т. п.

В каждой рабочей линии непрерывного стана установлена одна рабочая клетка. На рис. 174 приведен общий вид рабочей линии чистовой клетес с горизонтальными валками сортового стана 350. Диаметр валков 370 мм и длина бочки 600 мм. Валки вращаются от электродвигателя мощностью 1250 квт и числом оборотов 260/750 в минуту через редуктор, шестеренную клетку и универсальные шпиндели.

Так как линия прокатки является постоянной, то для использования всех калибров на бочке валков рабочую клетку вместе со шпинделями и шестеренной клеткой можно перемещать при помощи червячно-винтового привода от электродвигателя. Редуктор имеет оригинальную конструкцию — его ведомая шестерня насажена на вал, имеющий внутри отверстие; в это отверстие с одного конца по шлицам входит промежуточный вал коренной зубчатой муфты удлиненного типа.

До последнего времени станины рабочих клетей сортовых станов с последовательным расположением клетей выполняли открытыми для

облегчения смены валков. В настоящее время смена валков на этих станах осуществляется комплектной заменой каждой клетки. Поэтому станины рабочих клеток этих станов с целью обеспечения большей жесткости выполняют закрытыми.

Нижние валки сортовых станов с последовательным расположением клеток имеют нажимное устройство, которое предназначено для регулировки положения нижнего валка относительно линии прокатки. Нижний валок рабочей клетки, показанной на рис. 174, имеет нажимное устройство, аналогичное устройству для верхнего валка, но с ручным приводом от рукоятки с храповиком, выведенной вверх над уровнем пола перед рабочей клетью.

Для валков сортовых станов с последовательным расположением клеток в последние годы широко применяют подшипники жидкостного трения. Принцип работы этих подшипников заключается в том, что при всех условиях работы (при больших удельных давлениях и даже небольших окружных скоростях шейки валка) между шейкой и подшипником всегда сохраняется (не выдавливается) масляная пленка, благодаря чему шейка как бы плавает в подшипнике. Состояние жидкостного трения обеспечивается в этих подшипниках тщательной обработкой трущихся деталей и совершенно герметической конструкцией подшипника. Коэффициент трения таких подшипников очень небольшой, а при больших скоростях прокатки он даже несколько меньше, чем коэффициент трения в роликовых подшипниках. Можно принять, что средний коэффициент трения в подшипниках жидкостного трения равен 0,0015—0,003.

Подшипники жидкостного трения успешно применяют на валках высокоскоростных мелкосортных и проволочных станов вместо роликовых подшипников.

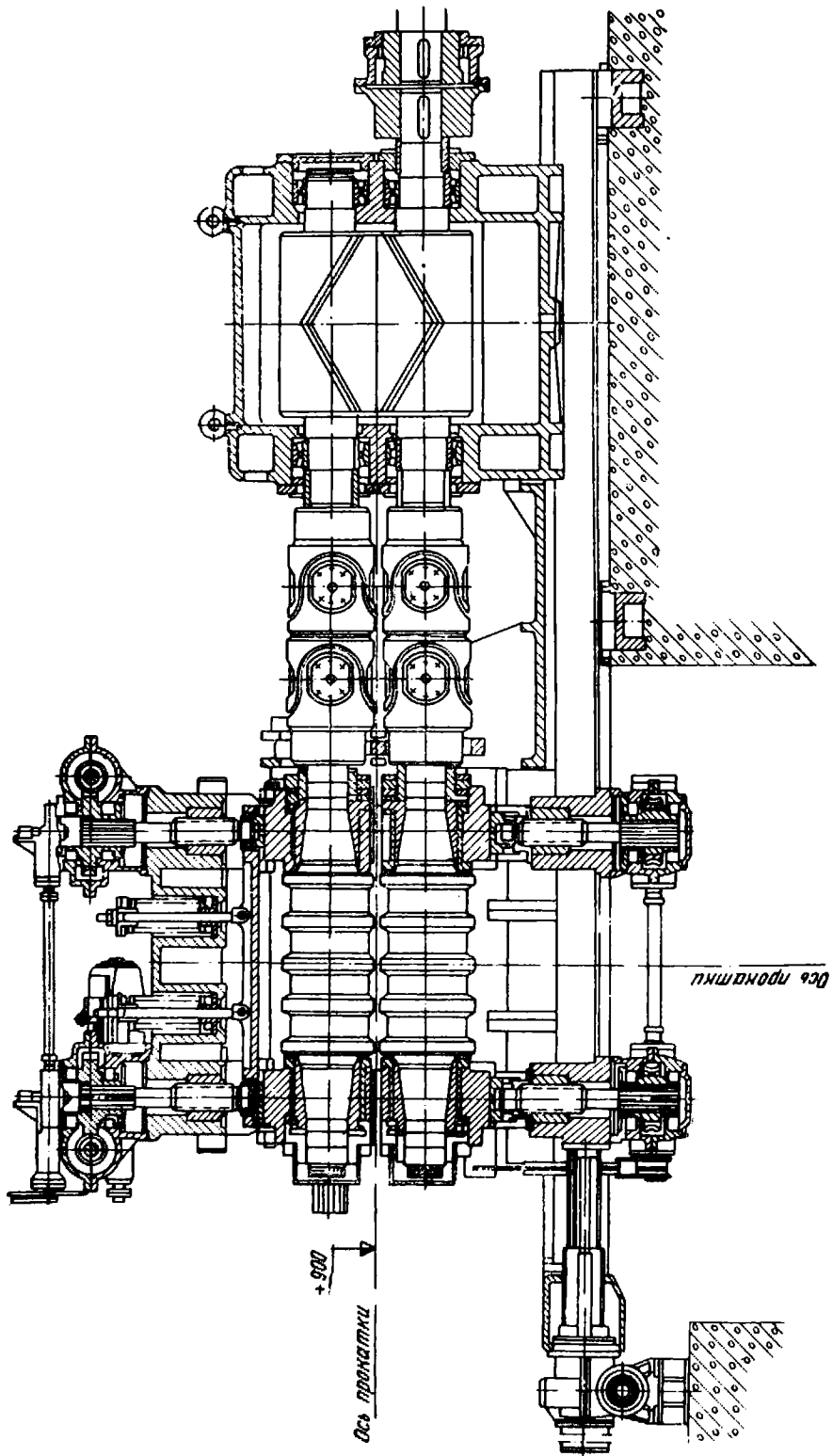
В последние годы на мелкосортных станах широко применяют также прецизионные роликовые подшипники. Эти подшипники обладают большой грузоподъемностью, хорошо самоустанавливаются, способны воспринимать осевые нагрузки и имеют очень небольшой коэффициент трения (0,002—0,006).

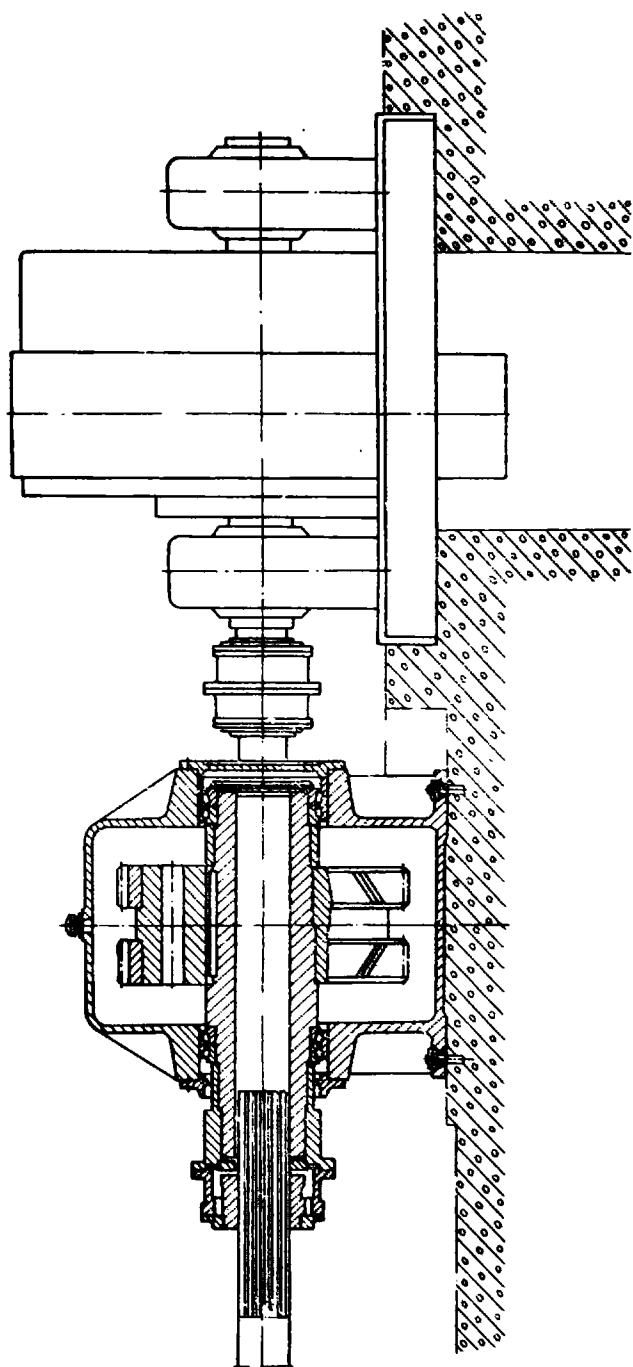
На рис. 175 показан общий вид рабочей клетки с вертикальными валками непрерывного сортового стана 350. Валки диаметром 370 мм и длиной бочки 600 мм вращаются от вертикального электродвигателя мощностью 800 квт и числом оборотов 300/750 в минуту через редуктор.

Для совмещения любого из калибров с постоянной линией прокатки валки вместе с их внутренними горизонтальными станинами могут перемещаться по вертикали при помощи нижних нажимных винтов, приводимых во вращение от электродвигателя через червячные редукторы, расположенные внизу клетки.

При смене валков осуществляют комплектную замену валков вместе с внутренними горизонтальными станинами. Внутреннюю клетку выдвигают из наружных станин при помощи цепей, приводимых от электродвигателя через редуктор.

Для уменьшения упругой деформации деталей рабочей клетки и получения готового проката с минимальным допуском в последнее время на некоторых станах применяют чистовые клетки с напряженными подушками валков. Рабочая клетка не имеет станин и нажимных винтов (рис. 176). Верхние и нижние подушки валков через прокладки стягиваются между собой толстыми болтами с усилием, превышающим давление металла на валки при прокатке. Таким образом, напряженные подушки и болты составляют замкнутую силовую систему. При





Р и с. 174. Рабочая линия клетки с горизонтальными валками сортового сталя 350

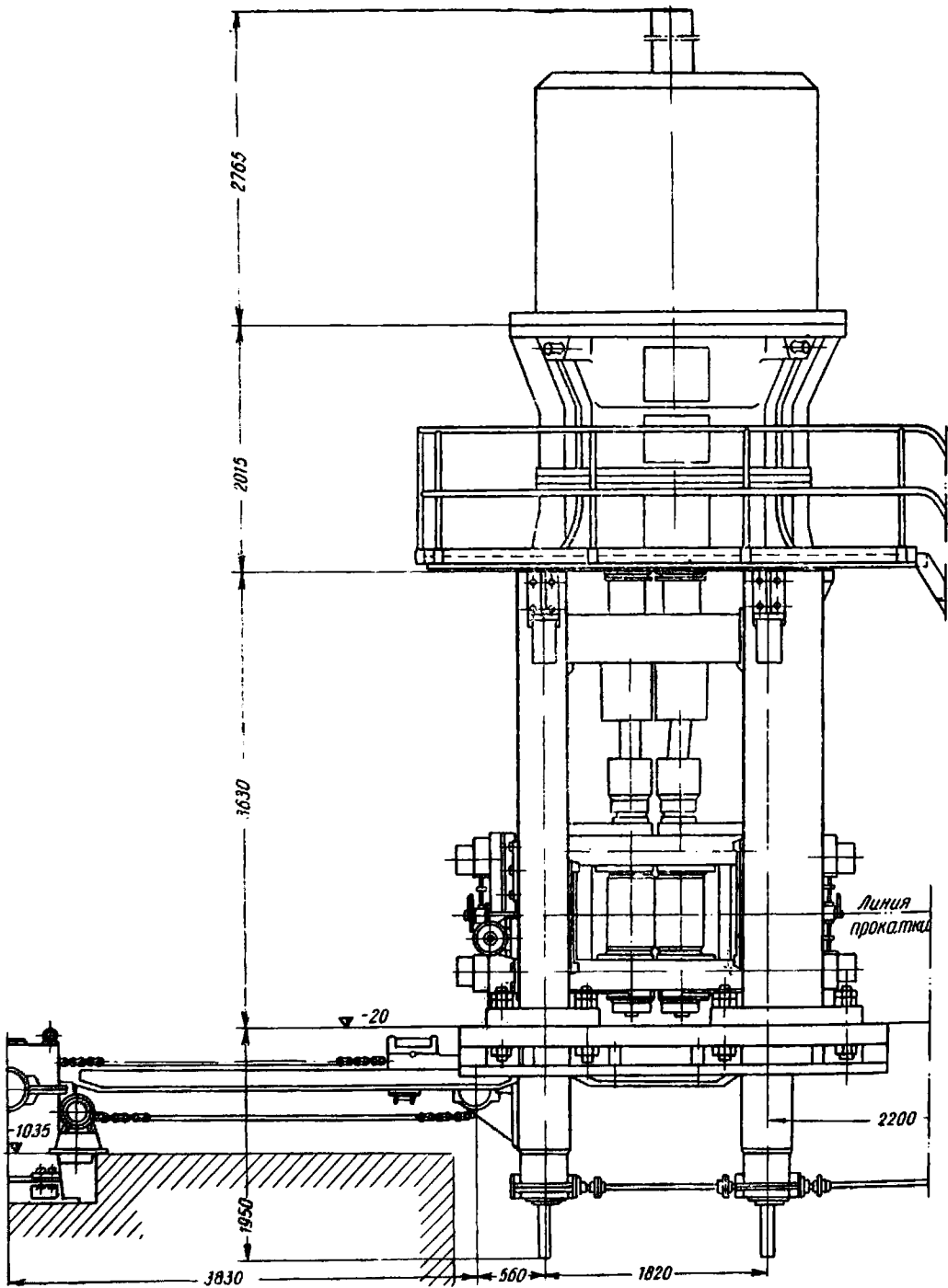


Рис. 175 Рабочая клетка с вертикальными вальками сортового стана 350

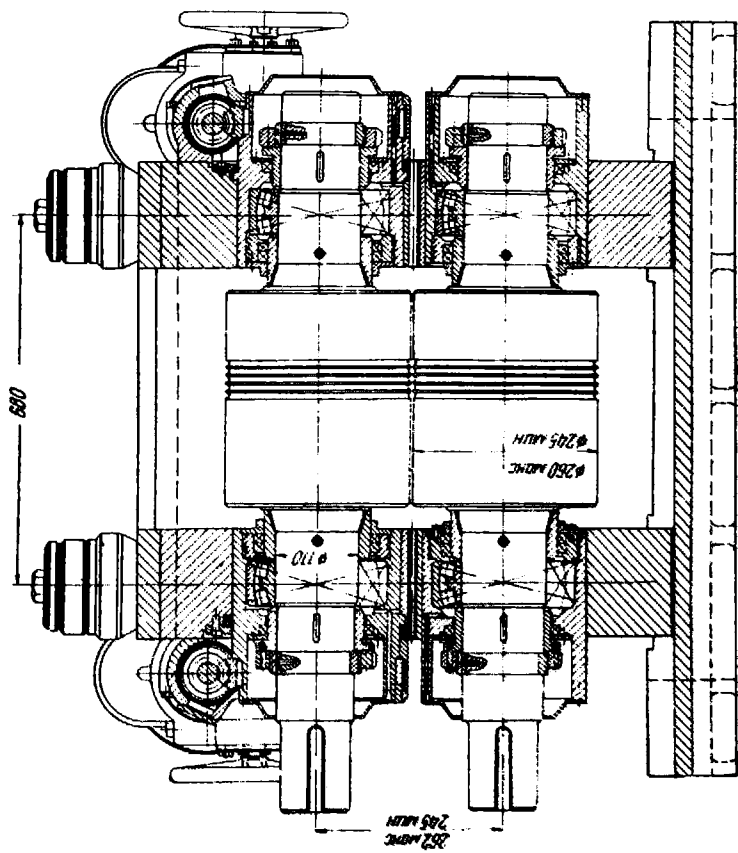
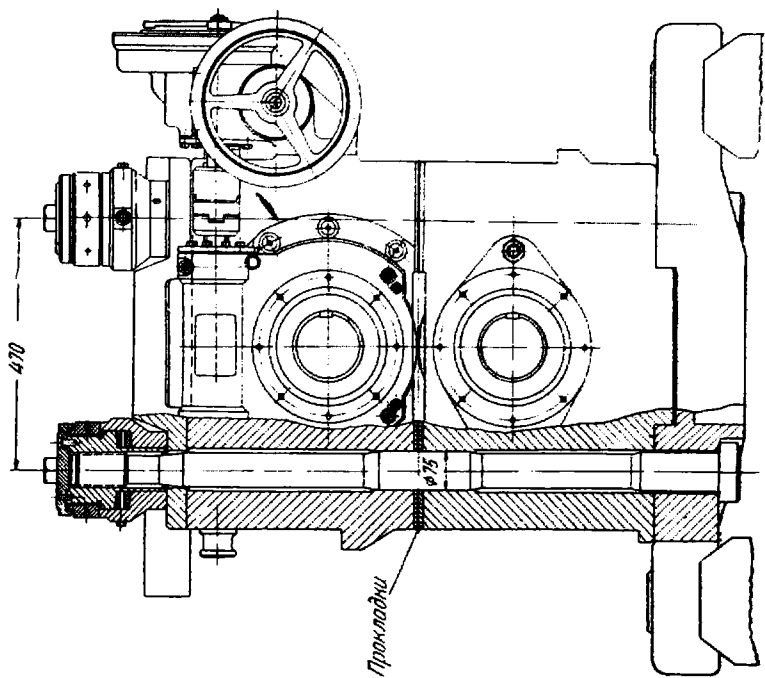


Рис. 176. Рабочая клязь с нагруженными подушками

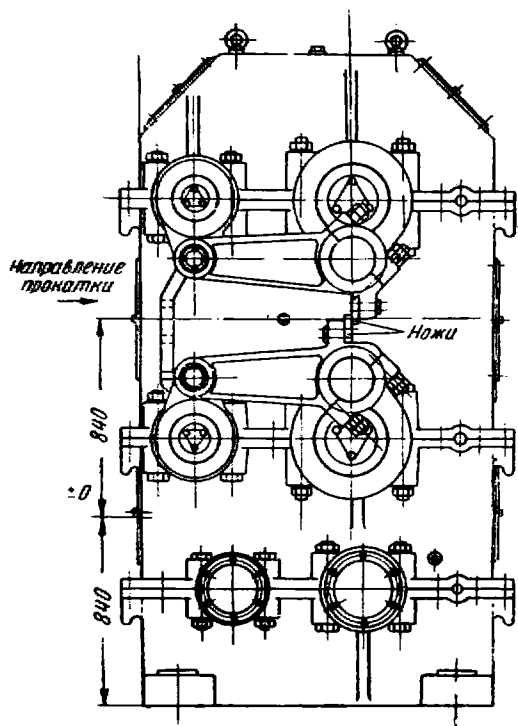
увеличении давления на шейки валков болты будут испытывать растяжение; вследствие этого напряжение сжатия в стыке между подушками будет ослабевать, т. е. упругая деформация сжатия подушек будет уменьшаться, но стык все же останется плотным, так как упругая деформация от предварительного сжатия больше, чем приращение упругой деформации при дополнительном растяжении болтов в результате увеличения давления металла на валки при прокатке. Таким образом, при изменении давления металла на валки размеры калибров валков

будут незначительно изменяться и готовый прокат будет иметь размеры в пределах заданных допусков.

Грубая установка валков осуществляется при помощи прокладок различной толщины между подушками. Точная вертикальная настройка калибров производится вращением эксцентричных втулок подшипников верхних подушек при помощи червячных передач. Измерения показали, что упругая деформация напряженной рабочей клетки в два раза меньше, чем обычной. Применение напряженных клеток при прокатке проволоки диаметром 6—8 мм позволило уменьшить допуск по диаметру проволоки до $+0,1$ мм.

На сортовых станах с последовательным расположением рабочих клеток между нагревательными печами и первой клетью устанавливают ножницы для резки заготовки пополам или на более мелкие части.

Рис. 177. Летучие кривошипные ножницы



За ножницами имеется передвижной упор (форштос) для установки длины отрезаемой части заготовки. Подъем и опускание упора над рольгангами осуществляется поворотом вала от электродвигателя через червячный редуктор и кривошипно-шатунную передачу.

На некоторых сортовых станах установлены ножницы горизонтального типа, в которых один нож является неподвижным, а другой движется по горизонтали между роликами рольганга.

На сортовых станах кросс-коунтри и шахматных применяют кантовующие втулки. По конструкции они аналогичны кантователям, устанавливаемым перед второй группой непрерывного заготовочного стана. В последнее время кантовующие втулки устанавливают также на крупносортовых станах линейного типа перед чистовой клетью дуо.

Передача полосы от клетки к клетке на сортовых станах линейного типа и от одной группы клеток к другой на станах кросс-коунтри и шахматных осуществляется шлепперами. На шахматных станах для передачи полосы от одной клетки к другой применяют рольганги с косорасположенными роликами.

На непрерывных мелкосортных и проволочных станах за черновой

группой клетей устанавливают летучие ножницы для обреза переднего конца и разрезки на части в случае необходимости. Число ножниц равно числу одновременно прокатываемых полос (ниток).

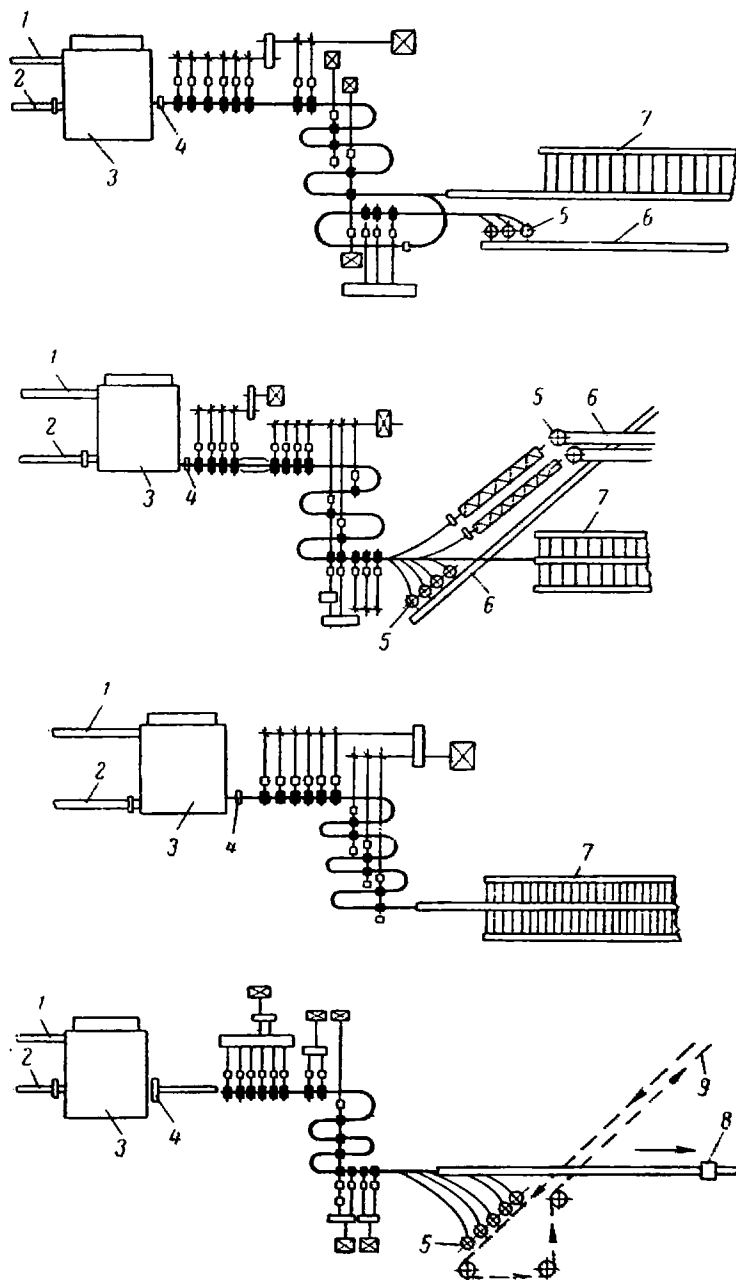


Рис. 178. Схемы расположения рабочих клетей полунепрерывных мелкосортных станов:

1 — вталкиватель; 2 — выталкиватель; 3 — печь; 4 — ножницы; 5 — моталки; 6 — транспортер; 7 — холодильник; 8 — летучие ножницы; 9 — канатный крюковой транспортер

На рис. 177 показаны летучие ножницы кривошипного типа, установленные за черновой группой клетей непрерывного мелкосортного

Характеристика современных сортовых станов с

Стан	Рабочие клетки					Главные
	номер клетки	валки	диаметр валков мм	длина бочки валков мм	максимальная скорость прокатки в последней клетке, м/сек	мощность квт
Крупносортовый 500 кросс-коунтри (см. рис. 166)	1—4	Горизонтальные	630	965	6	2206
	5,6	То же	530	965		1839
	7	» »	530	965		1103
	8,9	» »	530	965		1839
Среднесортный 350 кросс-коунтри (см. рис. 168)	1—3	Горизонтальные	530	1000	10	1000×3
	4	Вертикальные	420	600		800
	5	Горизонтальные	530	1000		1000
	6	То же	420	800		1000
	7	Вертикальные	420	600		800
	8,9,10	Горизонтальные	420	800		1250×3
	11,13	Вертикальные	370	600		800×2
12,14	Горизонтальные	370	600	1250×2		
Непрерывный сор- товой 300 (см. рис. 170)	1	Вертикальные	460	200	12	73,5
	2	Горизонтальные	410	700		184
	3	То же	410	700		331
	4,6,7	» »	410	700		441×3
	5	Вертикальные	410	400		331
	8,9	Горизонтальные	360	600		515×2
	10,12,14	Вертикальные	320	400		515×3
	11	Горизонтальные	360	600		662
	13,15	То же	320	500		662×2
Непрерывный сорто- вой 250 (см. рис. 171)	1	Горизонтальные	370	700	15	184
	2	То же	370	700		515
	3,4	» »	370	700		584×2
	5,6,7	» »	370	700		750×3
	8	Вертикальные	320	600		515×3
	10,12	Вертикальные	320	400		368×2
	13	Горизонтальные	270	500		515
	14	Вертикальные	320	400		368
	15	Горизонтальные	270	500		588

стана 300. Включение ножиц осуществляется фотоэлементами, установленными на пути движения полосы. При обрезке переднего конца кривошипы с ножами делают полный оборот и останавливаются в исходном положении.

Для прокатки мелкосортной стали применяют также полунепрерывные станы, которые обычно состоят из непрерывной черновой группы клеток и чистовой линии из нескольких рабочих клеток. В каждой клетке осуществляется только один проход.

Таблица 16

последовательным расположением рабочих клетей

двигатели		Сортамент готового проката и размеры, мм	Заготовки			Производи- тельность, ст/ч
число оборотов в минуту	сечение мм		длина мм	масса кг		
300 300—600 300—600 300—600	Сталь круглая диаметром 50—150, квадратная со стороной квадрата 50—150, полосовая шириной 130—300, угловая 75×75—150×150, швеллеры высотой 100—200, балки высотой 100—200, рельсы рудничные до 24 кг/м и др.	125×125— 200×200	5000— 6000	600—1800	120—240	
300—750 300—750 300—750 300—750 260—750 300—750 260—750	Сталь круглая диаметром 20—75, квадратная стороной квадрата 18—65, шестигранная диаметром 20—68, угловая 45×45—90×90, полосовая шириной до 150, балки высотой 100, швеллеры высотой 50—100	100×100— 170×170	6000	450—1350	50—180	
300—900 300—900 300—900 300—900 300—800 300—800 300—800	Сталь круглая диаметром 10—30, квадратная стороной квадрата 10—30, полосовая шириной до 100, угловая 20×20—50×50 лента толщиной 1,5—3,5 и шириной до 270	75×75— 100×100 и 70×100— 100×210	9000	400—1000	25—65	
300—800 300—800 300—800 300—800 300—800 300—900 300—900 450—1150	Сталь круглая диаметром 8—30, квадратная стороной квадрата 8—27, шестигранная диаметром 8—27, полосовая шириной до 70, угловая 20×20—40×40	60×60— 80×80	12000	340—600	40—100	

В настоящее время в СССР и других странах многие мелкосортные станы (полунепрерывные и линейного типа) оборудованы автоматическими обводками, что позволяет применять на этих станах большие скорости прокатки. На рис. 178 приведены схемы полунепрерывных мелкосортных станов. Во многих этих схемах наблюдается стремление разделить чистовую линию на ступени с приводом от отдельных электродвигателей, чтобы иметь различные скорости прокатки и уменьшить величину петли.

В табл. 16 приведена характеристика некоторых сортовых станов.

3. ПРОВОЛОЧНЫЕ СТАНЫ

На современных проволочных станах прокатывают круглую проволоку (катанку) диаметром 5—9 мм.

Для прокатки проволоки применяют станы трех основных типов: линейные, полунепрерывные и непрерывные. При выборе типа проволочного стана руководствуются программой прокатки, масштабом производства и качеством готового проката. Современными проволочными

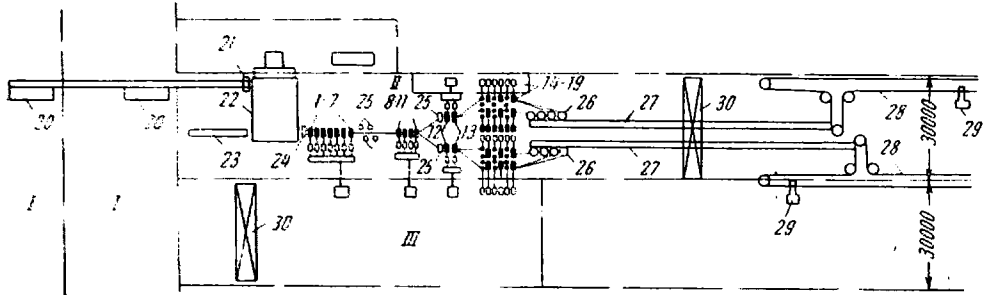


Рис. 179. Схема расположения оборудования непрерывного проволочного стана: I — склад заготовок; II — пролет стана; III — машинный зал; 1—7 — черновые клетки первой группы; 8—11 — черновые клетки второй группы; 12, 13 — предчистовые клетки; 14—19 — чистовые клетки; 20 — загрузочные решетки; 21 — вталкиватель; 22 — нагревательная печь; 23 — выталкиватель; 24 — ножницы; 25 — летучие ножницы; 26 — моталки; 27 — муфельные транспортеры; 28 — крюковой конвейер; 29 — пакетирующая машина; 30 — кран 20/5 т

станами следует признать непрерывные и полунепрерывные станы. В последнее время на отечественных заводах и заводах США для прокатки проволоки устанавливают непрерывные станы. Доля полунепрерывных и непрерывных проволочных станов составляет 70—85% общего производства катанки, причем скорость прокатки на этих станах достигает 45 м/сек и более.

Непрерывный проволочный стан, представленный на рис. 179, состоит из черновой группы (7 клеток), первой промежуточной группы (4 клетки), двух вторых промежуточных групп (по 2 клетки) и четырех чистовых групп (по 6 клеток). В чистовых группах чередуются клетки с вертикальными и горизонтальными валками. Всего стан имеет 39 рабочих клеток. Скорость прокатки в последней клетке достигает 30 м/сек. Двигатели клеток имеют весьма широкую регулировку числа оборотов (табл. 17) [IV. 2].

Таблица 17

Характеристика рабочих клеток и двигателей непрерывного проволочного стана (см. рис. 179)

Группа	Номер клетки	Валки	Размеры валков, мм		Двигатели	
			диаметр	длина бочки	мощность кат	число оборотов в минуту
Черновая	1—4	Горизонтальные	420	900	1839	300—600
	5—7		370	900		
Первая промежуточная	8—11	»	320	800	2206	300—600
Вторая промежуточная	12, 13	»	320	600	515×2	320—900
			270	400		
Чистовая	{ 14, 16, 18 15, 17, 19	Вертикальные	270	400	200×3	500—1500
			270	400		

Прокатка на стане осуществляется без образования петель. Стан расположен весьма компактно. Передний конец достигает моталок тогда, когда задний находится в печи. Первая клеть стана расположена непосредственно у печи, вследствие чего большая часть заготовки, имеющей длину 9—12 м, находится в печи и выходит из нее постепенно. Все это создает благоприятные условия для сохранения тепла заготовки и способствует выравниванию температур переднего и заднего концов полосы. Эти условия обеспечиваются также и тем, что полоса к последней клетке приходит быстрее, чем в линейных и полунепрерывных станах. В результате время прокатки в последней клетке увеличилось до 65 сек вместо 35—40 сек на проволочных станах линейного типа. Это и значительно большая скорость прокатки в последней клетке позволили увеличить массу мотка до 330 кг и более.

Исходным материалом для непрерывного проволочного стана, представленного на рис. 179, является заготовка сечением 60 × 60 мм, длиной 12 м и массой 330 кг. Заготовки нагревают в методической печи с монолитным наклонным подом длиной 15 м. Производительность печи составляет 100 т/ч. Для выдачи заготовок печь оборудована выталкивателем. Конец заготовки, выданный из печи выталкивателем, захватывается прижимными роликами (трайбаппаратом) и через распределительное устройство задается в валки первой клетки. Перед первой клетью стана установлены пневматические аварийные ножницы, на которых заготовку разрезают на части в случае задержки при прокатке.

При нормальной работе выталкиватель подает к окну выдачи четыре заготовки, которые при помощи распределительного устройства последовательно задают в первую клетку черновой группы (прокатка в четыре нитки).

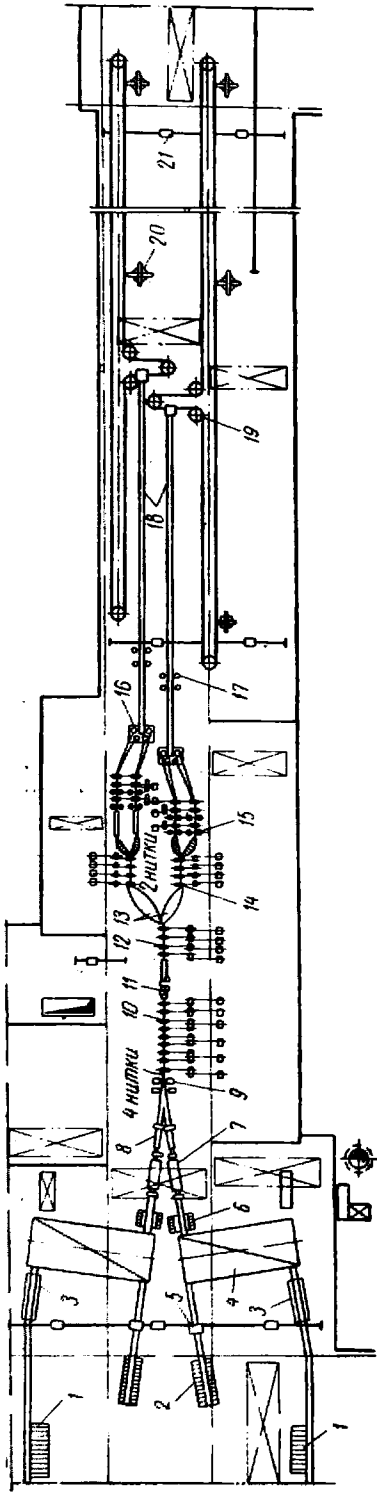
Между черновой и первой промежуточной группами клетей установлено четверо летучих ножниц для обрезки передних концов полосы или резки на части в случае аварии на стане. Аварийные ножницы установлены также перед первой клетью каждой второй промежуточной группы. На этих ножницах разрезают прокатываемую полосу при нарушении нормального процесса прокатки во второй промежуточной и чистовых группах клетей.

Практически получить точно круглую проволоку можно только при прокатке в одну нитку без заметного натяжения в отдельных клетях.

Это условие вызвало деление чистовой группы клетей на четыре отдельные группы. Все клетки каждой группы имеют двигатели с регулируемым числом оборотов. Чередование клетей с горизонтальными и вертикальными валками позволило избежать кантовки небольших овалов. Последнее весьма важно для обеспечения качества проката и безопасности при тех больших скоростях прокатки, которые применяют в чистовых клетях проволочных станов. Клетки с вертикальными валками обеспечивают также прямолинейный путь проволоки, так как часто даже незначительные отклонения от направления прокатки вызывают продолжительные задержки в работе стана. Клетки с вертикальными валками можно передвигать по вертикали, что позволяет применять валки с длинной бочкой и использовать все калибры вертикальных и горизонтальных валков.

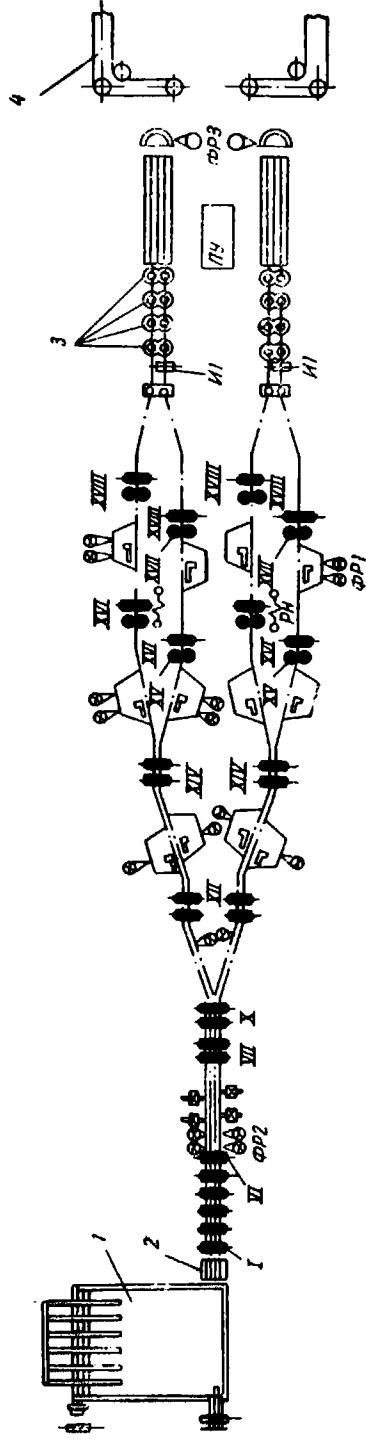
Из чистовых клетей проволока через направляющие трубки и подающие ролики поступает к моталкам.

Мотки проволоки сталкивают на цепной транспортер, проходящий вдоль каждой группы моталок, а затем на крюковой конвейер для окончательного охлаждения. На складе мотки снимают при помощи приспособления и направляют на вязальные и пакетировочные машины.



Р и с. 180. Схема расположения оборудования непрерывного проволочного стана:

1 — загрузочные решетки; 2 — разгрузочные решетки для возврата; 3 — печи; 4 — нагревательные печи; 5 — машины огневой резки возврата; 6 — стьюкароочные машины; 7 — петлевые ямы; 8 — индукционные подогревательные печи; 9 — ножицы; 10 — черновые клетки; 11 — аварийные летучие ножицы; 12 — первая промежуточная группа клеток; 13 — петлевки; 14 — вторая промежуточная группа клеток; 15 — чистовая непрерывная группа клеток; 16 — моталки для проволоки; 17 — бунтовальные машины; 18 — транспортеры бунтов; 19 — крюковые конвейеры для бунтов; 20 — съёмники и изкетирующие бунтов; 21 — передаточная тележка



Р и с. 181. Схема автоматизации непрерывного проволочного стана 250:

1 — печь; 2 — распределитель; 3 — моталки; 4 — крюковой конвейер

После этого мотки осматривают, отбраковывают, выборочно взвешивают и грузят в вагоны.

Дальнейшим развитием непрерывных проволочных станов являются станы бесконечной прокатки, прокатывающие заготовки больших размеров и массы. Для этих станов применяют печи высокоскоростного нагрева. Скорость прокатки в последней клети может быть значительно увеличена.

На рис. 180 приведена схема расположения оборудования одного из новых непрерывных проволочных станов, предназначенного для прокатки проволоки диаметром 5—10 мм из углеродистой и низколегированной стали. Исходным материалом для этого стана являются заготовки сечением 80×80 мм, длиной 12 м и массой 600 кг.

Стан состоит из 37 клетей. Черновая группа состоит из девяти клетей, из которых семь имеют валки диаметром 450 мм и две валки диаметром 370 мм. Первая промежуточная группа состоит из четырех клетей с валками диаметром 320 мм. В обеих группах прокатывают одновременно четыре нитки. Две вторые промежуточные группы состоят из четырех клетей каждая с валками диаметром 320 мм. В каждой из этих групп прокатывают две нитки.

На стане имеются четыре чистовые группы по четыре клети в каждой с валками диаметром 270 мм, из которых две клети с вертикальными валками и две с горизонтальными. В каждой чистовой группе клетей прокатывают только одну нитку. Максимальная скорость прокатки проволоки диаметром 5—6 мм в последней клети достигает 40 м/сек.

В каждой чистовой клети один рабочий валок вращается от электродвигателя мощностью 600 или 364 кВт, второй — от электродвигателя мощностью 35 кВт и числом оборотов 4000 в минуту, чтобы синхронизировать скорости обоих валков в момент захвата металла. Характеристика рабочих клетей приведена в табл. 18.

При штучной прокатке заготовки нагревают до 1150 °С в двух печах с шагающим подом, причем из каждой печи к стану подают две заготовки.

На стане предусмотрена возможность бесконечной прокатки. В этом случае в первых двух печах заготовки нагревают до 900—1000 °С, на ходу их сваривают в стык при помощи электросварочных машин и дополнительно нагревают в индукционных печах до 1150 °С. Каждую нитку прокатывают в 21-й клети.

В чистовых группах стана применены электродвигатели, допускающие увеличение скорости прокатки в последней клети до 45 м/сек. Общая мощность главных электродвигателей всех 37 клетей 20204 кВт.

На рис. 181 приведена схема автоматизации одного из непрерывных проволочных станов 250. Проволоку заданного диаметра прокатывают на непрерывном стане с образованием небольшой петли между клетями. При отсутствии петли возможно натяжение полосы. Последнее может изменяться, вследствие чего полоса получается переменной толщины, что недопустимо. Наличие петли постоянной величины является критерием правильного режима прокатки, т. е. правильного соотношения скорости прокатки в предыдущей и последующей клетях. Во избежание натяжения металла при прокатке на стане имеются три петлеобразующих кармана для каждой нитки: за второй и третьей промежуточными группами и между чистовыми группами клетей. В каждом петлевике заданная величина петли поддерживается автоматически.

При уменьшении длины петли снижают скорость валков следующей клети, а при увеличении длины петли скорость их автоматически увеличивается.

Характеристика рабочих клеток и двигателей непрерывного проволочного стана
(см. рис. 180)

Номер клетн	Валки			Электродвигатели	
	диаметр, мм	длина бочки, мм	число оборотов в минуту	мощность квт	число оборотов в минуту
1	480/430	1000	3,3—14,85	368	280—750
2	480/430	1000	4,3—19,3		
3	480/430	1000	6,25—28,1	1250	500—1150
4	480/430	1000	9,1—40,7		
5	480/430	1000	12,9—58,1	1620	350—720
6	480/430	1000	19,5—87,75		
7	480/430	1000	28,3—129	3200	320—600
8	370/335	1000	55,5—251		
9	370/335	1000	81,5—368	3200	320—600
10	320/290	800	125—600		
11	320/290	800	163—735	1620	360—720
12	320/290	800	390—934	1250	500—1150
13	320/290	800	248—1112	1250	500—1150
14	320/290	600	313—1020	800	800—1700
15	320/290	600	382—1538	800	800—1700
16	320/290	600	467—1450	800	800—1700
17	320/290	600	549—1710	800	800—1700
18B	250/225	400	697—2593	600	2100—3000
19Г	250/225	400	790—3090	600	2100—3000
20B	250/225	400	935—3400	364	1850—4000
21Г	250/225	400	1080—3870	364	1850—4000

Примечание. В — вертикальные валки, Г — горизонтальные.

Изменение скорости валков последующей клетки производится изменением тока возбуждения двигателя этой клетки. Датчиками величины петли являются два фотореле (для малой и большой петель), направленные в петлевой карман (рис. 181). При изменении длины петли интенсивность засвечивания $\Phi P1$ изменяется; при этом фотореле дает импульс электромашинному усилителю (ЭМУ), а последний регулирует силу тока в обмотке возбуждения двигателя, увеличивая или уменьшая его скорость.

После выхода из VI клетки производится обрезка переднего конца каждой нитки; включение летучих ножниц производится от импульса одного из четырех $\Phi P2$. По выходе из последней чистовой клетки нитка направляется в одну из четырех моталок; направление нитки поочередно в ту или иную моталку осуществляется трубкой, поворачиваемой от импульса индикатора $И1$.

4. ПОЛОСОВЫЕ СТАНЫ

Для производства сварных труб применяют полосовую сталь (штрипсы) шириной 30—400 мм и толщиной 1,7—15 мм. В настоящее время полосовую сталь прокатывают на специальных сортовых станах, часто называемых штрипсовыми. На этих станах прокатывают также полосовую сталь для других целей, а также ленту шириной 20—500 мм и толщиной 1,5—3,5 мм.

Технологический процесс прокатки полосовой стали, штрипсов и ленты не отличается от прокатки сортовой стали.

В настоящее время для прокатки полосовой стали устанавливают

только непрерывные станы. Это объясняется тем, что новые методы производства сварных труб основаны на непрерывных процессах печной сварки и электросварки, требующих заготовку в рулонах.

Полоса при прокатке на непрерывных станах получается меньшей разнотолщинности по ширине и лучшего качества. Скорость прокатки достигает до 20 м/сек.

Непрерывные полосовые станы имеют 13—15 клетей, из которых 10 обычно с горизонтальными валками и 3—5 с вертикальными. Все клетки, как правило, имеют индивидуальный двигатель. Исходным мате-

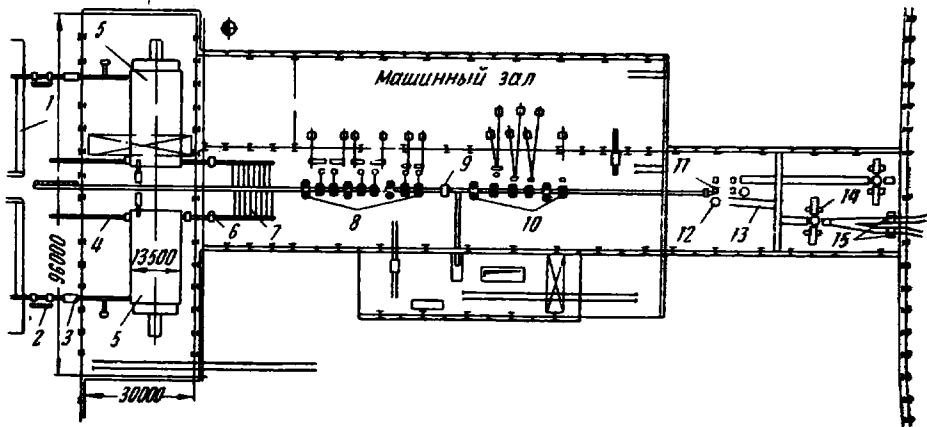


Рис. 182. Схема расположения оборудования непрерывного штрипового стана: 1 — загрузочные решетки; 2 — кангователи; 3 — вталкиватели; 4 — выталкиватели; 5 — печи; 6 — ножницы; 7 — шлепперы; 8 — черновая непрерывная группа клетей; 9 — аварийные летучие ножницы; 10 — чистовая непрерывная группа клетей; 11 — моталки; 12 — съемники бунтов; 13 — транспортеры бунтов; 14 — бунтовязальные машины; 15 — пакетирующие бунтов

риалом для этих станом являются квадратные заготовки при прокатке узких полос и прямоугольные при прокатке широких полос. Длина заготовок 9—12 м, масса до 3,8 т. Заготовки нагревают в рекуперативных методических печах с боковой посадкой и выдачей.

Так как непрерывные полосовые станы обычно прокатывают заготовки (штрипсы) для сварных труб, то их часто называют штриповыми. На рис. 182 представлена схема расположения оборудования непрерывного штрипового стана, предназначенного для прокатки штрипсов с прямыми и скошенными кромками шириной 120—460 мм и толщиной 2—8 мм. Исходным материалом являются заготовки сечением $90 \div 100 \times 120 \div 400$ мм, длиной 12 м и массой 1,2—3,8 т.

Заготовки нагревают в двух методических печах с наклонным полом, с боковой посадкой и выдачей. Производительность печи 180 т/ч.

Стан состоит из 15 клетей, расположенных в двух группах: черновой и чистовой. Черновая группа состоит из девяти клетей, из них три с вертикальными валками (1, 4 и 7) и шесть клетей с горизонтальными (2, 3, 5, 6, 8 и 9). Чистовая группа состоит из шести клетей, из них две с вертикальными валками (10 и 14) и четыре с горизонтальными (11, 12, 13 и 15). Для получения более точных размеров полосы последние три клетки с горизонтальными валками являются клетями кварты $270/500 \times 600$.

Все горизонтальные клетки (рис. 183, а) имеют одинаковую конструкцию: жесткие станины закрытого типа, верхние нажимные устройства приводятся от электродвигателей, нижние с ручным приводом при

помощи механизмов с храповиками; уравнивание верхних валков пружинное, валки клетей дуо и опорные валки клетей кварто установлены в подшипниках жидкостного трения, рабочие валки клетей кварто — в роликовых подшипниках. Все клетки с горизонтальными валками имеют привод от одинаковых электродвигателей постоянного тока мощностью 1180 кВт и числом оборотов 270—810 в минуту через редукторы и шестеренные клетки (клетей кварто имеют комбинированные редукторы — шестеренные клетки). Валки первых трех чистовых клетей вращаются от двух двигателей каждая. Валки соединяются с шестерен-

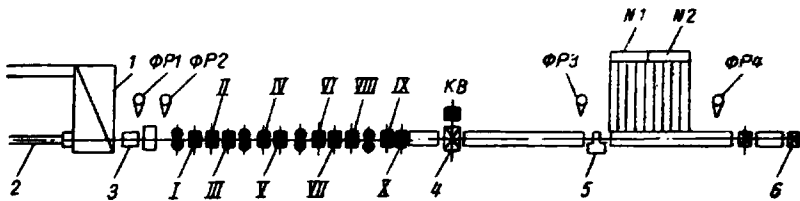


Рис. 184. Схема автоматизации непрерывного штрипсового стана

ными клетями при помощи универсальных шпинделей с шарнирами на подшипниках качения, что позволяет передавать большие крутящие моменты при большой скорости вращения валков.

Все вертикальные клетки (рис. 183, б) имеют одинаковую конструкцию. Валки 7 в виде дисков с калибрами консольно установлены на концах валов 1, приводимых отдельными вертикальными электродвигателями 2 через редуктор 3, имеющих только цилиндрические шестерни. Один валок смонтирован в подвижной раме 4, установленной в направляющих нижней станины, а другой валок — в кассете 5, перемещающейся в окне рамы. Такая конструкция позволяет расположить нажимные устройства 6 с одной нерабочей стороны и иметь независимые отдельные червячные механизмы для настройки валков. Кроме того, валки доступны для обслуживания и их смены.

В чистовой группе между клетями имеются петледержатели, регулирующие прогиб полосы.

Между черновой и чистовой группами клетей расположены летучие барабанные ножницы, предназначенные для обрезки переднего конца полосы с целью лучшей задачи ее в клеть с вертикальными валками, а также для аварийной разрезки полосы на части в случае, когда дальнейшая прокатка ее в чистовой группе по каким-либо причинам невозможна. Части полосы и обрезь убирают от ножниц тележкой с канатным приводом в скрапной пролет, в котором расположен колодец для сбора окалины, смываемой водой из-под клетей и рольгангов. Ножницы включаются от импульса установленного перед ними фотореле.

За всеми клетями с вертикальными валками расположены сопла для гидросбива окалины водой под давлением до 8 Мн/м² (80 ат), расход воды составляет 100 м³/ч.

Скорость прокатки полосы в последней чистовой клетю равна 7—22 м/сек. За этой клетью расположен рольганг с чугунными консольными роликами диаметром 300 мм и шагом 500 мм. Снизу и сверху между роликами расположены сопла для охлаждения движущейся полосы до 600°С. Полосу поочередно сматывают двумя моталками в рулоны, имеющие внутренний диаметр 650—730 мм, наружный 1300—1500 мм, массой 1200—3800 кг.

Если потребителю нужны узкие полосы и штрипсы в виде полос длиной 5—8 м, то рулоны направляют в пролет склада, где установлен агрегат поперечной резки. Он состоит из цепного приемного транспортера, двухпозиционного разматывателя, правильной машины, летучих кривошипных ножниц и пакетирующего устройства.

Все технологические операции на стане и на агрегате поперечной резки механизированы и почти полностью автоматизированы. Благодаря применению чистовых клетей кварто достигается прокатка узких полос, имеющих точные размеры по толщине и ширине. Скорость прокатки на этом стане в три раза выше, чем на старых штрипсовых станах. Производительность нового стана составляет 1,5 млн. т в год.

На рис. 184 приведена схема автоматизации одного из непрерывных штрипсовых станов. Очередная нагретая заготовка выталкивается из печи 1 штангой 2 выталкивателя и передний конец ее захватывается вытягивающими роликами 3. По выходе переднего конца заготовки из роликов засвечивается фотореле $\Phi P1$, которое дает импульс приводу рольганга перед 1 клетью. После выхода заднего конца из поля действия $\Phi P1$ последнее останавливает рольганг. Когда задний конец предыдущей заготовки вышел из поля действия $\Phi P2$, включается регулятор темпа и по истечении заданной выдержки снова включается рольганг и заготовка подается в валки 1 клетки; в это время подается следующая заготовка роликами 3 на рольганг и останавливается на нем перед $\Phi P2$.

Перед клетями VI, VII, VIII, IX и X имеются петлеобразователи, которые включаются автоматически воздействием на их электропневматический привод импульса токового реле, включенного последовательно в цепь главных двигателей. После выхода полосы из валков токовое реле отключается и дает импульс на возврат петлеобразователей в исходное положение.

За X клетью стана установлены консольные ротационные барабанные летучие ножницы 4, работающие автоматически. Нижний барабан ножниц приводится непосредственно от вала двигателя, а верхний — через зубчатую передачу с передаточным числом 4:5. Таким образом, встреча ножей, укрепленных на барабанах, происходит за каждые четыре оборота нижнего барабана и пять оборотов верхнего барабана. Длина отрезаемой полосы (между двумя последовательными встречами ножей) определяется скоростью движения прокатанного штрипса и скоростью вращения барабанов.

Двигатель привода ножниц имеет питание от преобразователя генератор — двигатель (Г—Д).

При входе прокатываемого штрипса в IX клеть токовое реле ее двигателя дает импульс на включение двигателя летучих ножниц. Последние при подходе к ним штрипса сначала отрезают его неровный передний конец, а при дальнейшем вращении барабанов производят порез штрипса на полосы определенной длины. После выхода заднего конца штрипса из IX клетки токовое реле дает импульс на отключение ножниц, при этом при помощи концевого выключателя КВ их барабаны останавливаются всегда в определенном положении, благодаря чему при последующих запусках ножниц они будут отрезать передние концы штрипсов строго определенной длины.

Порезанные штрипсы пакетируются в пачки (с накладкой полос друг на друга) и роликами 5 подаются к шлепперному холодильнику. Перед холодильником имеется $\Phi P3$, которое засвечивается движущейся по рольгангу пачкой и дает импульс на подготовку двигателей:

привода шлепперов холодильника. После выхода пачки из поля действия фотореле (засвечивание его прекращается) включаются шлепперы, и пакет передвигается ими на холодильнике на один шаг. Передача пакетов со шлеппера № 1 на шлеппер № 2 производится рольгангом, состоящим из двух секций; отключение первой секции производится флажковым выключателем после передачи пакета штрипсов с первой секции на вторую.

В случае, если после выхода из X клетки штрипс не требуется разрезать на мерные длины, то полоса поступает по рольгангу прямо на моталку $б$, которая включается автоматически от $ФР4$ при подходе к ней переднего конца полосы и сматывает полосу (штрипс) в рулон.

5. ЗАГОТОВКИ И НАГРЕВ ИХ ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ

Исходным материалом для прокатки сортовой стали на современных сортовых станах являются заготовки различных сечений. Масса и размеры заготовок для каждого стана определяются конечными размерами прокатываемых полос. Чем больше масса полосы, тем больше производительность стана, меньше потери на обрызг и экономичнее работа стана. Поэтому во всех случаях необходимо стремиться к прокатке полос возможно большей длины и, следовательно, к большей массе заготовок, обеспечивая при этом получение высокого качества проката.

При резке полос на заготовочном стане трудно обеспечить (из-за колебаний массы слитка) получение заготовок максимальной массы, не получая при этом укороченных заготовок. Заготовки массой меньше максимальной снижают производительность сортового стана.

Можно рассчитать оптимальную массу заготовки и, следовательно, оптимальный выход годного проката. Снижение выхода годного по сравнению с установленным на заготовочном стане должно, по крайней мере, компенсироваться увеличением производительности стана.

Чем меньше конечная длина полосы, тем точнее можно прокатать профиль. При большой длине передний конец полосы прокатывается при более высокой температуре и конечные размеры его отличаются от размеров заднего конца. Разность в размерах концов должна находиться в пределах допусков, предусмотренных в стандартах.

Следовательно, конечная длина полосы будет ограничиваться допустимой температурой конца прокатки и допустимой разницей температур переднего и заднего концов полосы. Конечная длина прокатываемой полосы зависит также от устройства стана: длины рольгангов, длины холодильника, размеров нагревательных печей, скорости прокатки, расстояния между последней клетью и пилами или ножницами и др.

Наибольшую массу имеют заготовки, применяемые на непрерывных станах. Здесь лучшие условия для сохранения тепла, так как прокатка ведется с наибольшими скоростями, а чем выше скорость прокатки, тем большей конечной длины можно прокатывать полосу при одинаковых прочих условиях.

Заготовки, прокатанные на блюминге и непрерывном заготовочном стане, поступают, как правило, на общий склад. Он состоит из трех пролетов (каждый шириной 30 м), оборудованных специальными мостовыми кранами, средствами для зачистки и удаления поверхностных дефектов и при необходимости печами для замедленного охлаждения и термической обработки. В пролеты этого склада заготовки поступают по рольгангам на стеллажи для охлаждения. В конце стеллажей име-

ются сборочные карманы, откуда заготовки забирают мостовыми кранами и складывают в штабеля.

Для нагрева заготовок в настоящее время применяют рекуперативные методические печи, работающие на смеси доменного и коксовального газов.

Заготовки сечением 100×100 мм и более и длиной до 6 м нагревают в методических печах с торцовой посадкой и выдачей (рис. 185). Заготовки меньших сечений в таких печах нагревают сравнительно редко. В последнее время печи этого типа оборудуют инжекционными беспламенными горелками, что обеспечивает более высокий подогрев воздуха, значительно улучшает сжигание топлива и позволяет горелкой автоматически регулировать соотношения газа и воздуха. Последнее значительно упрощает схему автоматики и облегчает управление печью. Печи оборудованы керамическими рекуператорами для подогрева воздуха до $500\text{--}600^\circ\text{C}$ и металлическими трубчатыми рекуператорами, установленными последовательно за керамическими, для подогрева газа до $300\text{--}350^\circ\text{C}$. При подогреве воздуха до 500°C и газа до 300°C печи могут работать на доменном газе. Производительность печей достигает 200 т/ч.

На современных сортовых станах механизированы подача заготовок к нагревательным печам, посадка их в печи, проталкивание и выдача их из печей после нагрева.

Методические печи с торцовой посадкой и выдачей оборудованы загрузочными рольгангами с решетками, толкателями и разгрузочными рольгангами. Заготовки со склада подают мостовым краном на загрузочное устройство печного рольганга. На новых станах это устройство состоит из решетки, оборудованной толкателем и механизмом подъема и кантовки заготовок.

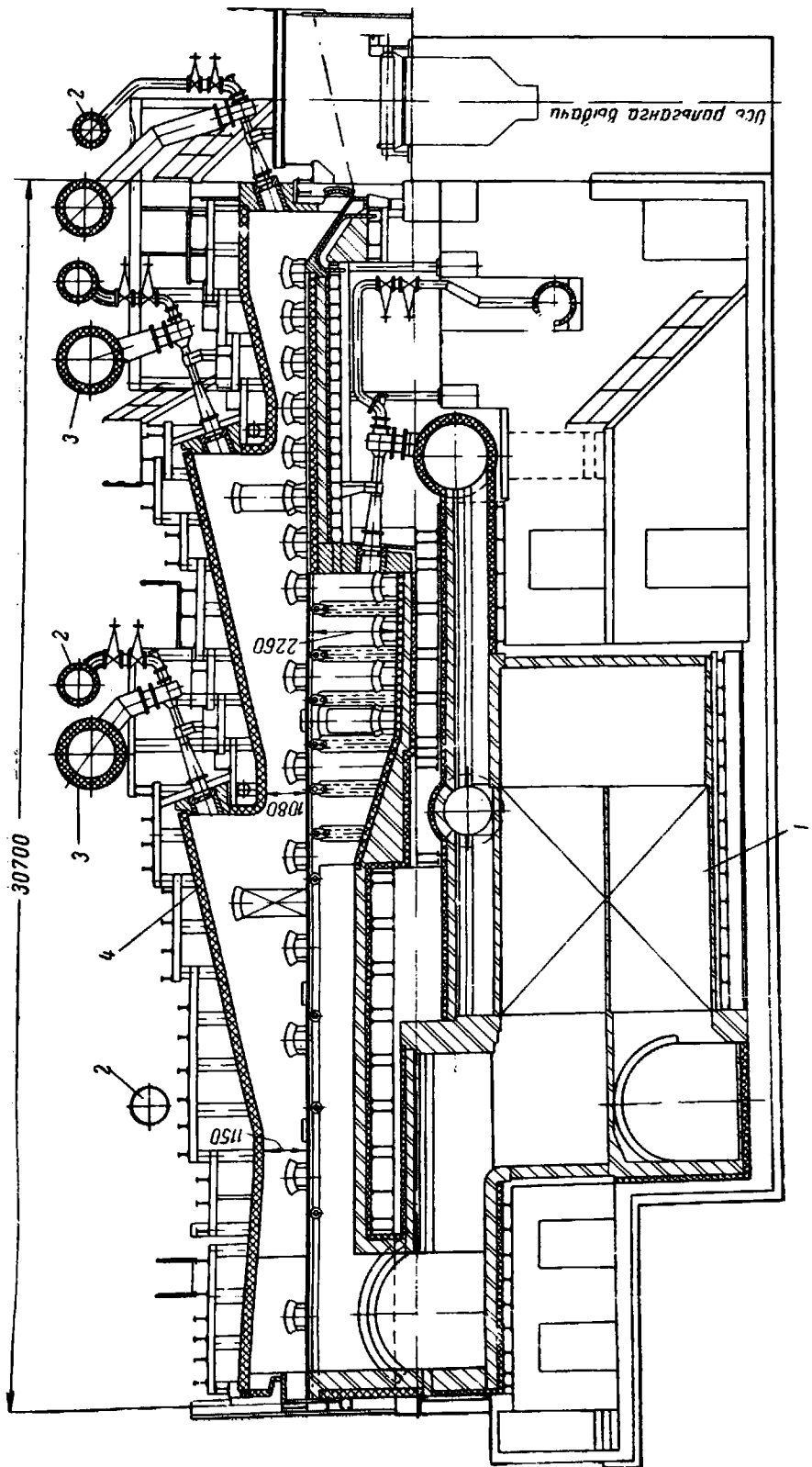
Толкатели нагревательных печей с торцовой посадкой и выдачей предназначены для посадки заготовок в печи, дальнейшего продвижения и выдачи их на приемный рольганг, по которому заготовки подают к стану. Наибольшее распространение получили реечные толкатели. Эти толкатели хотя и более сложны, но они надежны и экономичны при эксплуатации.

Заготовки сечением меньше 100×100 мм и длиной до 10—12 м нагревают в печах с боковой посадкой и выдачей. В этом случае заготовки подают в печь через боковое окно тележкой или втягивающими роликами, а выдают из печи при помощи выталкивателя. Проталкивание заготовок в печи осуществляется толкателем.

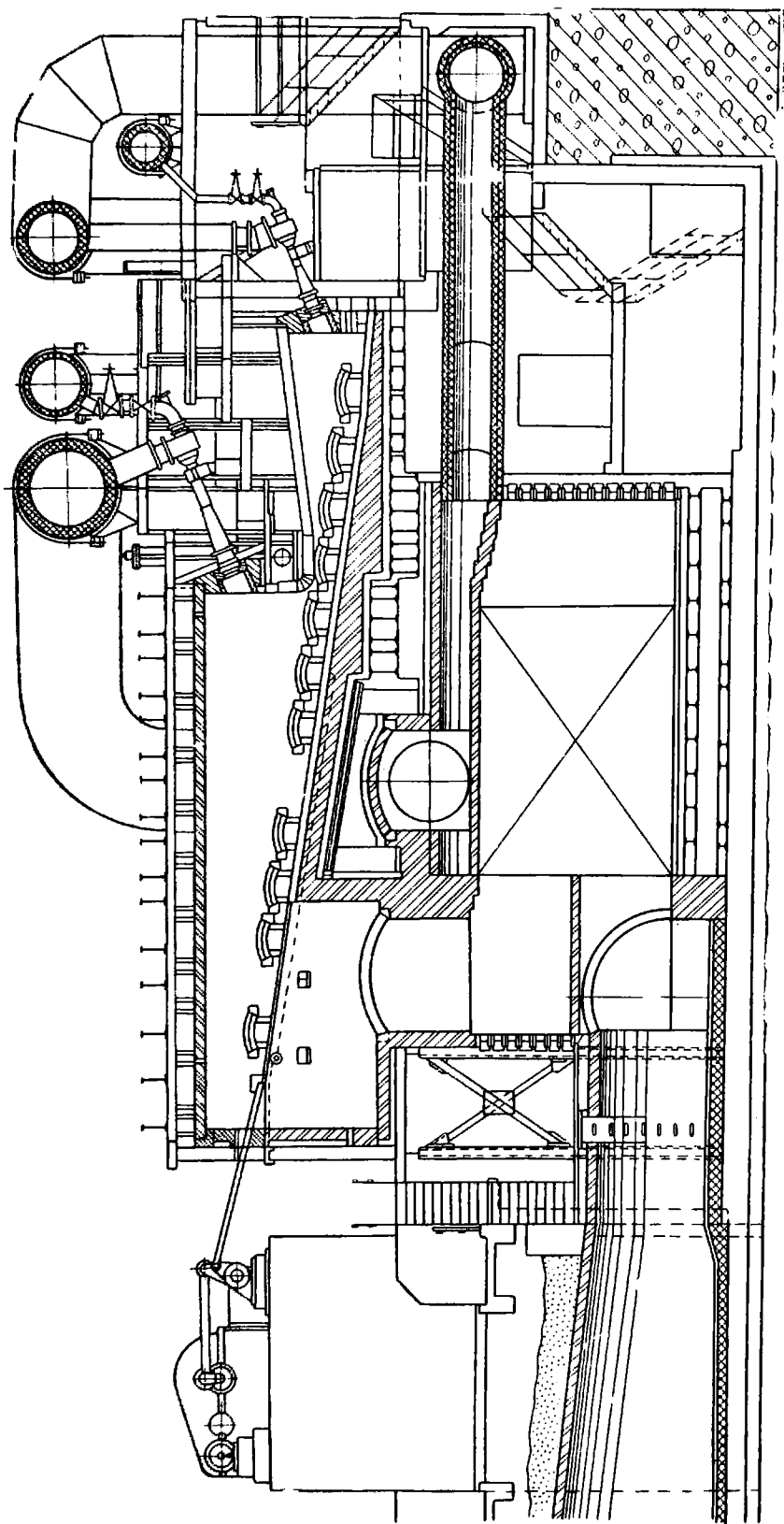
На рис. 186 представлен общий вид печи для нагрева заготовок сечением $75 \times 75 \div 100 \times 100$ мм и длиной 10 м. Печь оборудована керамическим рекуператором и работает на смеси доменного и коксовального газов с теплотой сгорания $6,28 \text{ Мдж/м}^3$ (1500 ккал/м^3). Очень часто эти печи строят с монолитной подиной, имеющей небольшой наклон к окну выдачи для облегчения проталкивания заготовок.

Методические нагревательные печи с боковой посадкой и выдачей оборудованы загрузочными рольгангами с решетками для подачи заготовок со склада к печи, тележкой или втягивающими роликами для посадки заготовок в печь через боковое окно, толкателем для проталкивания заготовок в печи, выталкивателем и фрикционными роликами для выдачи заготовок из печи через боковое окно. Недостатком этих печей является то, что стан до последнего времени оборудован только одной печью, что ограничивало его производительность.

В настоящее время увеличение производительности этих печей осу-



Р и с. 185. Методическая печь, отапливаемая инжекционными горелками, с нагретом воздухом и газом:
 1 - керамический воздушный рекуператор, 2 - горююрод, 3 - воздухопроход, 4 - подвесной свод



Р и с. 186. Методическая рекуперативная печь с боковой посадкой и выдачей заготовок непрерывного мелкосортного стана

ществляется удлинением заготовок до 12 м, удлинением печей при удовлетворительном прсталкивании заготовок без опасения их искривления, установкой двух печей (см. рис. 172) и оборудованием станов печами скоростного нагрева.

Температура нагрева заготовок из стали различных марок должна быть разной. Для углеродистых сталей максимальную температуру устанавливают в соответствии с линией солидуса на диаграмме железо—углерод. Максимальную температуру нагрева углеродистых сталей принимают на 100—150 град ниже линии солидуса (рис. 187). Самую высокую температуру нагрева (1350 °С) принимают для сталей с содержанием углерода около 0,10%. С повышением содержания углерода температура нагрева стали соответственно снижается.

При назначении температуры нагрева учитывают режимы работы нагревательных устройств. Так, при нагреве заготовок в методических печах с удалением окалины в сухом виде температура нагрева не должна превышать температуру размягчения окалины.

При выборе температуры нагрева металла перед прокаткой необходимо также учитывать требуемую температуру конца прокатки.

На заводах во многих случаях продолжительность и температуру нагрева для той или иной стали устанавливают на основании практических данных.

Стали с одинаковым примерно химическим составом и сопротивлением деформации, одинаковой теплопроводностью, пластичностью и

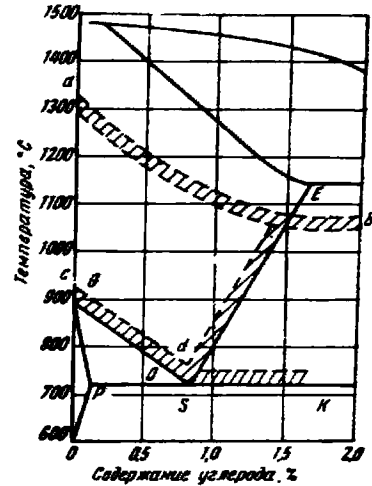


Рис. 187. Температурный диапазон обработки углеродистой стали

Таблица 19

Температура нагрева заготовок перед прокаткой

Группа	Сталь	Марка стали	Температура °С
I	Углеродистая и низколегированная (до 0,45% С)	0,8—40, 15Г—40Г, 30Г2—45Г2, 15Х—40Х, 15ХГ—40ХГ, 15ХФ, 15 ХМ—35ХМ, 20ХГСА и т.д.	1200—1220
II	Углеродистая низко- и средне-легированная (до 0,65% С)	50—60, 50Г—65Г, 50Г2, 50Х, 50 ХГ, 55СГ, 40ХС, ШХ10, 55С2, 60 С2, 50ХФА, 30ХН3, 35ХГСА, 40 ХГМА и т. д.	1180—1200
III	Углеродистая и среднелегированная (до 0,9% С)	У7, У8, 70—85, У7А, 70Г, У8ГА и т. д.	1140—1160
IV	Углеродистая и легированная; инструментальная и шарикоподшипниковая (до 1%С)	У9, У10, У10ГА, 7Х3, 9ХС, ХВГ, Х, ШХ6—ШХ15, ЕХ2, ЕХ3 и т. д.	1120—1140
V	Углеродистая и легированная; инструментальная и высокомарганцевистая	У12, У13, У12Г, ХГ, Х12, Х12М, ХВ5 и т. д.	1100—1120
VI	Нихром и нержавеющая	Х15Н60, 1Х18Н9Т, 2Х18Н9Т и т. д.	1200—1220
VII	Быстрорежущая	Р9, Р18	1180—1200

склонностью к поверхностному обезуглероживанию объединяют в одну группу, для которой устанавливают одинаковый режим нагрева. В табл. 19 приведены температуры нагрева различных сталей.

6. СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ

Сортовую сталь прокатывают за несколько проходов. В первых проходах происходит лишь уменьшение площади поперечного сечения полосы. В последующих проходах металлу постепенно придается требуемая форма поперечного сечения.

Калибры, предназначенные только для уменьшения поперечного сечения прокатываемой полосы, называют обжимными или вытяжными.

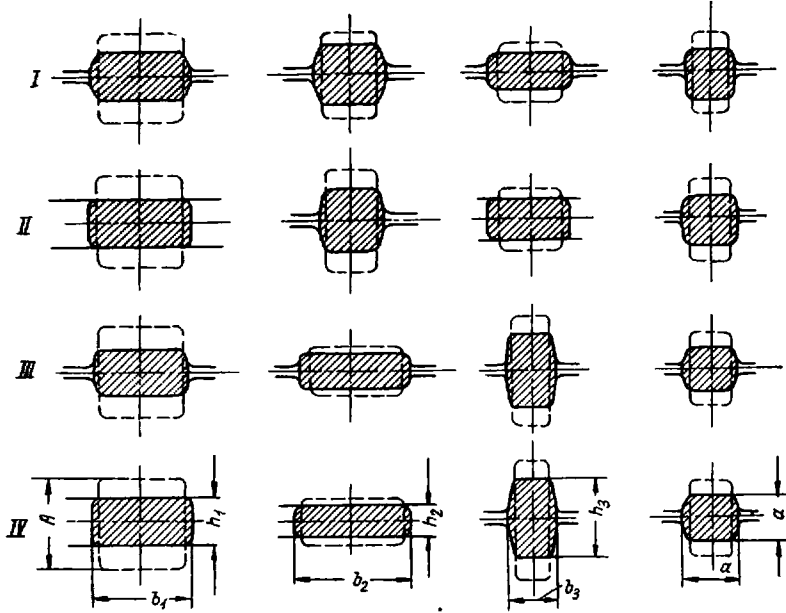


Рис. 188. Варианты прокатки в вытяжных прямоугольных калибрах

При прокатке сортовой стали применяют следующие системы вытяжных калибров: прямоугольник — прямоугольник, ромб — ромб, ромб — квадрат, овал — квадрат, овал — ребровой овал.

Вытяжные калибры каждой системы должны обеспечивать большую вытяжку, легкий захват полосы валками, хорошее удаление окалины, легкую настройку валков и возможность механизации и автоматизации работы на стане. Применение вытяжных калибров той или иной системы зависит от типа стана, конструкции рабочих клетей, интенсивности деформации, степени механизации и автоматизации стана и др.

Систему вытяжных прямоугольных калибров широко применяют и на сортовых станах при прокатке квадратной, круглой полосовой стали и др. В этих случаях их применяют в качестве первых четырех-пяти калибров по ходу прокатки.

Прокатка в прямоугольных калибрах обеспечивает равномерное обжатие по всей ширине полосы, при этом деформация может происходить с различной степенью ограничения уширения. В одном и том же прямоугольном калибре можно прокатывать полосы различных размеров, что обеспечивается изменением высоты калибра при настройке стана.

При прокатке в прямоугольных калибрах окалина легко удаляется с боковых граней прокатываемой полосы. Поэтому их часто используют для удаления печной окалины при прокатке в первых проходах на современных непрерывных сортовых станах.

Вытяжные прямоугольные калибры обеспечивают получение полосы квадратного сечения через один проход (рис. 188). Поэтому при расчете этих калибров определяют общий коэффициент вытяжки в вытяжных ка-

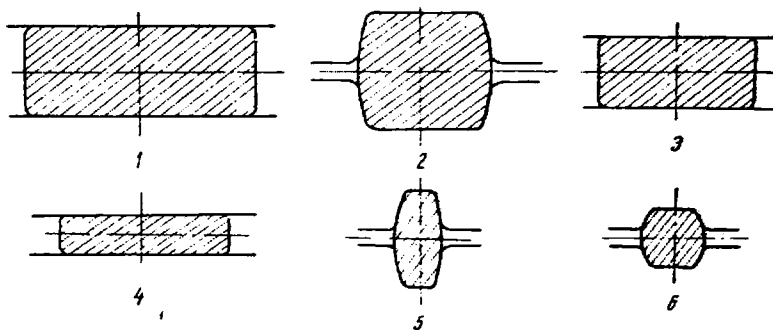


Рис. 189. Прокатка в калибрах системы прямоугольник — квадрат:

1—6 — номера проходов

либрах и распределяют его так, чтобы полосы квадратного сечения заданных размеров получались через один проход.

Коэффициент вытяжки от полосы большего квадратного сечения до полосы меньшего квадратного сечения определяется произведением коэффициентов вытяжек в первом и втором калибрах данной пары или как квадрат среднего коэффициента вытяжки. Коэффициент вытяжки от большего квадратного калибра до меньшего

$$\mu = \frac{F_1}{F_3} \text{ или } \mu = \mu_{\text{ср}}^2,$$

где F_1 и F_3 — площади большего и меньшего квадратных калибров.

Принятые коэффициенты вытяжки для каждой пары калибров при их перемножении должны дать общий коэффициент вытяжки:

$$\mu_1 = \frac{F_1}{F_2}, \quad \mu_2 = \frac{F_2}{F_3} \text{ и } \mu = \mu_1 \mu_2,$$

где F_2 — площадь промежуточного калибра.

Обжатие за каждый проход при прокатке в прямоугольных калибрах обычно ограничивается условиями захвата полосы валками и редко прочностью валков или мощностью двигателя. В этом случае максимальная величина обжатия за каждый проход может быть определена по формуле (II.3) или (II.4). Для этого можно также рекомендовать практические данные по максимальным углам захвата при прокатке в прямоугольных калибрах: $24\text{--}26^\circ$ для стальных валков и $19\text{--}22^\circ$ для чугунных.

На сортовых станах прямоугольные калибры очень часто чередуют с гладкой бочкой. Варианты комбинации прямоугольных калибров и гладкой бочки валков показаны на рис. 188. В зависимости от конкретных условий на стане выбирают тот или иной вариант прокатки по системе прямоугольник — квадрат. При прокатке по III и IV вариантам дости-

гаются сокращение числа кантовок, что иногда имеет большое значение. Однако двукратное обжатие полосы в одном направлении может ухудшить качество поверхности, так как борозды на боковой поверхности заготовок, получившиеся после удаления дефектов, в результате большого обжатия в одном направлении могут образовать волосные трещины. В тех случаях, когда заготовки не подвергаются зачистке, это число обжатий в одном направлении не имеет значения.

Весьма эффективной является комбинация прямоугольных калибров и гладкой бочки, показанная на рис. 189. Этот вариант прокатки выгодно осуществлять за шесть проходов. В этом случае имеется минимальное число кантовок, причем кантовка полосы после первого прохода предот-

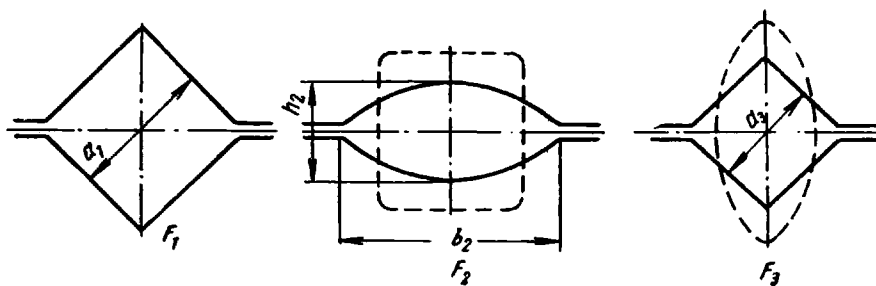


Рис. 190. Вытяжные калибры системы овал — квадрат

вращает образование дефектов, связанных с бороздами, образовавшимися при зачистке. Применение калибров этой системы сокращает число перевалок при смене профиля, так как на гладкой бочке можно прокатывать сечения любых размеров, а на калиброванных валках можно расположить большое число различных ребровых калибров.

Вытяжные калибры системы ромб—ромб и ромб—квадрат были рассмотрены в главе III, п. 2.

Вытяжные калибры системы овал—квадрат показаны на рис. 190. При прокатке полоса, вышедшая из большего квадратного калибра, задается плашмя в овальный калибр. После выхода из овального калибра полоса кантуется на 90° и задается в следующий меньший квадратный калибр и т. д.

Калибры системы овал—квадрат применяют главным образом на мелкосортных и проволочных станах. Это объясняется тем, что они позволяют вести прокатку с большими коэффициентами вытяжки и, следовательно, позволяют сохранить надлежащую температуру прокатываемого металла. Большим достоинством калибров системы овал—квадрат является также то, что в процессе прокатки достигается обновление ребер полосы (рис. 191). Переход ребер большого квадрата на боковые стороны меньшего квадрата осуществляется благодаря применению промежуточного овального калибра. Постоянное обновление ребер обеспечивает более равномерное распределение температуры по поперечному сечению полосы и способствует получению более однородной структуры металла. Кроме того, обновление ребер не приводит к концентрации растягивающих напряжений на ребрах прокатываемой полосы.

При прокатке квадратной полосы в овальном калибре (рис. 192) вначале получается большая неравномерность обжатий, которая по мере продвижения полосы к выходу из валков несколько уменьшается. Каждая стадия деформации металла представлена соответствующей диаграммой обжатий. Суммарное обжатие имеет резко выраженный неравномерный характер по ширине полосы.

Сосредоточение максимальных обжатий по боковым граням квадратной полосы при прокатке в овальном калибре может привести к образованию складок металла (рис. 193, а). Такие складки возникают из

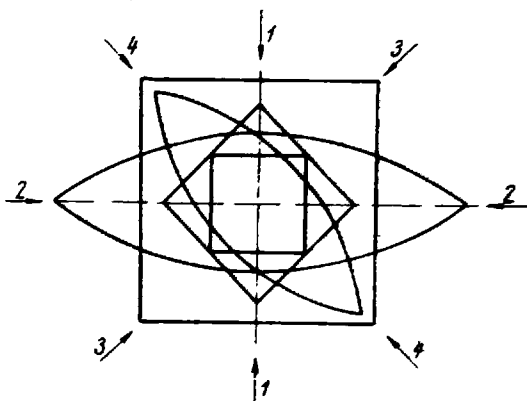


Рис. 191. Схема обжатий полосы при прокатке в калибрах системы овал — квадрат:
1—4 — последовательность обжатий

неровностей на поверхности полосы, образующихся при разрушении окалины.

В квадратном калибре складки на ребрах овальной полосы еще более сжимаются (рис. 193, б, в) и образуют волосные трещины. Если предварительно (до задачи в овальный калибр) удалить окалину с прокатываемой полосы, то можно предотвратить образование этих дефектов.

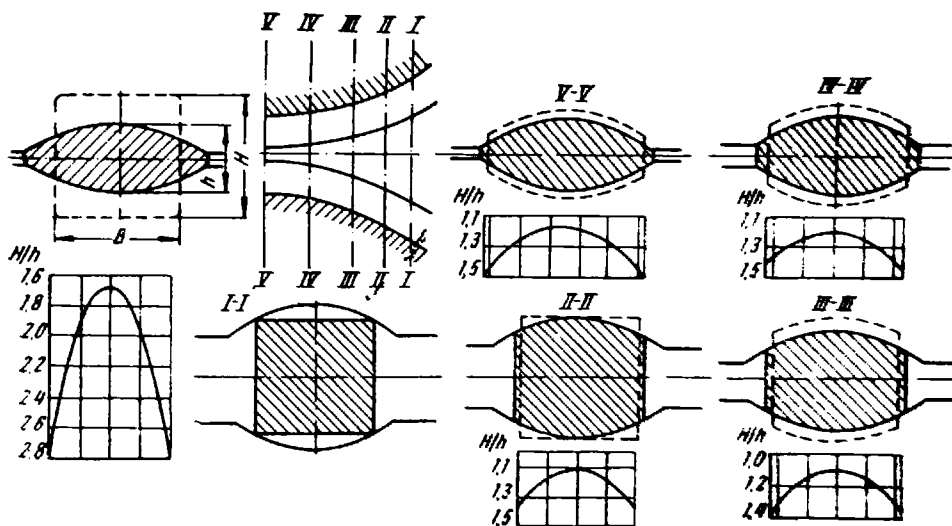


Рис. 192. Стадии прокатки квадратной полосы в овальном калибре

Вследствие вогнутого очертания овального калибра на прокатываемую полосу, кроме контактных сил трения, действуют горизонтальные составляющие радиальных сил, направленных со стороны валков на полосу. Последние затрудняют развитие уширения в овальном калибре. Этим, в частности, объясняется возможность достижения в овальных калибрах больших коэффициентов вытяжек.

Резко выраженная неравномерность обжатий наблюдается также при прокатке овальной полосы в квадратном калибре (рис. 194). На диаграмме суммарного обжатия имеются два участка с максимальным

обжатием, расположенных вблизи боковых ребер прокатываемой полосы. При рассмотрении отдельных последовательных стадий деформации также видно характерное изменение неравномерного обжатия по ширине прокатываемой полосы.

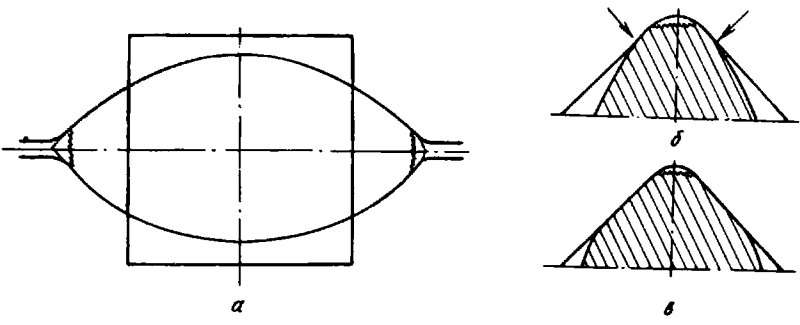


Рис. 193. Образование складок металла при прокатке полосы в калибрах системы овал—квадрат

Условия для развития уширения в квадратном калибре при прокатке в нем высоких и узких овалов весьма благоприятны. В начальных стадиях деформации контактные поверхности удалены от центральных

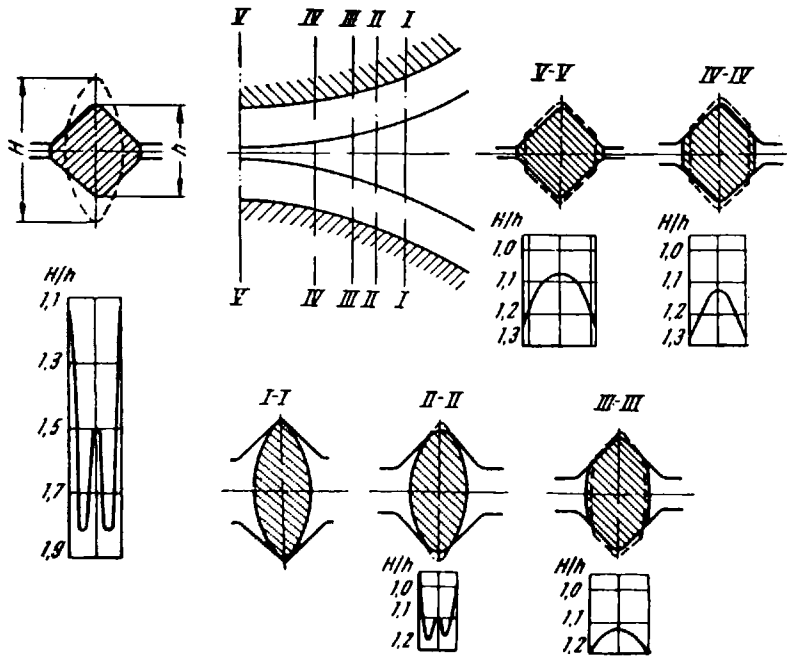


Рис. 194. Стадии прокатки овальной полосы в квадратном калибре

частей прокатываемой полосы, поэтому уширение может развиваться почти свободно. Кроме того, контактные поверхности имеют большую продольную протяженность и незначительную поперечную, вследствие чего поперечные напряжения будут относительно малыми. Если последние окажутся меньше продольных, то поперечная деформация (ушире-

ние) превысит продольную (вытяжку). Эти явления проявляются особенно резко с увеличением отношения $\frac{b}{h}$ овальной полосы. Вследствие этого коэффициент вытяжки в квадратных калибрах всегда меньше, чем в овальных.

Соответствующие опытные данные (рис. 195) показывают, что при использовании овалов с небольшим отношением $\frac{b}{h}$ ($\mu_{ов} = 1,6 \div 1,9$) приращение коэффициента вытяжки в квадратном калибре ($\mu_{кв} - 1$) составляет около 0,9 приращения коэффициента вытяжки в овальном калибре ($\mu_{ов} - 1$). При применении овалов с большим отношением $\frac{b}{h}$ ($\mu_{ов} = 3 \div 3,5$) приращение коэффициента вытяжки в квадратном калибре со-

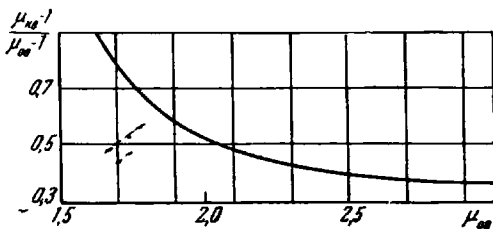


Рис. 195. Зависимость между коэффициентом вытяжки в овальном и квадратном калибрах

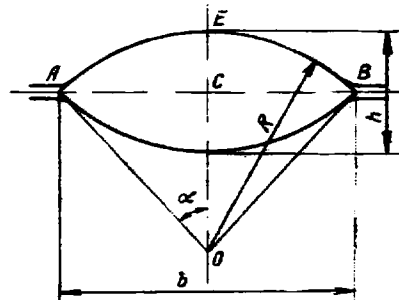


Рис. 196. Схема построения овального калибра

ставляет всего лишь 0,3 приращения коэффициента вытяжки в овальном калибре ($\mu_{ов} - 1$). В среднем принимают приращение вытяжки в квадратном калибре равным 70—75% величины приращения вытяжки в смежном овальном калибре.

Овальный калибр, образованный двумя сегментами, имеет следующие основные размеры (рис. 196): высоту h , ширину b , радиус овала R . Из треугольника OCB получаем

$$OB^2 = OC^2 + CB^2$$

или

$$R^2 = \left(R - \frac{h}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2.$$

Отсюда определяем радиус овала

$$R = \frac{b^2 + h^2}{4h}.$$

Преобразуем это выражение и представим его в следующем виде:

$$\frac{R}{h} = \frac{\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 1}{4}.$$

Задаваясь различными значениями $\frac{b}{h}$, можно подсчитать соответствующие им отношения $\frac{R}{h}$, которые обычно содержатся в таблице вспомогательных данных для расчета овалов. Кроме того, в них имеется также отношение $\frac{F}{h^2}$.

Связь между площадью овала и другими его элементами находится из следующего равенства:

$$F_{\text{ов}} = 2(F_{\text{ОВЕА}} - F_{\text{ОВСА}}).$$

Так как

$$F_{\text{ОВЕА}} = R^2\alpha = 0,01744R^2\alpha^{\circ}$$

и

$$F_{\text{ОВСА}} = \frac{1}{2} \cdot b \left(R - \frac{h}{2} \right),$$

площадь овала

$$F_{\text{ов}} = 2R^2\alpha - b \left(R - \frac{h}{2} \right).$$

Здесь угол α в радианах. Если принять значение угла в градусах, то можно пользоваться следующей формулой:

$$F_{\text{ов}} \approx 0,035R^2\alpha - b \left(R - \frac{h}{2} \right).$$

Для подсчета площади овала можно пользоваться также формулой

$$F_{\text{ов}} = Chb,$$

где C — коэффициент пропорциональности, зависящий от отношения $\frac{b}{h}$.

Наиболее рациональным методом расчета калибров системы овал — квадрат является такой метод, при котором сначала устанавливают коэффициенты вытяжки по отдельным калибрам, а затем определяют размеры квадратов. После этого производят расчет промежуточных овалов против хода прокатки исходя из размеров меньшего квадрата. Исходными данными являются $F_{\text{ов}}$ — площадь овала, геометрические размеры которого необходимо определить; $a_{\text{м}}$ — сторона меньшего квадрата; $\mu_{\text{кв}}$ — коэффициент вытяжки в квадратном калибре при прокатке в нем овальной полосы, размеры которой необходимо определить.

Сначала определяют высоту овального калибра h , используя приближенную эмпирическую формулу Кирхберга:

$$h = a_{\text{м}} - 5(\mu_{\text{кв}} - 1).$$

Затем подсчитывают отношение $\frac{F}{h^2}$ и по таблице вспомогательных данных находят соответствующие значения $\frac{b}{h}$ и $\frac{R}{h}$. Из последних двух отношений определяют ширину b и радиус R овала. После этого в овальном калибре проверяют простор для уширения при прокатке в нем большого квадрата по формуле

$$\frac{b - a_{\text{б}}}{a_{\text{б}} - h} = k_{\text{ов}},$$

где $a_{\text{б}}$ — сторона большого квадрата.

Допускаемая величина $k_{\text{ов}}$ находится в пределах 0,3—0,6.

Наряду с применением овального калибра обычной формы (рис. 197, а) применяют плоские овалы (рис. 197, б и в). Для эксплуатации плоский овал более удобен, так как получающуюся полосу легче удерживать в проводках при подаче в квадратный калибр. Наиболее рациональной формой плоского овала является такая, у которой длина плоской площадки составляет $\frac{1}{3}$ общей ширины калибра. Овал с вогнутым

очертанием (рис. 197, *г*) имеет следующие недостатки: 1) условия захвата в нем хуже по сравнению с обычным и плоским овалами, 2) дает большое уширение, 3) в некоторых случаях возможно образование складок металла при прокатке в квадратном калибре.

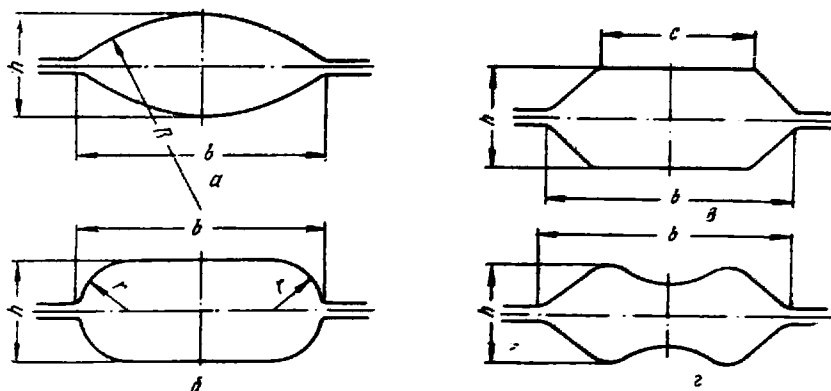


Рис. 197. Формы овальных калибров

Преимущество овального калибра с вогнутым очертанием — обеспечение уширения и значительной вытяжки полосы при последующей прокатке в квадратном калибре.

7. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

Калибровка валков для прокатки полосовой стали

Полосовую сталь прокатывают на станах линейного типа по двум основным способам: 1) на гладких или на ступенчатых валках с применением ребровых проходов, 2) в закрытых прямоугольных калибрах. Первый способ применяют для прокатки узких и толстых полос шириной не более 100 мм. При этом способе заготовку квадратного сечения

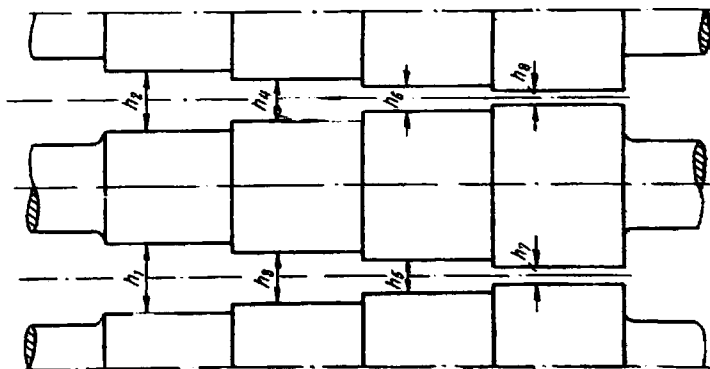


Рис. 198. Ступенчатые валки для прокатки полосовой стали

прокатывают на гладких или на ступенчатых валках (рис. 198). Преимущество этого способа заключается в том, что не нужно иметь большой парк валков. На одних и тех же валках можно прокатывать полосы разных размеров. Это сокращает также простои из-за переделки вал-

ков. К преимуществу этого способа следует также отнести легкость переточки и относительно долгий срок службы валков [I. 1, 7; IV. 14].

Так как полосу прокатывают на ступеньках, как на гладких валках, боковые кромки полосы свободно уширяются и могут получаться неровными. Для получения ровных боковых кромок полосу прокатывают на ребро через ребровой калибр (рис. 199). Кроме того, прокатка в ребровом калибре позволяет регулировать ширину полосы, прокатываемой

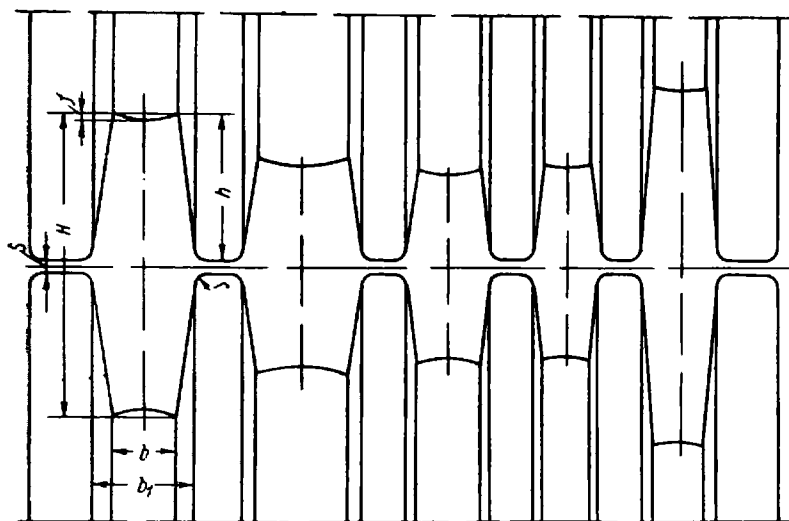


Рис. 199. Валки с ребровыми калибрами

на ступенчатых валках. После этого следует последний проход на гладких (полировочных) валках клетки дуо.

Таким образом, по первому способу полосу прокатывают на ступенчатых валках, в ребровом калибре и на полировочных валках. В результате получают полосы с хорошей поверхностью.

При конструировании ступенчатых валков высоту отдельных ступеней определяют расчетом, исходя из возможности применения различных режимов обжатий. Ширину каждой ступени принимают в зависимости от максимальной ширины прокатываемой полосы. Глубину ручья ребрового калибра $\frac{H-s}{2}$ принимают в зависимости от толщины закаленного слоя чугунных валков. Высоту ребрового калибра устанавливают в зависимости от ширины полосы подъемом верхнего валка. Ширину ребрового калибра по дну ручья принимают в зависимости от толщины полосы h_n и обжатия Δh_n в чистовом проходе:

$$b = h_n + \Delta h_n.$$

Выпуск δ для ребрового калибра принимают равным 10—15%. Ширина калибра в месте разъема валков

$$b_1 = b + \delta \left(\frac{H-s}{2} \right).$$

При прокатке полосы с прямыми кромками дно ребрового калибра должно иметь выпуклость. Ее принимают конструктивно ($f=0,5 \div 1,0$ мм). Обжатие в ребровых калибрах принимают в пределах 5—15% в зависимости от ширины прокатываемой полосы.

Второй способ применяют для прокатки полосовой стали с большой шириной и малой толщиной (рис. 200). Прокатка в калибрах осуществляется с большими обжатиями при ограниченном уширении, которое обычно принимают в пределах 55—90% свободного уширения. Выпуск в черновых калибрах принимают 3—5%, а в предчистовых 1,5—2%. Углы калибра притупляют радиусами $r = (0,1—0,2)h$.

Размеры закрытых калибров должны быть такими, чтобы при одной и той же ширине можно было прокатывать полосы различной тол-

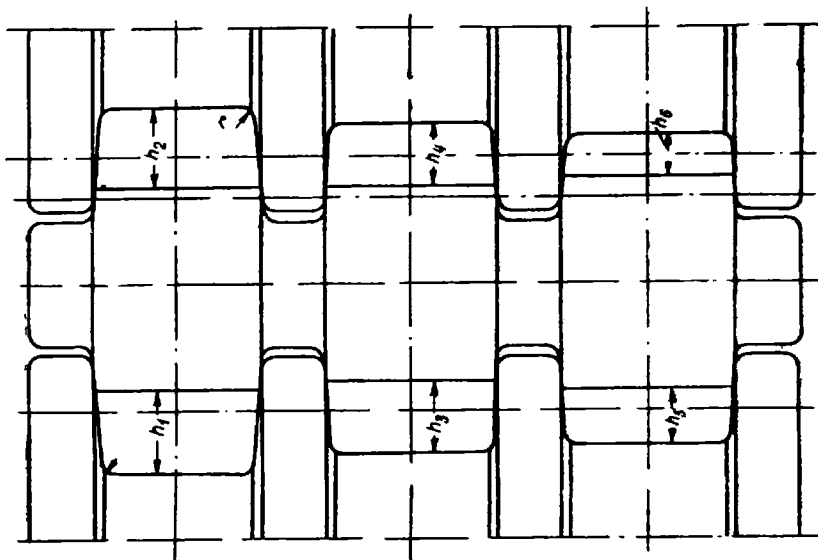


Рис. 200. Расположение закрытых калибров на валках

щины. Разность толщин полос, прокатываемых в одних и тех же калибрах, достигает иногда 30—35 мм.

Так как прокатка в этих калибрах происходит с ограничением уширения, для предотвращения на полосе заусенцев необходимо кантовать ее после каждого прохода на 180°. Последнее достигается соответствующим расположением калибров на валках (рис. 200).

Прокатка в закрытых калибрах имеет следующие недостатки: 1) необходимость применения специальных устройств для очистки полосы от окалины; 2) быстрый износ калибров вследствие ограниченного уширения; 3) возможность переточки калибров только за счет допуска по ширине, что увеличивает расход валков; 4) требуется большой парк валков, так как каждой ширине полосы необходим отдельный комплект валков.

На современных сортовых станах, у которых в каждой клетке осуществляется только один проход, полосовую сталь прокатывают на гладких валках и в ребровых калибрах. Число ребровых калибров и порядок их чередования с гладкой бочкой зависят от конкретных условий. Полосы небольших размеров прокатывают из квадратных заготовок.

Наиболее совершенный способ прокатки полосовой стали — прокатка на специализированных непрерывных станах с чередованием клеток с горизонтальными и вертикальными валками. Схема прокатки на таком стане представлена на рис. 201. В этом случае прокатка осуществляется непрерывно и кромки полосы через определенное число проходов

обжимают в клетях с вертикальными валками. Достоинства этого способа прокатки — полное удаление окалины, хорошая обработка кромок полосы, возможность применения больших обжатий и прокатка на одних и тех же валках полосовой стали широкого сортамента.

Полосы шириной до 125 мм прокатывают из квадратных заготовок. Сторону квадрата легко определить, если известно уширение Δb при

обжатию заготовки до требуемой толщины h полосы. Обозначим (рис. 202) через a сторону квадрата, тогда ширина полосы

$$b = a + \Delta b.$$

Обозначим отношение полного уширения Δb к полному обжатию $a-h$ через k , т. е.

$$\frac{\Delta b}{a-h} = k.$$

Отсюда получаем

$$\Delta b = k(a-h),$$

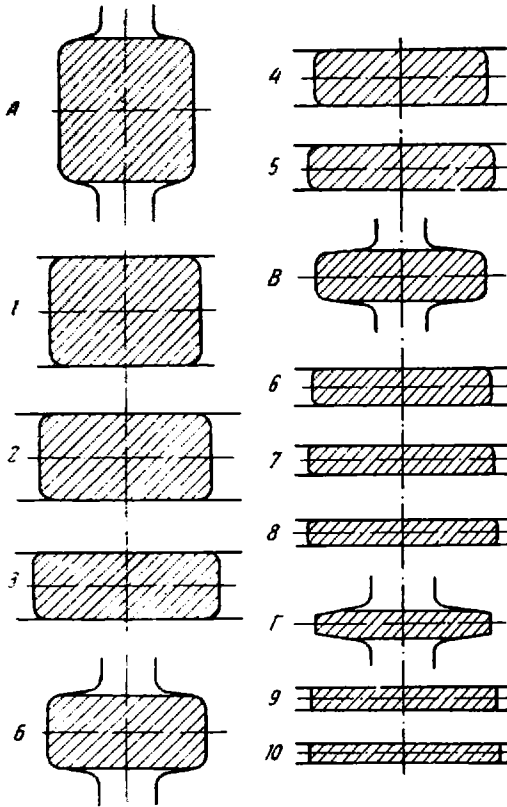


Рис. 201. Прокатка полосовой стали на специализированных непрерывных станах: А, Б, В, Г — прокатка в клетях с вертикальными валками; 1—10 — номера проходов

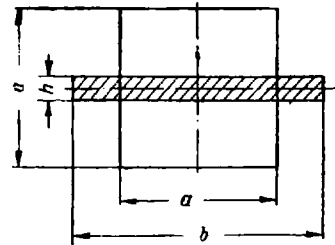


Рис. 202. Схема к определению стороны квадратной заготовки при прокатке полосовой стали

т. е. известную формулу Жеза для подсчета уширения. Так как $\Delta b = b - a$, получаем равенство

$$b - a = k(a - h).$$

Отсюда

$$a = \frac{b + kh}{1 + k},$$

где k — показатель уширения, величина которого находится в пределах 0,3—0,5; большее значение его принимают при прокатке узких и толстых полос.

При таком способе определения стороны исходного квадрата трудно точно определить полное уширение, так как показатель уширения зависит от многих факторов. Кроме того, этот способ не учитывает ребровых проходов, которые будут частично уменьшать уширение и, следовательно, уменьшать показатель уширения.

Обжатие при прокатке полосовой стали ограничивается в первых проходах обычно условиями захвата полосы валками. В последующих проходах в связи с быстрым охлаждением тонких полос обжатия по ходу прокатки необходимо уменьшать. В чистовой и предчистовой клетях обжатия для получения полосы точных размеров по ширине принимают меньше расчетных. Суммарное обжатие равно отношению стороны исходного квадрата к толщине готовой полосы. Распределив суммарное обжатие по отдельным проходам, можно определить толщины полос. Зная толщину полосы, находим обжатие и уширение в каждом проходе. После этого обжатия проверяют по углу захвата, а также по мощности двигателя и прочности валков.

Калибровка валков для прокатки квадратной, круглой и шестигранной стали

Калибровку валков разрабатывают применительно к заданным условиям, главнейшими из которых являются характеристика готового проката, исходного материала, стана и др. Только при учете конкретных производственных условий и основных технологических факторов можно разработать рациональную калибровку валков.

Рациональную схему прокатки (калибровки) обычно выбирают после анализа разных вариантов калибровки с учетом технико-экономических показателей.

Расчет калибровки валков для прокатки заданного профиля ведут против хода прокатки. При расчете учитывают возможность прокатки профилей разных размеров из заготовок одинаковых размеров.

На рис. 203 показана схема прокатки различных профилей на мелкосортном стане 250 из заготовок сечением 66×66 и 58×58 мм. Весь сортамент стана разделен на две группы в зависимости от площади сечения профилей. Первый калибр является общим для всего сортамента прокатываемых профилей, причем схема прокатки включает ряд общих черновых калибров для группы близких профилей.

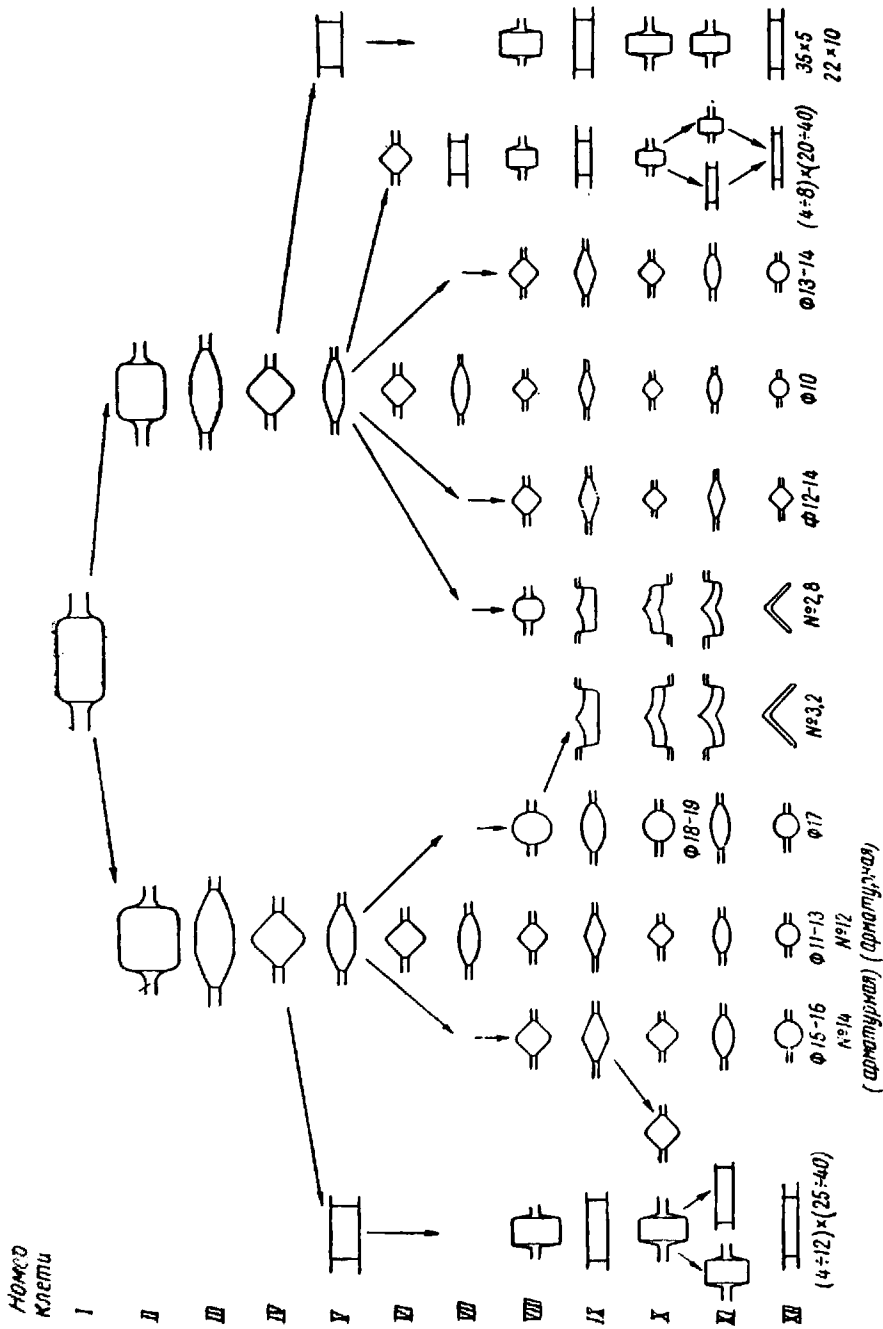
На рис. 204 показана схема прокатки различных профилей на непрерывном средне-мелкосортном стане, на котором прокатывают круглую сталь диаметром 20—60 мм, квадратную сталь 19×19 — 55×55 мм, полосовую сталь $30 \div 120 \times 60 \div 30$ мм, угловую сталь 40×40 — 60×60 мм, тавровую сталь 40—60 мм, швеллеры высотой до 65 мм.

Для прокатки всего сортамента профилей используют заготовки сечением 100×100 и 130×130 мм.

Правильно выполненная калибровка должна обеспечить получение точного профиля с качественной поверхностью и требуемыми механическими свойствами, наибольшую универсальность схемы и простоту настройки стана, минимальный расход энергии, высокую производительность стана, минимальную себестоимость проката, а также возможность механизации и автоматизации процесса прокатки.

Наиболее распространенная схема прокатки квадратной стали приведена на рис. 205, а. Эта схема состоит из чистового квадратного, предчистовых ромбического и квадратного калибров.

Заготовку, полученную в черновых калибрах, задают сначала в предчистовой квадратный калибр. По выходе из этого калибра полосу кантуют на 90° и задают в предчистовой ромбический калибр. После этого полосу, вышедшую из ромбического калибра, снова кантуют на 90° и задают в чистовой квадратный калибр. При этом большая диагональ ромбической полосы будет вертикальной. В таком положении полоса будет стремиться опрокинуться. Чтобы противодействовать этому



Р и с. 203. Схема прокатки различных профилей из заготовок 58×58 г 66×66 мм на мелкосортном стане 250

$$a_k = (1,012 \div 1,015) \cdot (a - \Delta a).$$

Для прокатки квадратной стали со стороной до 25 мм чистовой калибр строят в виде правильного квадрата без закругления углов. Для прокатки квадратной стали со стороной более 25 мм чистовой калибр строят так, чтобы его горизонтальная диагональ была равна $1,42 a$, а

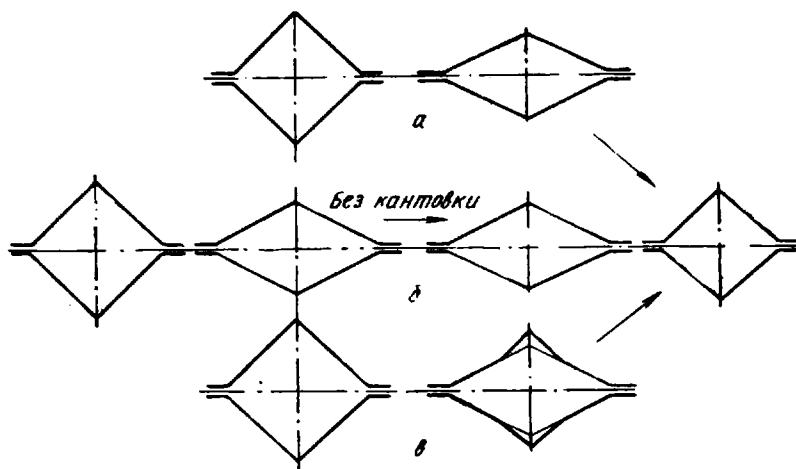


Рис. 205. Схемы прокатки квадратной стали

вертикальная $1,41 a$. В этом случае угол при вершине калибра равен $90^\circ 30'$. Зазор в квадратном калибре принимают в зависимости от диаметра валков.

При расчете предчистового ромбического калибра исходят из того, что коэффициент вытяжки в чистовом калибре должен находиться в пределах 1,10—1,15. Тогда площадь предчистового ромбического калибра

$$F_p = (1,10 \div 1,15) F_{кв},$$

где $F_{кв}$ — площадь чистового квадратного калибра.

Тупой угол β предчистового ромбического калибра принимают в зависимости от размеров прокатываемой квадратной стали; чем меньше размер квадратной стали, тем больше угол β , и наоборот.

Высоту предчистового ромбического калибра определяют с учетом уширения полосы в чистовом квадратном калибре. При этом уширение принимают в зависимости от среднего обжатия

$$\Delta b = (0,3 \div 0,6) \Delta k_{ср}.$$

Если задан угол β ромбического калибра и найдена его высота, то ширина калибра

$$b = h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

В некоторых случаях размеры ромбического калибра определяют по его площади. Так, зная площадь и высоту ромбического калибра, можно определить ширину

$$b = \frac{2F_p}{h}.$$

Если задаться коэффициентом вытяжки при прокатке полосы в предчистовом ромбическом калибре, то можно легко определить размеры предчистового квадратного калибра. Обычно коэффициент вытяжки в ромбическом калибре принимают равным 1,20—1,25. Тогда площадь и сторона предчистового квадратного калибра

$$F_{п.к} = (1,20 \div 1,25) F_p \text{ и } a = \sqrt{F_{п.к}}.$$

Иногда размеры предчистового квадратного калибра определяют исходя из уширения при прокатке квадратной полосы в предчистовом ромбическом калибре. Если известно уширение квадратной полосы в ромбическом калибре, то можно определить вертикальную диагональ квадратного калибра.

Уширение в предчистовом ромбическом калибре

$$\Delta b = (0,25 \div 0,50) \Delta h_{ср}.$$

При прокатке квадратной стали значительные трудности вызывает получение квадрата с выполненными углами; причем наибольшую трудность представляет получение точных углов квадрата против разъема валков. В этом случае применяют предчистовые ромбические калибры специальной формы (рис. 205, в и 206), у которых вершины имеют прямой угол. Если полосу, прокатанную в таком калибре, скантовать на 90° и задать в чистовой квадратный калибр, то прямые углы при вершине ромбической полосы будут находиться против разъема в квадратном калибре и полосы получатся с точно выполненными углами.

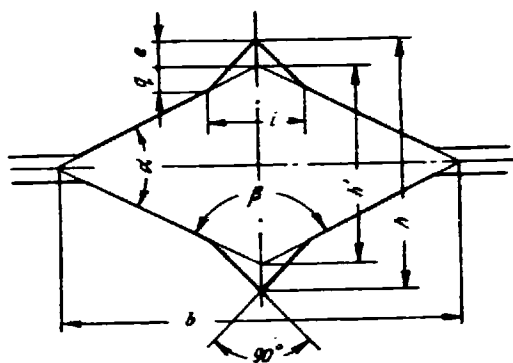


Рис. 206. Предчистовой ромбический калибр специальной формы

Для определения размеров ромбического калибра (рис. 206) используют следующие соотношения:

$$i \geq s_{кв}, \quad q = (0,10 \div 0,15) h, \quad e = q \left(\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - 1 \right),$$

где $s_{кв}$ — зазор между валками в чистовом квадратном калибре.

На рис. 207 приведена схема прокатки квадратной стали на непрерывном мелкосортном стане 250.

При выборе схемы прокатки круглой стали необходимо учитывать размеры и назначение круглой стали, марку стали, тип стана и степень его механизации. Кроме того, черновые калибры при прокатке круглой стали должны использоваться и для прокатки квадратной стали соответствующих размеров.

Существует несколько различных схем прокатки круглой стали. Во всех этих схемах имеется предчистовой овальный калибр, по выходе из которого полосу кантуют на 90° для задачи в чистовой круглый калибр.

Наибольшее распространение, особенно при прокатке круглой стали диаметром 5—20 мм, получила схема, состоящая из чистового круглого калибра, предчистового овального и предчистового квадратного калибров (рис. 208, 1). Черновыми калибрами могут быть вытяжные калибры различных систем: ромб — ромб, ромб — квадрат, овал — квадрат.

По этой схеме прокатки заготовку, полученную в черновых калибрах, задают сначала в предчистойой квадратный калибр. По выходе из этого калибра полосу задают плашмя в предчистойой овальный калибр, а затем с кантовкой на 90° — в чистовой круглый калибр.

Схема II (рис. 208) включает чистовой круглый, предчистойой овальный и ребровой калибры; причем в ребровой калибр задают прямоугольную полосу, прокатанную на гладких валках. Предшествующими черновыми калибрами могут быть также вытяжные калибры различных систем. Эту схему прокатки называют универсальной ввиду того, что можно в одних и тех же подготовительных калибрах прокатывать круглую сталь различных размеров (рис. 209). При прокатке по этой схеме обеспечивается хорошее удаление окалины с прокатываемой полосы во время обжатия ее на гладких валках и в ребровом калибре. Кроме того,

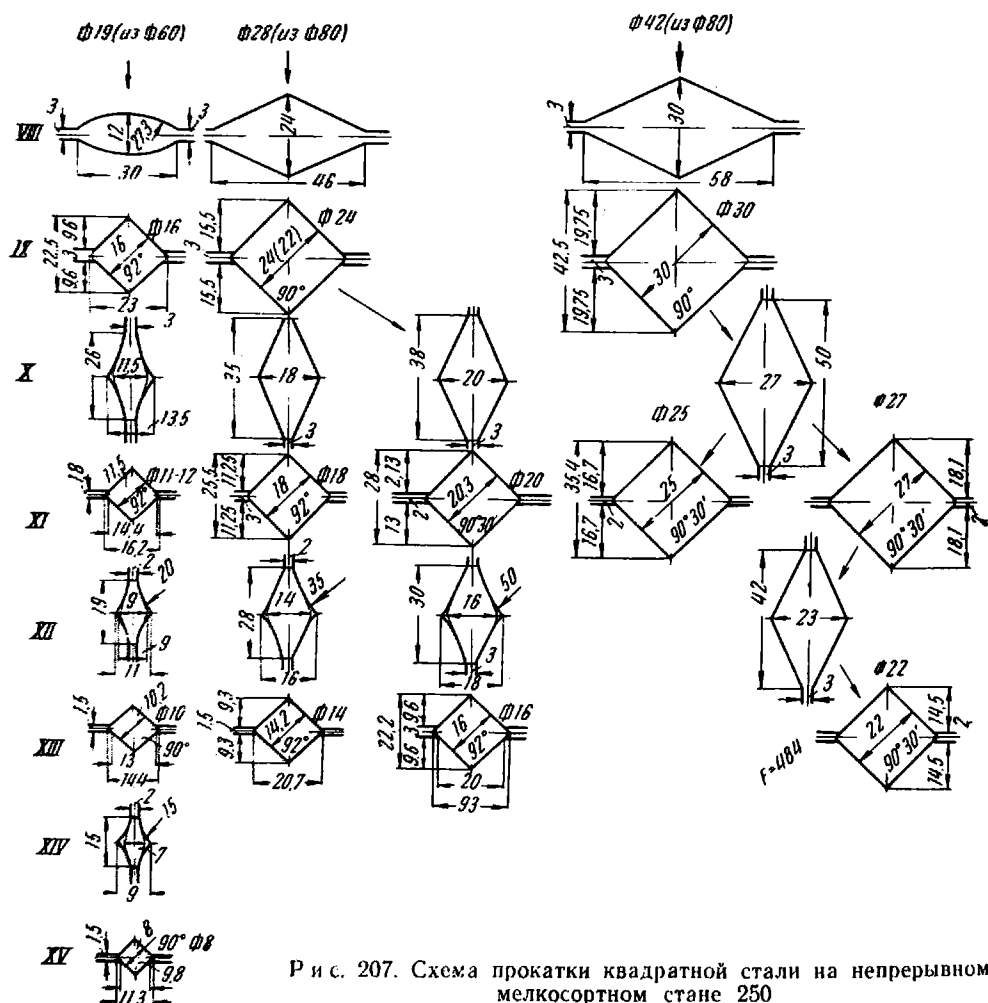


Рис. 207. Схема прокатки квадратной стали на непрерывном мелкосортном стане 250

в ребровом калибре получается квадратная или прямоугольная полоса с овальным очертанием боковых граней, что приводит к меньшему износу предчистойой овального калибра и предотвращает образование складок на овальной полосе. Эту систему калибровки обычно применяют для прокатки круглой стали диаметром 20—100 мм на станах линейного ти-

па и на современных высокопроизводительных станах с последовательным расположением клетей.

Для прокатки круглых профилей из качественной и специальной сталей применяют универсальную калибровку (рис. 208, I/II) или калибры системы круг — овал и овал — ребровый овал. Указанные системы

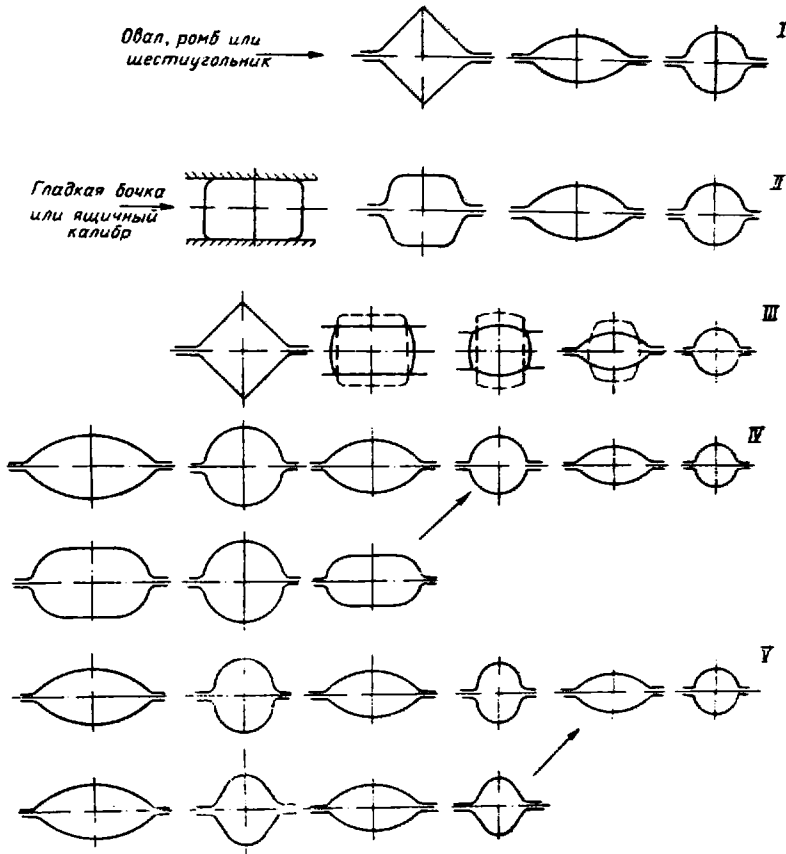


Рис. 208. Схемы прокатки круглой стали

калибровки обеспечивают лучшее удаление окалины с прокатываемой полосы, меньший износ предчистовых овальных и чистовых круглых калибров. Кроме того, прокатываемые полосы не имеют острых углов, что обеспечивает более равномерное распределение температуры по сечению.

Калибры системы круг — овал (рис. 208, IV) наряду с отмеченными достоинствами имеют существенный недостаток, который заключается в неустойчивости круглой полосы при прокатке ее в овальном калибре и при прокатке овальной полосы в круглом калибре. Применение в этом случае сложной проводковой арматуры затрудняет обслуживание стана и снижает его производительность. Замена в этой системе обычных овалов плоскими овалами весьма целесообразна, так как такой овал легче направлять и удерживать при помощи плоских линеек или пропусков.

Система калибровки овал — ребровый овал также отличается недостаточной устойчивостью прокатываемой полосы при прохождении ее через овальные калибры. Однако изменение конструкции вертикальных овалов (208, V) позволяет несколько повысить устойчивость прокатываемой полосы. В последнее время эту систему калибров применяют на не-

прерывных станах с чередованием клетей с вертикальными и горизонтальными валками. В случае применения на этих станах калибров системы квадрат — овал сохраняется кантовка полосы, вышедшей из квадратного калибра, на 45° перед задачей ее в овальный калибр, что часто ведет к «забуриванию» полосы и неправильному образованию петли между клетями.

Таким образом, схемы прокатки круглой стали различаются между собой по форме подготовительных калибров, но почти все имеют похо-

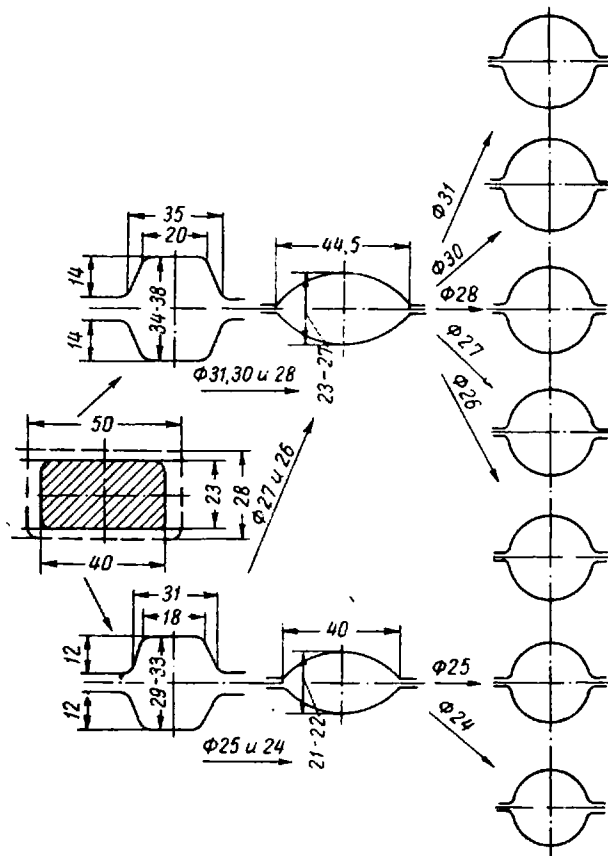


Рис. 209. Универсальная калибровка круглой стали

жие по форме три основных калибра: чистовой круглый, предчистовой овальный и подготовительный предчистовой квадратный.

При прокатке круглой стали диаметром менее 30 мм чистовой калибр строят в виде правильного круга, а более 30 мм горизонтальный диаметр калибра принимают на 1—2% больше вертикального (рис. 210). Отклонение от правильного круга объясняется тем, что при остывании круглой стали происходит большая усадка по горизонтальному диаметру.

Диаметр круглой стали при прокатке определяют с учетом усадки металла при охлаждении и минусового допуска по формуле

$$d_r = (1,012 \div 1,015) (d - \Delta d),$$

где d — диаметр круглой стали в холодном состоянии;

Δd — минусовый допуск.

Радиус R , которым описывают круглый калибр, принимают равным половине диаметра d_r .

При выборе формы и размеров предчистового овального калибра руководствуются следующим. Для получения точного круглого профиля необходимо применять овалы с малым отношением ширины к толщине, т. е. по форме близкие к кругу. Однако такой овал трудно получить из квадрата хорошо выполненным. Кроме того, овал с малым отношением ширины к толщине весьма трудно удерживать в проводках при задаче в круглый калибр. Неточность при задаче овала в круг приводит к опрокидыванию и последующему свертыванию полосы в калибре. Поэтому для устойчивости овала в проводках желательно иметь овалы с возможным большим отношением ширины к толщине (более плоские овалы). На заполнение круглого калибра существенное влияние оказывает обжатие (коэффициент вытяжки).

При прокатке круглых профилей небольшого диаметра применяют более плоские предчистовые овалы, что связано с большими трудностями при удерживании в проводках овалов малого сечения.

Расчет предчистового овала начинают с определения его толщины, которая зависит от уширения полосы в круглом калибре. Для определения толщины предчистового овала можно пользоваться данными табл. 20. Для заданного круглого профиля находят отношение толщины h к диаметру d круглого калибра и, исходя из него, определяют толщину овала. Остальные размеры овала легко определяются, если известна площадь овала или отношение его ширины b к толщине h .

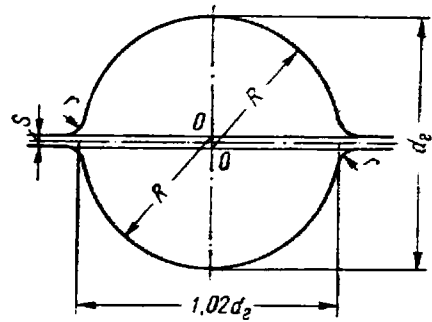


Рис. 210. Построение чистового круглого калибра

Таблица 20

Размеры предчистовых овальных и квадратных калибров при прокатке круглой стали (по данным А. П. Виноградова)

Диаметр круглой стали, мм	Предчистовой овальный калибр		Сторона предчистового квадратного калибра a , мм
	h/d	b/h	
5—7	0,69÷0,78	2,35÷2,5	$a = d$
7—9	0,75÷0,85	1,75÷2,1	$a = d$
9—11	0,80÷0,85	1,67÷1,8	$a = d + (0,25 \div 0,5)$
12—15	0,80÷0,87	1,6÷1,7	$a = d + 1$
16—20	0,87÷0,90	1,5÷1,6	$a = d + 2$
21—25	0,90÷0,92	1,47÷1,5	$a = d + 3$
26—35	0,90÷0,94	1,47÷1,5	$a = d + (4 \div 7)$
36—40	0,90	1,4÷1,5	$a = d + (8 \div 12)$
42—50	0,91	1,4	$a = d + (12 \div 15)$
52—60	0,92	1,4	$a = d + (12 \div 15)$
65—80	0,92	1,4	$a = d + (12 \div 15)$

Толщина предчистового овала может быть также определена, исходя из учета уширения овальной полосы при прокатке ее в круглом калибре. Если для подсчета уширения пользоваться средними высотами калибра и овальной полосы, то, согласно рис. 211, а, имеем

$$d - h = k(b_{cp} - d_{cp}),$$

где

$$d_{\text{ср}} = \frac{\pi d^2}{4d} = 0,785d,$$

$$b_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{ов}}}{h} = \frac{cbh}{h} = cb.$$

Тогда

$$d - h = k(cb - 0,785d),$$

$$d - kcb + 0,785kd = h,$$

$$h = d(1 + 0,785k) - kcb.$$

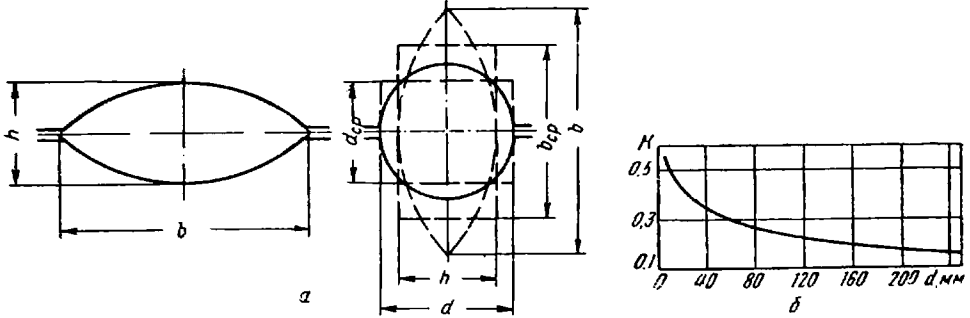


Рис. 211. Схема к определению размеров предчистового овального калибра

Ширина овала b может быть выражена через отношение b/h , которое предварительно должно быть известно. Если принять $\frac{b}{h} = c_1$, то

$$h = d(1 + 0,785k) - kcc_1h,$$

$$h + kcc_1h = d(1 + 0,785k),$$

$$h(1 + kcc_1) = d(1 + 0,785k),$$

$$h = \frac{d(1 + 0,785k)}{1 + kcc_1} = \frac{d(1 + 0,785k)}{1 + kc\frac{b}{h}}.$$

Показатель уширения k может быть найден в зависимости от диаметра чистового круга по графику, представленному на рис. 211, б.

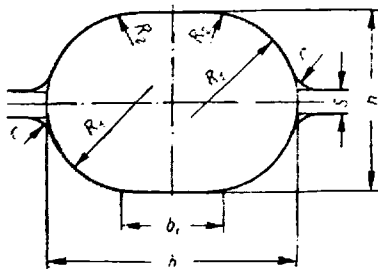


Рис. 212. Построение плоско-овального калибра

Зная для предчистового овала отношение b/h и показатель уширения k , легко определить высоту овала h , ширину b , площадь F и радиус R .

Обычные овалы для прокатки крупных профилей не применяют потому, что их трудно заполнить металлом; ребра овальной полосы получаются плоские с острыми кромками. При задаче такого овала в круглый чистовой калибр происходит быстрый его износ в местах соприкосновения с острыми кромками овальной полосы. Поэтому для профилей диаметром 80 мм и более применяют предчистовые овалы эллиптической формы, которые описываются двумя или тремя радиусами (рис. 212).

Плоские предчистовые овалы имеют еще то преимущество, что они

хорошо удерживаются при задаче в круглый калибр в вертикальном положении. Ввиду этого упрощается настройка проводковой арматуры и облегчается работа на стане.

Для конструирования плоских овалов (рис. 212) можно пользоваться практически соотношениями, которые приведены в табл. 21. Ширина горизонтальной части овала b_1 уменьшается с увеличением диаметра круга и форма овала в большей степени приближается к кругу. Боковые стороны такого овала описываются радиусом, равным половине диаметра прокатываемого круга, что улучшает условия деформации овальной полосы в чистовом калибре.

Таблица 21

Размеры предчистовых плоских овальных калибров (см. рис. 212) при прокатке круглой стали

Диаметр круглой стали, мм	Размеры, мм					
	b	b_1	R_1	R_2	r	
50—60	} 1,26 d	(0,5—0,53) d	} 0,5 d	8—10	6	6—8
65—80		(0,48—0,52) d		10—12	6	8
85—115		(0,46—0,48) d		12—15	6—8	6—8
120—150		(0,40—0,44) d		15—18	6—8	10—12

Сторона предчистового квадратного калибра может быть принята по табл. 20 или определена расчетом из условия правильного заполнения предчистового овального калибра.

На практике сторона предчистового квадратного калибра при прокатке проволоки равна диаметру d ; при прокатке круглой стали диаметром 10—100 мм $a = (1,08 \div 1,10) d$. При таких размерах сторон предчистового квадрата общий коэффициент вытяжки при прокатке проволоки

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{a^2}{0,785a^2} = 1,28;$$

при прокатке круглой стали

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{(1,08d)^2 \div (1,1d)^2}{0,785d^2} = 1,48—1,54.$$

Если принять коэффициент вытяжки в чистовом круглом калибре $\mu_1 = 1,15$, то коэффициенты вытяжки в предчистовом овальном калибре: при прокатке проволоки

$$\mu_2 = \frac{1,28}{1,15} = 1,12;$$

при прокатке круглой стали

$$\mu_2 = \frac{1,48 \div 1,54}{1,15} = 1,29 \div 1,34.$$

Радиус закругления вершины квадратного калибра

$$r = (0,10 \div 0,15) a.$$

Площадь квадратного калибра

$$F_{\text{кв}} = 0,98 a^2.$$

Коэффициент вытяжки при прокатке в предчистовом квадратном калибре находится в пределах 1,2—1,3.

При прокатке круглой стали по схеме, приведенной на рис. 208, II, III, расчет предчистового калибра аналогичен предыдущему расчету. При прокатке круглых профилей по универсальной схеме (рис. 208, II, III) вместо правильного квадрата используется полоса приближен-

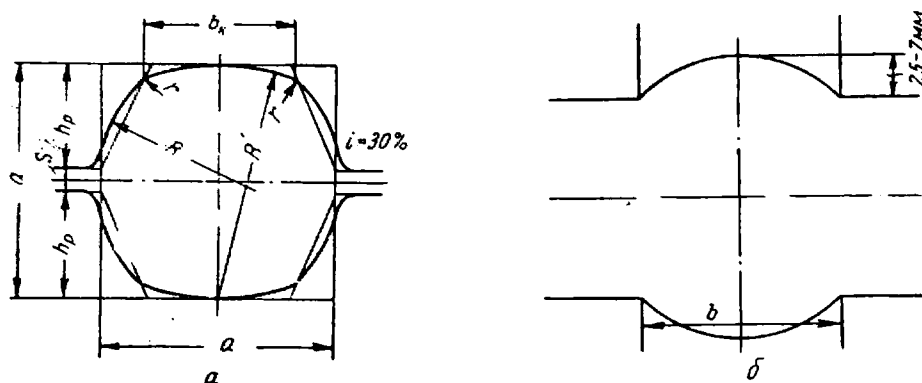


Рис. 213. Построение предчистового ребрового калибра

ного квадратного или прямоугольного сечения, которую получают из ребрового калибра (рис. 213, а и б).

Построение ребрового калибра может быть выполнено, исходя из следующих соотношений (рис. 213, а). Ребровый калибр вписывается в квадрат со стороной a . Между площадью полосы F , соответствующей форме ребрового калибра, и стороной a описанного вокруг калибра квадрата имеется следующее соотношение:

$$F = 0,83a^2 \text{ или } a = \sqrt{\frac{F}{0,83}} = 1,1 \sqrt{F}.$$

Остальные размеры калибра принимают в зависимости от стороны квадрата:

$$b_k = 0,6a, R = 0,6a, R' = a, r = 0,2a.$$

Размеры полосы, выходящей из ребрового калибра, можно изменять за счет зазора между валками. В этом случае размеры поперечного сечения прямоугольной полосы

$$h = a + \Delta s, b = a,$$

$$F' = 0,83a^2 + b\Delta s.$$

При прокатке круглой стали по схеме, приведенной на рис. 208, V, вместо предчистового квадратного калибра применяют вертикальный овальный калибр, два варианта которого представлены на рис. 214. Высота H калибра должна быть меньше ширины предчистового горизонтального овального калибра на величину уширения. Ширина B калибра может быть определена по принятой вытяжке в предчистовом горизонтальном овальном калибре.

Радиус

$$R = (0,7 \div 1,0) B,$$

радиус закругления вершин

$$r = (0,2 \div 0,25) R.$$

На рис. 215 представлена схема прокатки круглой стали, применяемая на современных сортовых станах.

Отличительной особенностью прокатки проволоки является быстрое уменьшение температуры металла вследствие малого поперечного сечения и большой поверхности. Чтобы осуществить прокатку проволоки в заданном интервале температур, необходимо применять возможно большие коэффициенты вытяжки и максимальные скорости прокатки. При прокатке проволоки средний коэффициент вытяжки за проход находится в пределах 1,25—1,35; в отдельных проходах коэффициент вытяжки достигает 2 и более.

На станах линейного типа для прокатки проволоки обычно применяют систему калибровки овал — квадрат. Эта система позволяет применять большие коэффициенты вытяжки, уменьшать число проходов и сокращать время прокатки. Однако применение этой системы калибровки требует тщательной настройки стана, так как получение неправиль-

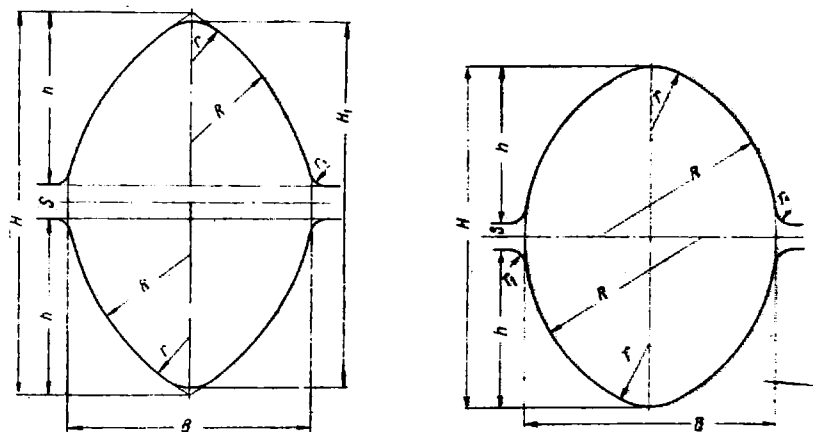


Рис. 214. Построение вертикального овального калибра

ного квадрата приведет к искажению овала и готового проката (проволоки). На точность получения квадрата большое влияние оказывает правильная задача овальной полосы в квадратный калибр.

При прокатке проволоки на полунепрерывных станах также применяют систему калибровки овал — квадрат. В черновой непрерывной группе клетей применяют систему калибровки, в которой плоские овальные калибры чередуются с квадратными.

Прокатка на непрерывном проволочном стане характеризуется не только большими скоростями, но и большими обжатиями по сравнению с теми, которые применяют на станах линейного типа. В связи с этим имеются отличия в калибровке валков, применяемой для прокатки проволоки на непрерывных станах. В черновой непрерывной группе клетей обычно применяют наиболее эффективную систему калибровки плоский овал — квадрат. Эта система калибровки обеспечивает хорошее удаление печной окалины с прокатываемой полосы, равномерное распределение вытяжек по клетям, увеличивает срок службы валков и обеспечивает устойчивое положение овальной полосы при задаче в квадратный калибр и квадратной полосы при задаче в плоский овальный калибр. Коэффициенты вытяжки за проход в этой системе калибровки могут достигать 2,0 и более.

В промежуточной и чистовой группах клетей проката осуществляется обычно в калибрах системы овал — квадрат. При этом более вытянутые овалы применяют в промежуточных клетях, где надо осуществить

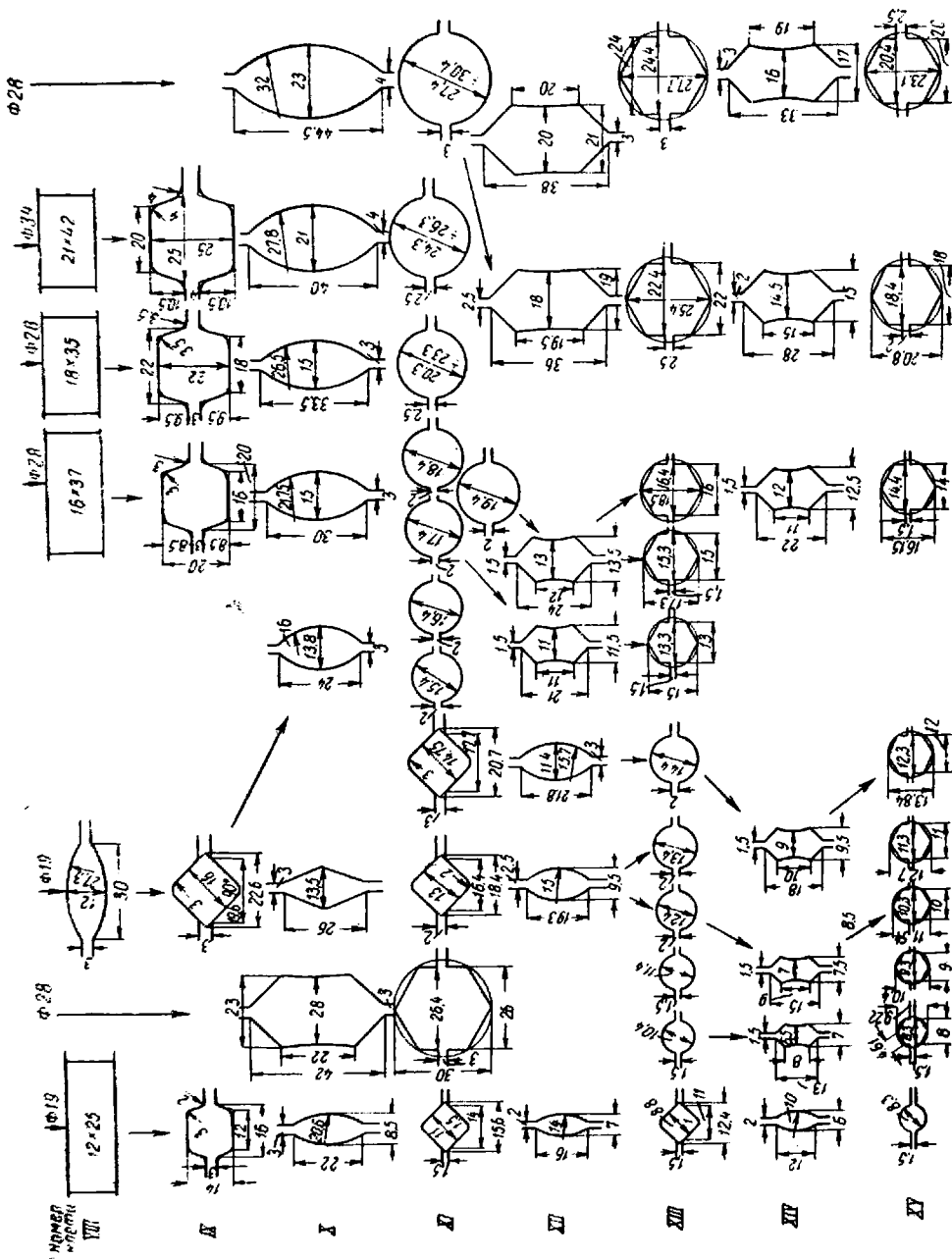


Рис. 215. Схема прокатки круглой стали на современных сортовых станах

возможно большую деформацию. Предчистовыми могут быть овалы менее вытянутой формы. Форма предчистового овала должна быть такой, чтобы препятствовать свертыванию его в круглом калибре. Поэтому

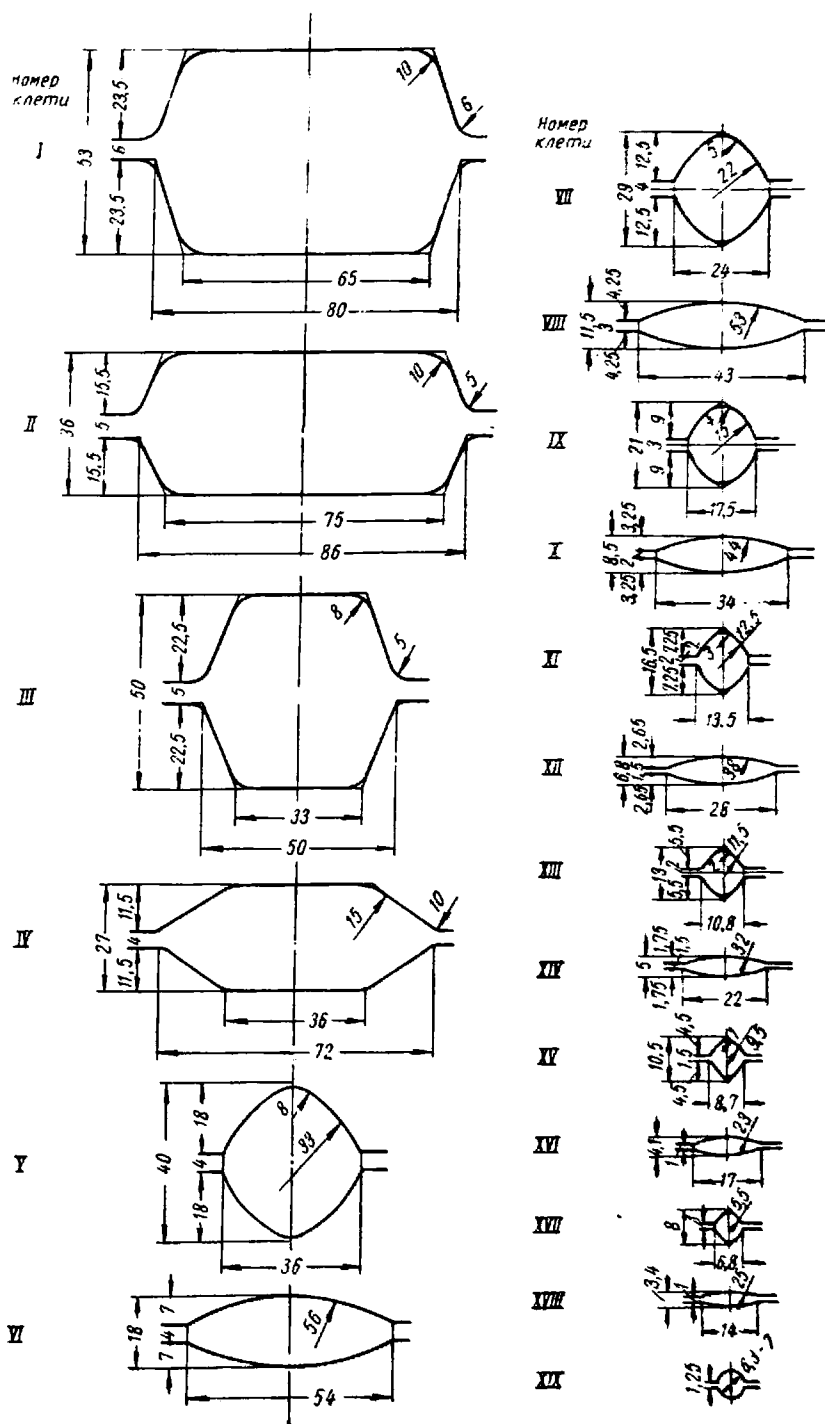


Рис. 216. Калибровка валков для прокатки проволоки на непрерывных станах

овал должен иметь более или менее вытянутую форму, так как такой овал легче удерживать в пропусках при задаче его в круглый калибр. Однако для получения возможно точного круглого профиля выгодно иметь овал с меньшим отношением осей, т. е. более выпуклой формы.

Предчистовые овалы для прокатки проволоки принимают с отношением осей $\frac{b}{h} = 1,75 \div 2,5$; меньшее значение принимают для проволоки больших размеров, а большее значение для проволоки меньших разме-

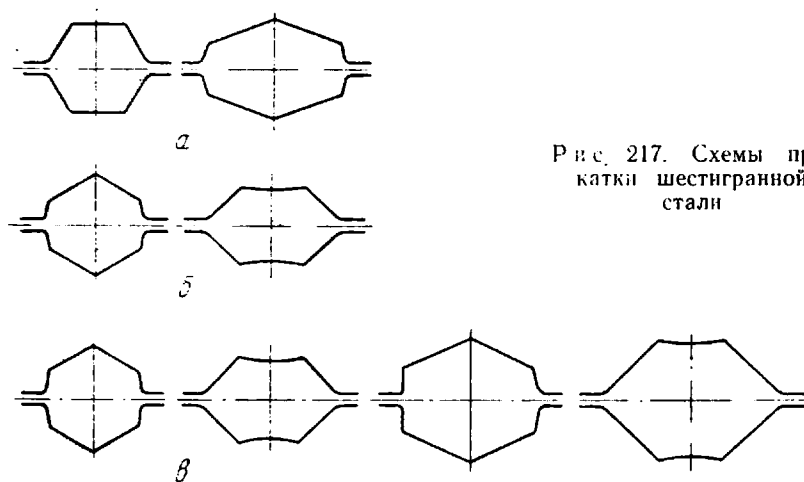


Рис. 217. Схемы прокатки шестигранной стали

ров. Эти пределы отношения осей предчистовых овалов могут изменяться не только в зависимости от размера прокатываемого профиля, но и от типа стана, скорости прокатки и других факторов.

В последнее время для прокатки проволоки на непрерывных станах находит применение система вытяжных калибров овал — ребровой овал (рис. 216).

Существует несколько схем прокатки шестигранной стали, которые отличаются расположением чистового шестигранного калибра, формой и числом предчистовых калибров.

Первая схема прокатки (рис. 217, а) состоит из чистового шестигранного калибра с разъемом валков по ребрам и специального предчистового калибра. В отличие от этой схемы вторая схема прокатки (рис. 217, б) состоит из чистового шестигранного калибра с разъемом валков посередине боковых граней и соответствующего предчистового калибра. Третья схема прокатки (рис. 217, в) отличается тремя профилирующими калибрами вместо одного по первой и второй схемам. Чистовой калибр в этом случае обычно располагают так, как во второй схеме прокатки.

Преимущество первых двух схем прокатки шестигранной стали — использование обычно тех же черновых калибров, что и для круглой и квадратной стали. Поэтому при переходе на прокатку шестигранной стали заменяют только чистовой и предчистовой калибры.

Профилирующие калибры в третьей схеме прокатки обеспечивают хорошее выполнение углов профиля и плавное формоизменение в последних проходах, но вызывают необходимость (при переходе с прокатки круглой стали на прокатку шестигранной стали) смены четырех калибров вместо двух по первым двум схемам прокатки.

Широко применяют вторую схему прокатки, при которой расположение чистового калибра с разъемом валков посредине боковых граней обеспечивает хорошее выполнение всех углов профиля. Кроме того, колебания уширения несущественно отражаются на размерах выходящей полосы, так как избыток или недостаток металла, идущего на уширение, распределяется по всей высоте боковых граней.

На рис. 218 приведен чистовой калибр шестигранной стали, для построения которого проводят окружность диаметром, соответствующим размеру полосы, и затем относительно этой окружности описывают шестигранник. Сторона шестигранника

$$c = \frac{\sqrt{3}}{3} d = 0,577d.$$

Площадь калибра

$$F = 6 \cdot \frac{1}{2} AB \cdot OE = 3 \cdot 0,577 \frac{d^2}{2} = 0,866d^2$$

Выпуск калибра принимают в пределах 1—2%.

На рис. 219 показан предчистовой калибр для прокатки шестигранной стали. Высота калибра определяется с учетом уширения в чистовом калибре. Ширина калибра определяется по вытяжке в чистовом калибре. Уклон боковых сторон калибра принимают 45°. Выпуклость дна калибра $f = 0,25 \div 1,5$ мм.

Кроме обычной шестигранной стали, прокатывают также шестигранную пустотелую сталь (рис. 220), которую применяют при изготовлении бурового инструмента. Ее прокатывают из углеродистой и легированной инструментальной стали. Диаметр отверстия зависит от размеров шестигранной стали.

Прокатка пустотелой стали представляет собой прокатку биметалла. Квадратную заготовку длиной около 1 м просверливают на всю длину и в отверстие вставляют сердечник, диаметр которого на 0,5—1,0 мм меньше диаметра отверстия. Длина сердечника примерно на 100 мм больше длины заготовки. Сердечник обычно изготавливают из специальной стали аустенитного класса с содержанием около 14% Mn и около 3,5% Ni. Эта сталь при растяжении равномерно уменьшается по длине, что обеспечивает возможность удаления сердечника из готовой шестигранной стали.

При прокатке шестигранной пустотелой стали очень важно обеспечить условия для получения точного круглого отверстия. Это достигается применением небольших обжатий за проход, уменьшением неравномерности деформации и плавным формоизменением. Поэтому для прокатки этой стали применяют третью схему (см. рис. 217) и первую схему с увеличенным числом профилирующих калибров.

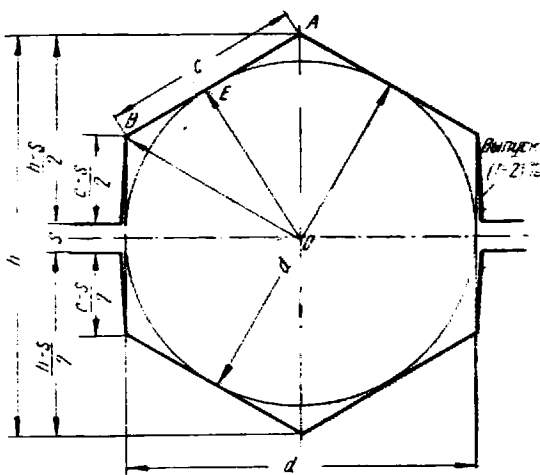


Рис. 218. Построение чистового калибра для прокатки шестигранной стали

Чтобы вытащить сердечник из готовой пустотелой стали, концы ее надрезают так, чтобы сердечник остался незатронутым. После этого его вытягивают на волочильном стане.

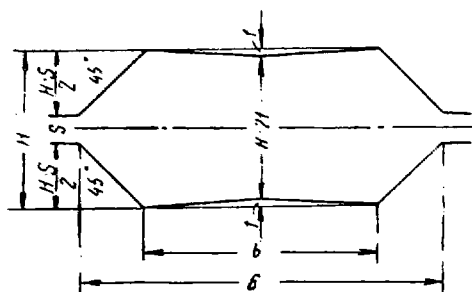


Рис. 219. Предчистовой калибр для прокатки шестигранной стали

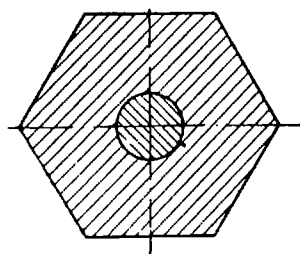


Рис. 220. Шестигранная буровая сталь с сердечником

Калибровка валков для прокатки угловой стали

На рис. 221, I приведена схема прокатки угловой стали в закрытых калибрах. В этом случае полки уголка остаются прямыми, а центральный угол постепенно уменьшается с $125\text{--}145^\circ$ (в первом черновом калибре) до 90° (в чистовом калибре). Центральный угол можно изменять равномерно по проходам или пропорционально обжатию полки в соответствующем проходе.

Недостатки этого способа прокатки угловой стали: глубокий врез калибров в валки (уменьшение их прочности) и большая разница рабочих диаметров валков (повышенный износ их, больший расход энергии и ухудшение поверхности профиля). Эти недостатки сводятся к минимуму при прокатке угловой стали с развернутыми полками в закрытых калибрах (рис. 221, II). Центральный угол в первом черновом калибре обычно принимают $125\text{--}145^\circ$ с постепенным уменьшением до 90° в последних трех калибрах. Наряду с изгибом полок необходимо применять значительное их обжатие.

Применение этой схемы прокатки при получении угловой стали больших размеров приводит к необходимости выполнения большой работы формоизменения при переходе от развернутых до горизонтальной полки, получаемых в предчистовом калибре, к прямополочному профилю в чистовом калибре. Кроме уменьшения устойчивости прокатки, это приводит к появлению на наружных гранях полок угловой стали значительных растягивающих напряжений, а часто и к образованию микро- и макротрещин.

На современных высокопроизводительных станах широко применяют универсальную схему прокатки угловой стали малых размеров (рис. 221, III). Основное достоинство этой схемы состоит в том, что прокатка в черновых валках осуществляется без ограничения уширения, благодаря чему их можно использовать для прокатки угловой стали любых размеров. Имеющийся в этой схеме ребровый калибр предназначен для обработки кромок и регулирования ширины полок уголка. Эта схема прокатки угловой стали требует меньший парк валков, повышает производительность стана и снижает себестоимость готового проката.

В схеме, приведенной на рис. 221, IV, наряду с черновым имеется второй ребровый калибр, предшествующий обычно предчистовому ка-

либру. В этом случае может быть достигнут еще больший диапазон профилей, прокатываемых на одном комплекте валков. Эту схему можно применять для прокатки угловой стали малых размеров на непрерывных

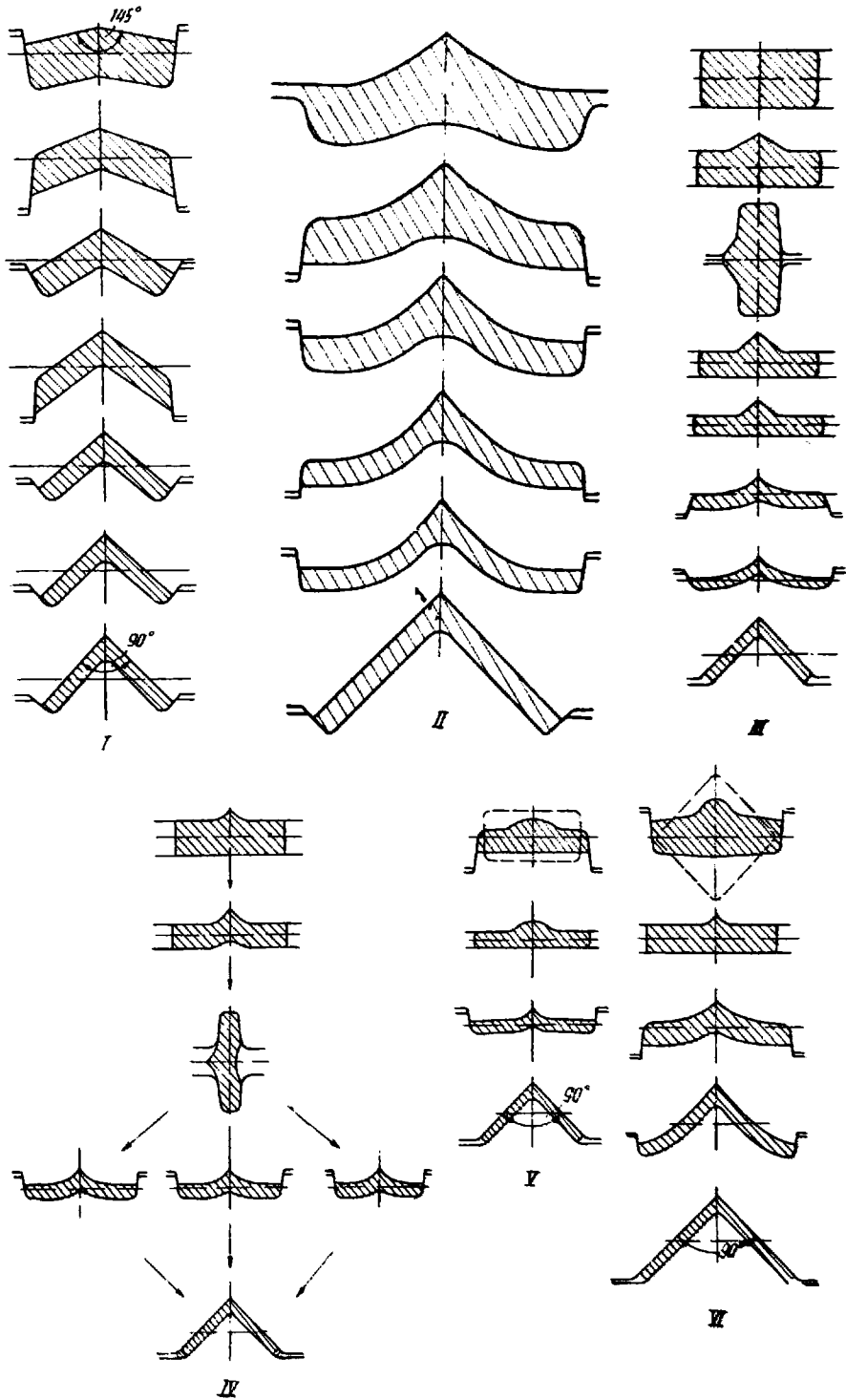


Рис. 221. Схемы прокатки угловой стали

станах, где ребровые калибры размещают в клетях с вертикальными валками.

В некоторых случаях угловую сталь прокатывают по методу сгибания полосы (рис. 221, V). В этом случае квадратную или прямоугольную заготовку обжимают в полосу, имеющую посередине ширины некоторое утолщение. В дальнейшем полосу сгибают до получения углового профиля. При прокатке по этому способу имеются некоторые затруднения в процессе сгибания полок в чистовом калибре. Этот способ прокатки можно использовать для получения тонкостенных профилей угловой стали малых размеров.

Иногда применяют способ прокатки угловой стали, при котором квадратную заготовку задают в калибр по диагонали (рис. 221, VI). Эта

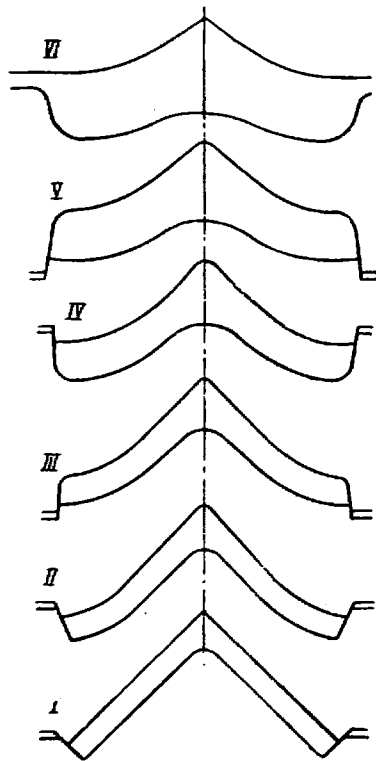


Рис. 222. Схема прокатки угловой стали с применением системы развернутых калибров с постепенным сгибанием полок

схема прокатки обеспечивает быстрое увеличение ширины профиля. На одном заводе при прокатке угловой стали $230 \times 230 \times 24$ мм по обычной схеме были обнаружены мелкие трещины по концам полок. По условиям службы (в мостовых конструкциях) такой дефект уголков не допускается. Анализ причин, вызывающих появление мелких трещин по концам полок, показал, что они являются результатом некачественной поверхности граней блюмов (борозды до зачистки металла, впадины от закатанной окалины и т. п.). Поэтому было решено осуществить такую схему деформации, при которой края полок должны получаться из ребер квадратного блюма. В результате появления волосных трещин на концах полок было исключено.

При прокатке угловой стали больших размеров с толстыми полками весьма целесообразным является применение системы развернутых калибров с постепенным сгибанием полок при переходе от полностью развернутых до горизонтальной калибров к прямополочному калибру (рис. 222). Эта система калибров предусматривает использование ряда переходных калибров (на рис. 222 калибры III и II) при переходе от полностью развернутого IV к прямополочному чистовому калибру, что позволяет постепенно выравнивать полки профиля.

В этих условиях при переходе от предчистового кривополочного к чистовому прямополочному калибру получается меньшая работа формоизменения по спрямлению полок и меньшие растягивающие напряжения на наружных кромках полки, а также обеспечивается более устойчивое положение профиля в валках чистовой клетки. Последним достигается более высокая технологичность процесса прокатки и повышается качество профилей.

Калибры для прокатки угловой стали располагают на валках так, чтобы вершина уголка была сверху, а концы полок снизу. При таком расположении облегчается удаление окалины, а прокатываемая полоса занимает наиболее устойчивое положение при задаче в калибр и выход

де из него. Нейтральную линию калибра проводят по центру тяжести профиля.

Угловую сталь можно рассматривать как полосу, согнутую под прямым углом. Поэтому расчет обжатий при прокатке углового профиля можно вести так же, как и для полосовой стали. В этом случае ширина полосы равна длине двух полок по ее оси (рис. 223). При длине полки по наружному волокну b и толщине d можно определить длину полки по оси

$$b_1 = b - \frac{d}{2}.$$

Тогда ширина полосы угловой стали

$$2b_1 = 2b - d.$$

Зная ширину и толщину полосы угловой стали и принимая показатель уширения, можно определить размеры исходной заготовки.

При расчете уширения полок угловой стали принимают, что каждая полка уширяется как отдельная полоса. Показатель уширения рекомендуется принимать для угловой стали $20 \times 20 \div 100 \times 100$ мм равным 0,25, а для больших размеров 0,3. Эти показатели вполне пригодны для ориентировочного расчета, если иметь в виду, что уширение в калибрах ограниченное.

Сторону исходной квадратной заготовки a определяют из уравнения

$$2b_1 = a + 2k(a - d),$$

$$a = \frac{2b_1 + 2kd}{1 + 2k}.$$

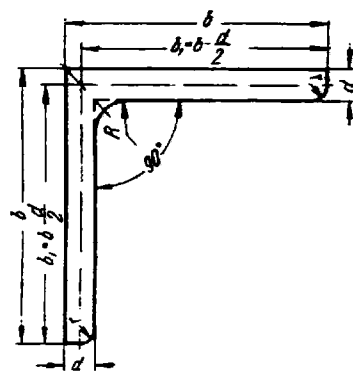


Рис. 223. Схема к определению ширины полосы угловой стали

Зная размеры исходной квадратной заготовки и толщину полки угловой стали, находят суммарный коэффициент обжатия. Приняв число проходов и зная суммарный коэффициент обжатия, можно определить коэффициенты обжатия в отдельных проходах. Число проходов, необходимое для прокатки угловой стали, зависит от ряда условий и, в частности, от размеров профиля. Обычно угловую сталь малых размеров прокатывают за пять проходов, средних — за 7—9 проходов и больших размеров — за 9—11 проходов.

Калибры строят следующими способами. Чистовой калибр строят с углом 90 и $90^\circ 30'$. Длину полок определяют с учетом коэффициента усадки. Остальные размеры принимают по ГОСТу. Открытый чистовой калибр предпочтительнее закрытого, так как позволяет прокатывать угловую сталь нескольких размеров по толщине и длине полок.

Если известны ширина, толщина полок и центральный угол профиля в каждом проходе, то нетрудно построить любой промежуточный калибр. Радиусы закруглений промежуточных калибров принимают по правилу Кирхберга: $R = d, r = 0,5d$.

В случае применения закрытых калибров для прокатки угловой стали выпуск в последних трех калибрах принимают равным 3—5% толщины полки, а для первых он может достигать 10—15%.

Калибры с развернутыми полками можно строить следующими способами. По первому способу (рис. 224, а) наружный контур стороны предчистового калибра образуется из прямого наклонного отрезка длиной $b = \frac{l}{4} \div \frac{l}{2}$, криволинейного отрезка, описанного радиусом $R = \frac{l}{2}$ и горизонтального отрезка, касательного к этой дуге. Первый профиль-

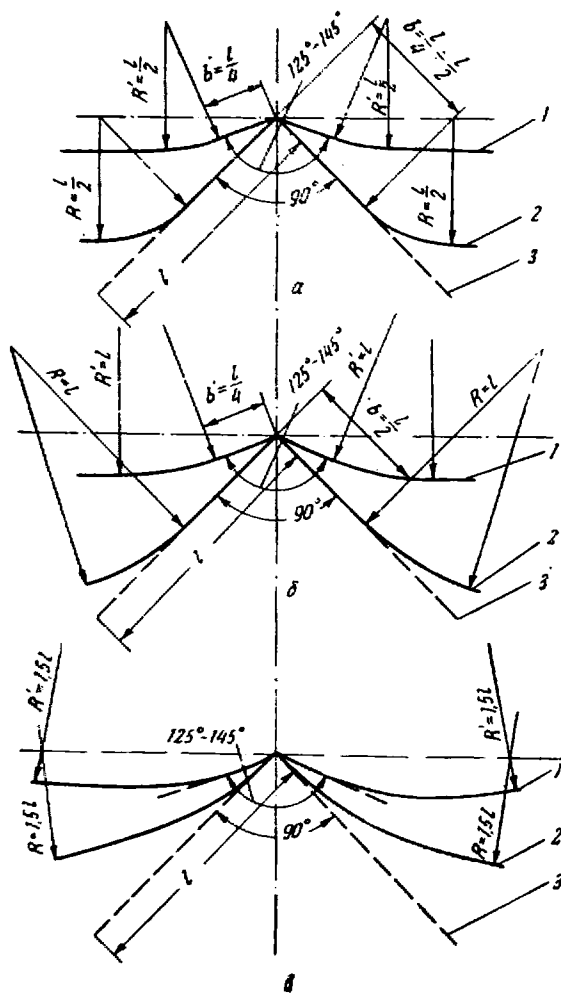


Рис. 224. Способы построения калибров угловой стали с развернутыми полками

ный калибр также очерчивают прямой $b' = \frac{l}{4}$, дугой $R' = \frac{l}{2}$ и горизонтальной касательной. Промежуточные калибры вычерчивают аналогично.

При построении калибров по второму способу (рис. 224, б) контур наружной стороны предчистового калибра образуется отрезком прямой линии и дуги, описанной радиусом $R = l$. Первый профильный калибр состоит из прямой $b' = \frac{l}{4}$, дуги описанной радиусом $R' = l$, и горизонтальной касательной.

При построении калибров по третьему способу (рис. 224, в) контур наружной стороны предчистового и первого профильного калибров, а также всех промежуточных калибров очерчивают только дугой радиусом $R = 1,5l$.

При сравнении этих способов построения калибров видно, что первый из них обеспечивает разворачивание полок на ограниченной длине, а третий — максимально возможное разворачивание полок. Второй способ построения калибров является промежуточным. Применение того или другого способа построения калибров обуславливается конкретными условиями.

Для прокатки неравнобокой угловой стали применяют эти же схемы и такой же порядок расчета обжатий.

Расположение калибров неравнобокой угловой стали на валках отличается от расположения калибров равнобокой стали. Возможны

два способа расположения калибров неравнобокой угловой стали на валках (рис. 225).

По первому способу (рис. 225, а) биссектриса угла перпендикулярна осям валков. При таком расположении получают различные вертикальные проекции полок уголков, в связи с чем неизбежно осевое смещение валков, которое сопряжено с получением более толстой длинной полки. Если не принимать особых мер, то профиль угловой стали будет иметь разную толщину полок. Жез рекомендует предусматривать обжатие полки с таким расчетом, чтобы достиглось выравнивание давлений, действующих на длинную и короткую полки. Для этого длинную полку необходимо обжимать меньше, а короткую больше. Достоинство первого способа расположения неравнобоких уголков состоит в том, что, изменяя зазор между валками, можно в одном и том же калибре получать уголки того же номера, но с разной толщиной полок.

При втором способе расположения неравнобоких уголков на валках (рис. 225, б) высоты вертикальных проекций обеих полок одинаковы. В этом случае исключается горизонтальное смещение валков, но такой калибр становится непригодным для прокатки в нем уголков одного номера с разной толщиной полки, так как при изменении зазора между валками будет происходить неодинаковое изменение толщины полок.

В зависимости от конкретных условий принимают тот или другой способ расположения калибров на валках.

8. ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА СОРТОВЫХ СТАНОВ

Вводная валковая арматура сортовых станов обеспечивает правильную задачу полосы в валки и удерживает ее в заданном положении в процессе прокатки [IV. 2, 14, 16, 17].

Линейки или боковые проводки применяют на сортовых станах в тех случаях, когда полоса устойчива при задаче и не имеет склон-

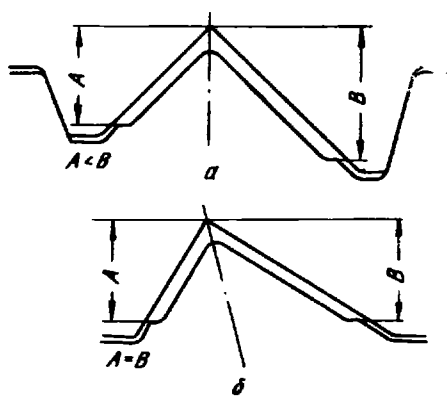


Рис. 225. Расположение калибров на валках для прокатки угловой стали

ности к повороту вокруг своей оси во время прокатки, например при прокатке швеллеров и других профилей. Вводные проводки крепят на проводковых брусках. Крепление проводок должно быть вполне надежным, чтобы прокатываемая полоса не могла увлечь их за собой, что может привести к аварии на стане.

Для обеспечения правильной задачи неустойчивой полосы (например, овальной полосы в круглый калибр, ромбической полосы в квадратный калибр и т. д.) применяют пропуски соответствующего профиля. Эти пропуски должны иметь высокую стойкость против истирания и налипания прокатываемого металла на них. Пропуски изготовляют из отбеленного или легированного чугуна, иногда из стали. При прокатке углеродистой стали обычно применяют пропуски из низкоуглеродни-

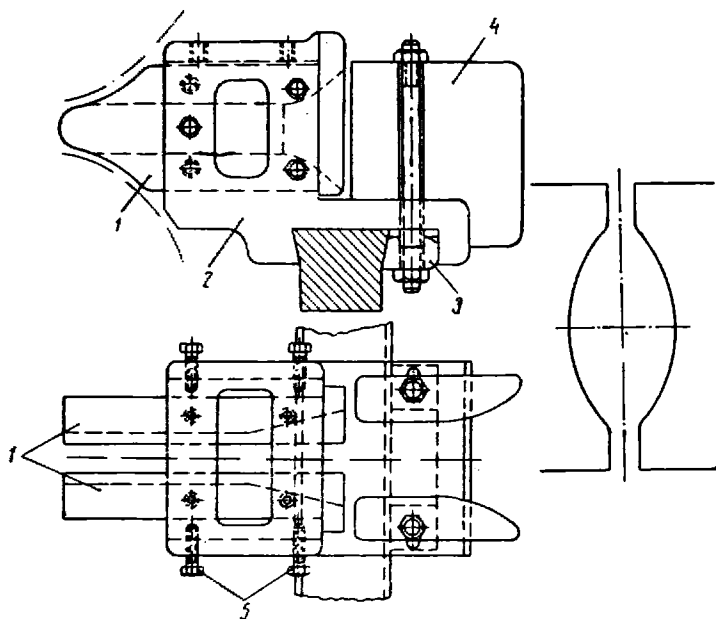


Рис. 226. Коробка с пропусками

стой стали с цементацией и хромированием трущихся поверхностей. При прокатке качественной стали применяют пропуски из легированной стали и легированного чугуна. Хорошие результаты показали пропуски из чугуна с содержанием 0,3—0,6% Р. Трущиеся поверхности пропусков должны быть тщательно обработаны и отшлифованы, так как от этого зависит качество прокатываемого металла.

Вводное устройство, показанное на рис. 226, состоит из следующих деталей: коробки 2, прикрепленной болтами 3 к проводковому брусу, пропусков 1, закрепляемых болтами 5, и защитных линеек 4. Конструкция коробки позволяет не только закреплять пропуски, но и устанавливать их в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Наиболее часто коробку с пропусками применяют для задачи овальной полосы в круглый калибр. Применяемые в этом случае пропуски образуют отверстие, имеющее форму овальной полосы, задаваемой в калибр. Чтобы облегчить задачу овальной полосы в коробку с пропусками, входную часть отверстия их делают несколько уширенной.

Для облегчения задачи овальной полосы, особенно при прокатке круглой стали больших размеров, применяют раздвижные пропуски.

В этом случае между пропуском и коробкой закладывают выдвигной клин.

Чтобы увеличить срок службы пропусков, применяют пропуски со вставками из карбида титана, обладающего большим сопротивлением истиранию. По данным одного завода, срок службы их в 45 раз боль-

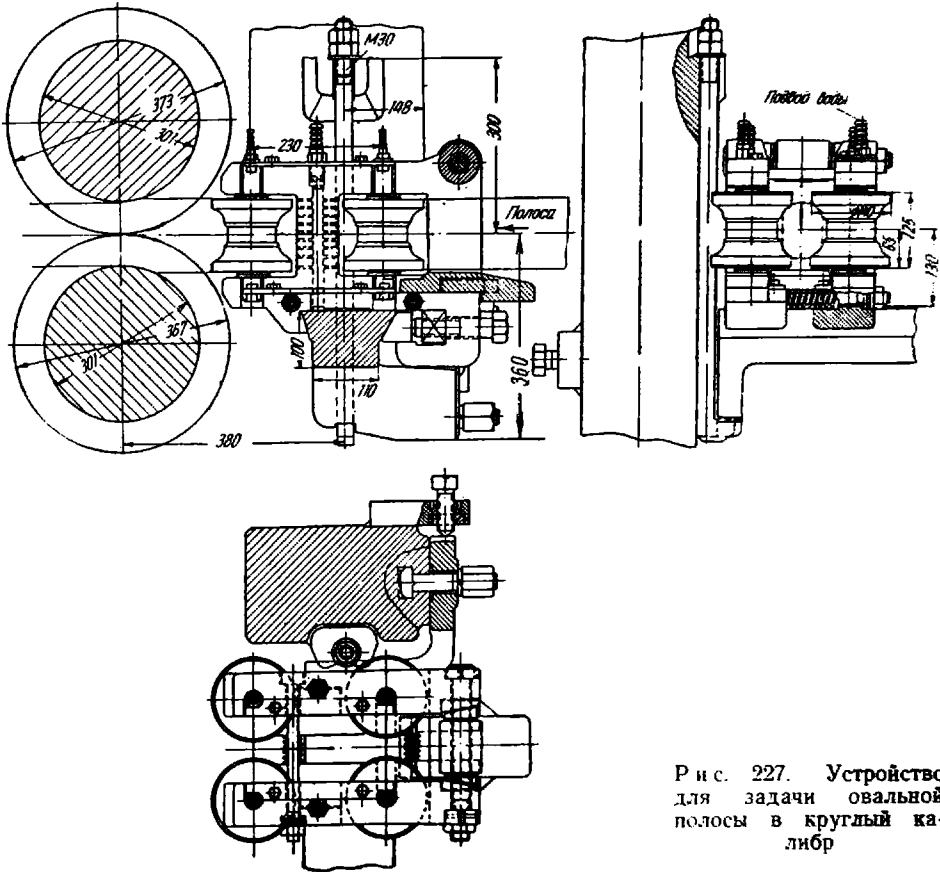


Рис. 227. Устройство для задачи овальной полосы в круглый калибр

ше срока службы пропусков, изготовленных из обычного материала. Однако высокая стоимость пропусков не всегда может окупиться эксплуатационными расходами.

В последнее время широкое распространение получают роликовые пропуски. Применение этих пропусков не только повысило срок их службы, но и положительно сказалось на качестве прокатываемого металла. В частности, благодаря применению роликовых пропусков почти полностью устраняется налипание металла на их поверхности.

На рис. 227 представлено вводное устройство для задачи овальной полосы в круглый калибр с роликовыми пропусками, установленное на непрерывном сортовом стане. Это устройство состоит из двух параллельных щек с вмонтированными в них двумя парами роликов. Щеки прикреплены болтами к проводковому брусу. Ролики профилированы по форме овала и закреплены на осях с роликовыми подшипниками. Настройка этих роликовых пропусков осуществляется при помощи пружин, стянутых болтами. Ролики охлаждаются водой через отверстия в щеках. По данным практики, наиболее устойчивы ролики из

стали 12ХФА с последующей термической обработкой. Оси роликов также изготавливают из легированной стали.

Выводная валковая арматура сортовых станов обеспечивает правильный выход полосы из валков и устойчивое движение ее в течение

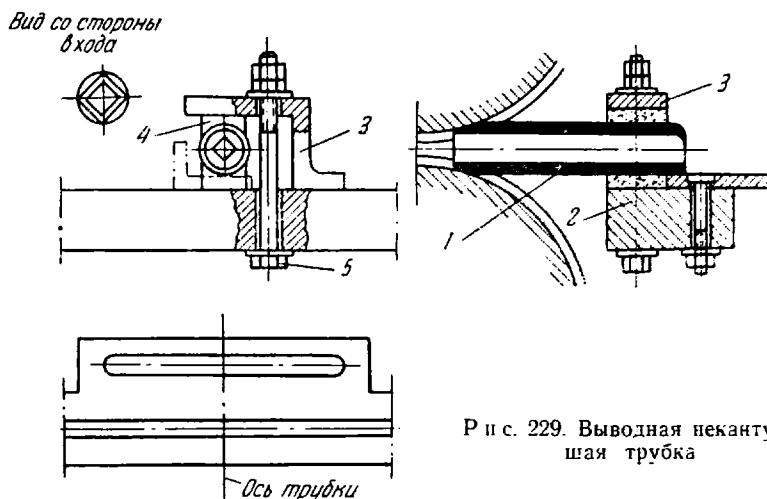


Рис. 229. Выводная некантованная трубка

процесса прокатки. К этой арматуре относят линейки, проводки, выводные трубки и приспособления для кантовки полосы.

Выводные проводки для простейших профилей (ромбических, квадратных, уголков и т. п.) выполняют без боковых щек в виде проводковых ножей. Назначение их состоит главным образом в том, чтобы предот-

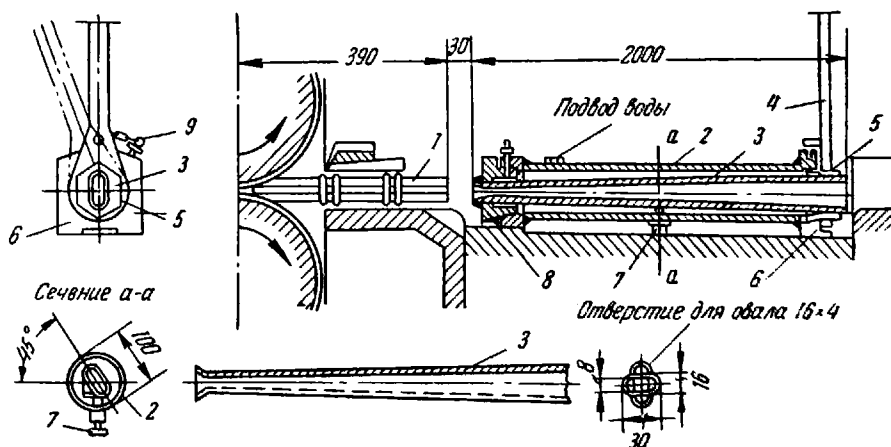


Рис. 230. Выводная кантованная трубка

вратить возможное оковывание валка выходящей полосой. Один конец выводной проводки свободно опирается на проводковый брус, а другой непосредственно на валок. Конец проводки, соприкасающийся с валком, тщательно пригоняют к поверхности последнего.

Выводные линейки (боковые направляющие) обычно изготавливают отдельно от проводковых ножей и крепят болтами на проводковом бруске. Между боковыми направляющими и проводкой имеется неболь-

шой зазор, обеспечивающий свободное прилегание ее к поверхности валка. На рис. 228 представлено выводное устройство для полосы круг-

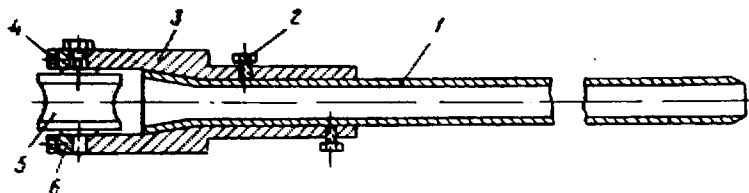


Рис. 231. Роликовая выводная кантующая трубка

лого сечения, установленное на непрерывном сортовом стане. Это устройство состоит из верхней и нижней проводок, боковых направляющих и направляющего ролика.

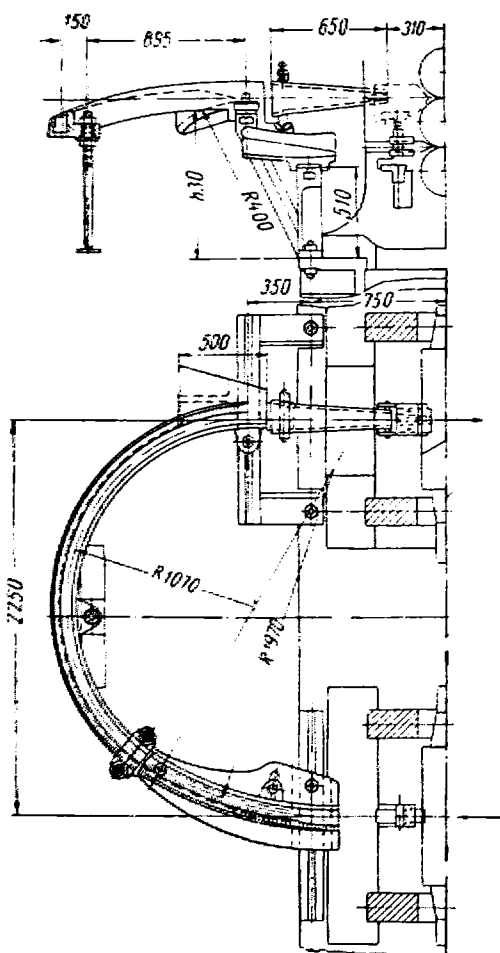


Рис. 232. Обводной аппарат для квадратной полосы

Верхняя проводка при помощи пружины прижимается одним концом к поверхности валка, а другим к квадратному брусу, закрепленному в боковых направляющих. Нижняя проводка прижимается одним концом к поверхности валка, а другим к проводковому брусу. Направляющий профилированный ролик охлаждается водой.

При прокатке мелких профилей применяют выводные трубки. На рис. 229 показана выводная кантующая трубка для квадратной полосы, состоящая из трубки 1, прикрепленной при помощи скобы 3 с деревянными прокладками 4 и болта 5 к проводковому брусу 2. С входной стороны трубка имеет форму калибра. Несмотря на простоту конструкции и настройки, эта трубка ненадежна в работе и быстро изнашивается.

На рис. 230 показана выводная кантующая трубка для овала, установленная на петлевой клети непрерывного проволочного стана. Трубка 3 установлена отдельно от выводной проводки 1. Кантующая трубка имеет овальную форму с углом кантования 90°. Она лежит на опорах 6, поворачивается во втулках 8 и 5 с помощью рукоятки 4 и регулируется болтом 7. На боковой стороне опоры 6 имеется ряд отверстий, в которые входит фиксатор 9, позволяющий закреплять положение рукоятки

рачивается во втулках 8 и 5 с помощью рукоятки 4 и регулируется болтом 7. На боковой стороне опоры 6 имеется ряд отверстий, в которые входит фиксатор 9, позволяющий закреплять положение рукоятки

4. Кантующая трубка 3 закрыта кожухом 2 и охлаждается циркулирующей водой. Кантующая трубка имеет большую длину, что вместе с изменяемым в широких пределах углом кантования обеспечивает правильное направление полосы и устойчивость ее в желобе обводного аппарата.

В последнее время широко применяют кантующие выводные трубки с роликами. На рис. 231 показана кантующая выводная трубка, установленная на чистовой линии мелкосортного стана 280 линейного типа. На тонкостенной стальной трубке 1 болтами 2 закрепляют кор-

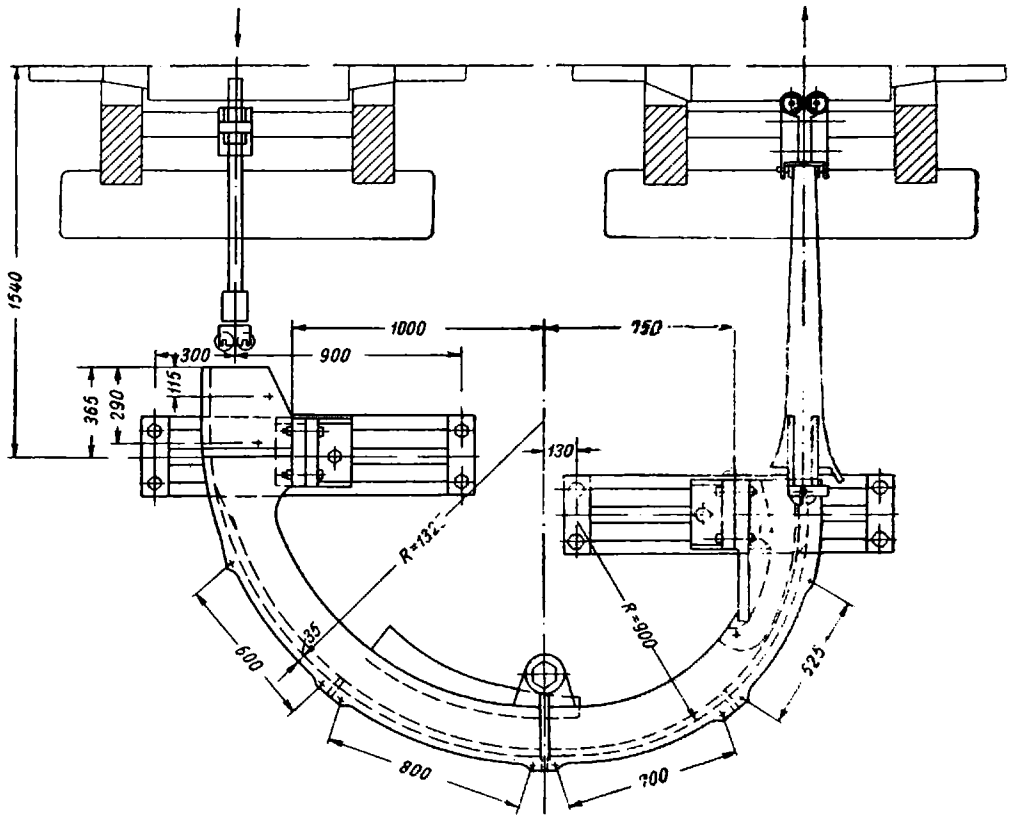


Рис. 233. Обводной аппарат для овальной полосы

пус роликовой головки 3. Планка 6, прикрепляемая болтами 4 к корпусу, удерживает оси двух роликов 5, вращающихся на шарикоподшипниках. Болты закрывают отверстие для смазки осей роликов. Применение таких трубок полностью устраняет царапины на полосе, получающиеся в кантующих трубках скольжения, значительно повышает срок службы трубок и облегчает регулирование угла кантования.

Обводную валковую арматуру применяют на проволочных, мелкосортных, в некоторых случаях и на среднесортных станах линейного типа. Наибольшее распространение получили автоматические обводки, предназначенные для передачи квадратной полосы сечением 5×5—45×45 мм из одной клетки в другую (в овальный или ромбический калибры).

На рис. 232 показан обводной аппарат для квадратной полосы, установленный на чистовой линии мелкосортного стана. Он состоит из выводного устройства, обводного желоба и вводного устройства. Обводной желоб, открытый сверху для выброса полосы в момент образования петли, состоит из неподвижной и подвижной частей. Желоб закрепляют на брусках, расположенных в специальных стойках, опирающихся вместе со станиной рабочей клетки на плитовины.

Выводное устройство представляет собой выводную кантовальную трубку с концом, соответствующим форме калибра, укрепленную на проводковом брусе.

Вводное устройство состоит из улавливающей воронки и коробки с пропусками.

Представленный на рис. 232 одножелобчатый обводной аппарат предназначен для передачи одной полосы. На проволочных и некоторых мелкосортных станах применяют многожелобчатые обводные аппараты. Каждый из желобов имеет отдельное выводное и вводное устройства.

В последнее время широко применяют обводки для передачи овальной полосы из одной клетки в другую при задаче ее в квадратный калибр. Эти обводки применяют для передачи овальных полос сечением 4×16 — 20×75 мм. Меньшие полосы овального сечения передавать по обводкам затруднительно, так как не обеспечивается их правильное положение перед калибром, а при тесных пропусках происходит застревание переднего конца полосы. Однако в последнее время эта проблема успешно решается с помощью роликовых пропусков.

На рис. 233 представлен обводной аппарат для передачи полосы овального сечения, установленный на чистовой линии мелкосортного стана. Обводной желоб, открытый снизу, предназначен для выброса полосы в момент образования петли. Выводное устройство представляет собой кантовальную выводную трубку с роликами. При помощи такого устройства происходит кантование выходящей из валков овальной полосы. Вводное устройство состоит из улавливающей воронки и коробки с роликовыми пропусками.

При прокатке периодических профилей создаются очень неблагоприятные условия работы для арматуры, так как непрерывное изменение обжатия вызывает колебания прокатываемой полосы и вибрацию всех деталей стана.

Арматура, применяемая при периодической прокатке, отличается от обычной. С передней стороны устанавливают массивную коробку, которую необходимо надежно закрепить, так как полоса при прокатке вибрирует и поступает в валки неравномерно. Пропуски регулируют болтами увеличенного диаметра. С задней стороны ставят нижнюю и верхнюю подвесную проводки. Так как дно калибра имеет сложную конфигурацию, проводка опирается на бурты валка. Носок проводки входит в калибр, но не касается дна даже на участках, где калибр имеет наименьшую глубину. Несмотря на это, проводки работают надежно и случаев окования валков не наблюдается. Во избежание изгиба проводку изготавливают более массивной (прочной), чем при обычной прокатке.

Для правильного выхода полосы из калибра в горизонтальной плоскости устанавливают линейки, часто со вставленными роликами. Кроме того, устанавливая на одной линейке ролик, уширенный вверх, а на другой уширенный вниз, можно при сближении роликов выравнивать скручиваемую валками полосу, не затрудняя ее выхода из калибра.

9. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА СОРТОВОЙ СТАЛИ

К отделочным операциям при производстве сортовой стали относят охлаждение, резку, правку, термическую обработку, удаление поверхностных дефектов и др. В современных прокатных цехах почти все отделочные операции выполняют на оборудовании, установленном в потоке технологического процесса.

На крупно- и среднесортных станах линейного типа первой отделочной операцией является резка профилей на мерные длины перед поступлением на холодильник. Резку осуществляют в горячем состоянии на дисковых салазковых пилах, установленных на продолжении рольганга за чистовой клетью стана. Число пил обычно 5—6 и более. Для увеличения производительности пил одновременно разрезают несколько полос. Для резки полос на более короткие длины устанавливают ножницы холодной резки в потоке технологического процесса на складе готового проката.

На рис. 234 показано расположение отделочного оборудования современных мелкосортных станов. Так как выходящая из чистовой клетки этих станов полоса имеет длину несколько сот метров, перед холодильником устанавливают летучие ножницы, которые режут полосу на части длиной, соответствующей длине холодильника. Резка полос на окончательные длины на этих станах осуществляется в холодном состоянии.

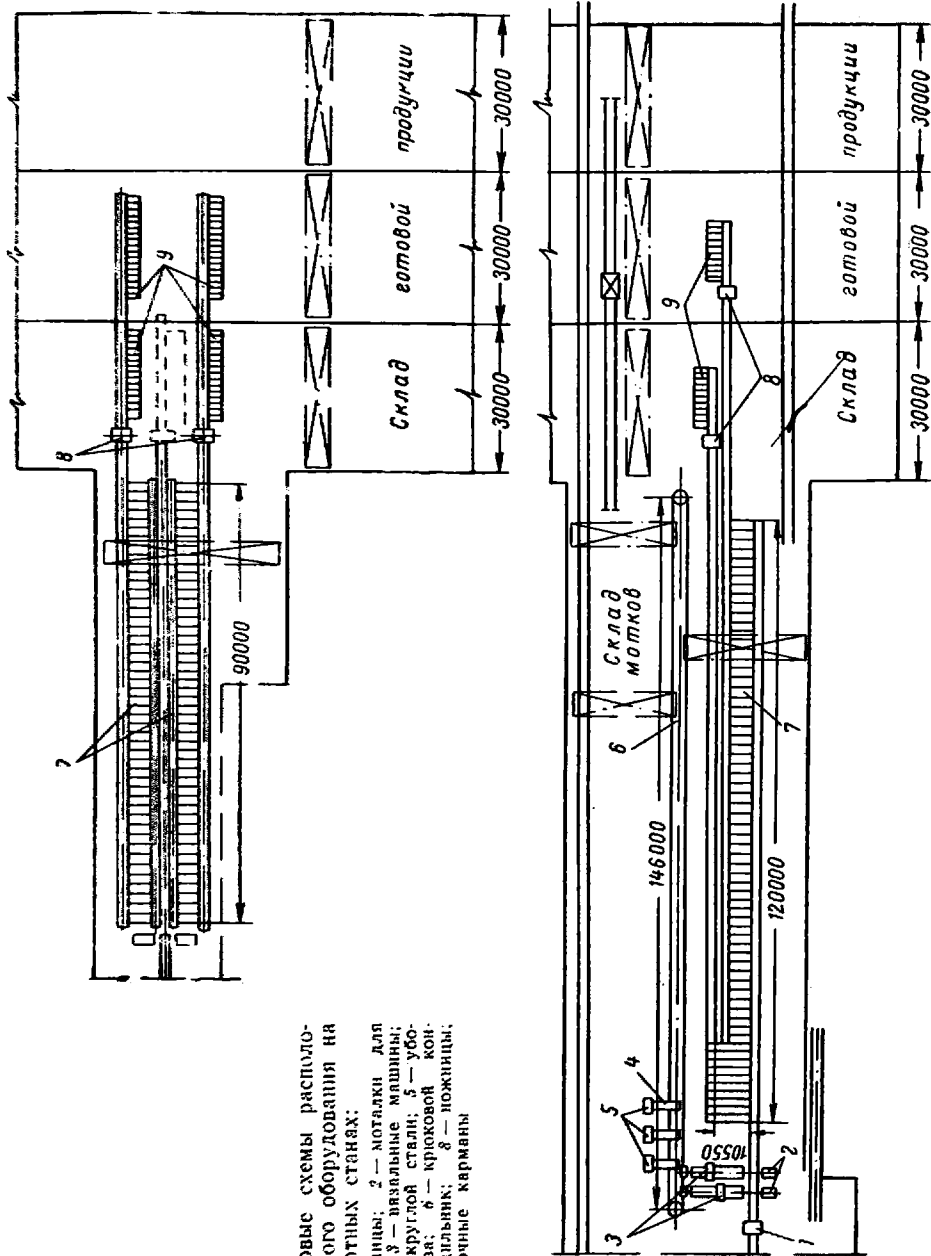
На рис. 235 показаны однобаранные летучие ножницы, которые применяют для резки сортовой стали сечением не более 30×30 мм.

Основными деталями этих ножниц являются диск (маховик) 1, который вращается на валу 2, установленном на подшипниках 3; ножи 4, которые укреплены на рычагах 5, шарнирно установленных на диске 1 и вращающихся вместе с ним; ролики 6, установленные в неподвижных направляющих 7 на уровне движущейся по рольгангу полосы. При вращении диска 1 ножи находятся в разомкнутом положении под действием пружины; для разрезки движущейся полосы ролики 6 сближаются, в этом случае при вращении диска рычаги 5 находят на ролики 6 и заставляют ножи сомкнуться, т. е. произвести резку. Окружная скорость вращения диска 1 должна быть равна (или немного больше) скорости движения полосы по рольгангу. Ролики 6 сближаются автоматически при помощи специального нажимного устройства от действия флажка или фотоэлемента, установленного на рольганге.

Для резки сортовой стали в холодном состоянии применяют обычно эксцентриковые ножницы с верхним резом, которые устанавливают в потоке технологического процесса на продолжении рольгангов за правильными машинами. Эти ножницы рассчитаны на резку одновременно нескольких полос.

Почти все углеродистые и многие легированные стали, прокатываемые на сортовых станах, охлаждают на холодильниках. Только некоторые высокоуглеродистые, легированные и высоколегированные стали подвергают после прокатки замедленному охлаждению или термической обработке.

Для охлаждения сортовой стали на крупно- и среднесортных станах (особенно на станах линейного типа) применяют цепные и канатные шлеперные холодильники с поперечным перемещением охлаждаемого металла. Длина этих холодильников определяется максимальной длиной полосы. Так как прокатанную на этих станах сортовую сталь режут на мерные длины обычно в горячем состоянии, т. е. до поступления на холодильник, длину последнего принимают обычно не более 30—36 м. Ширину холодильника (размер его по направлению движения охлаждаемого металла) определяют в зависимости от производитель-



Р и с. 234. Типовые схемы расположения отделочного оборудования на жёстких мелкокоротких станах.

1 — летучие ножицы; 2 — моталки для полосовой стали; 3 — вязальные машины; 4 — моталки для круглой стали; 5 — уборочные устройства; 6 — кривокопной конвейер; 7 — холодильники; 8 — ножицы; 9 — сборочные карманы.

ности стана и времени охлаждения полосы. На современных крупно-сортных и среднесортных станах площадь холодильника достигает 1000—1500 м², что составляет 10—12 м²/т среднечасовой производительности этих станов.

Для охлаждения сортовой стали на станах 250-350 обычно применяют холодильники реечного типа. Работа этих холодильников полностью автоматизирована. Длину холодильника обычно принимают в

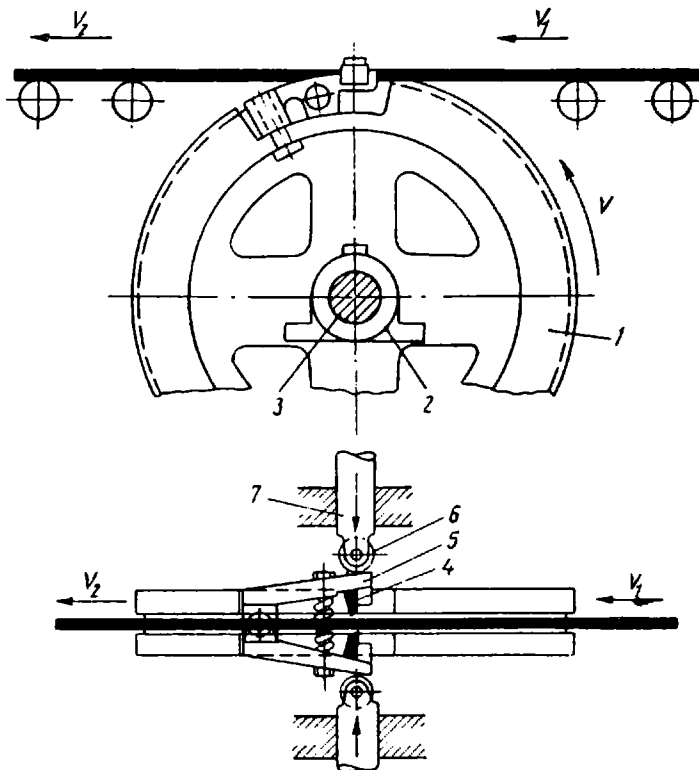


Рис. 235. Схема однобарабанных летучих ножниц

пределах 60—150 м. Площадь холодильника современных мелкосортных станов колеблется в пределах 1000—2000 м², что составляет 30—40 м²/т среднечасовой производительности.

Реечные холодильники мелкосортных станов состоят из подводящего к холодильнику рольганга, сбрасывателя, передающего полосу с подводящего рольганга на холодильник, собственно холодильника, укладываемателя, при помощи которого остывшие полосы собирают в пачки и передают на отводящий рольганг.

На рис. 236 показан общий вид реечного холодильника мелкосортного стана 250. Подводящий рольганг 1 по всей длине имеет устройства для сбрасывания полос с рольганга на рейки холодильника; рольганг разделен по ширине на несколько секций (на рис. 236 — две секции). При передаче полос, поступивших от летучих ножниц по правой секции, левая секция перекрывается сверху наклонными клапанами 2, по которым металл скатывается на рейки холодильника. Неподвижные рейки 3 установлены на продольных балках 4; подвижные рейки 5 имеют привод от эксцентриков 13, вращающихся от электродвигателя

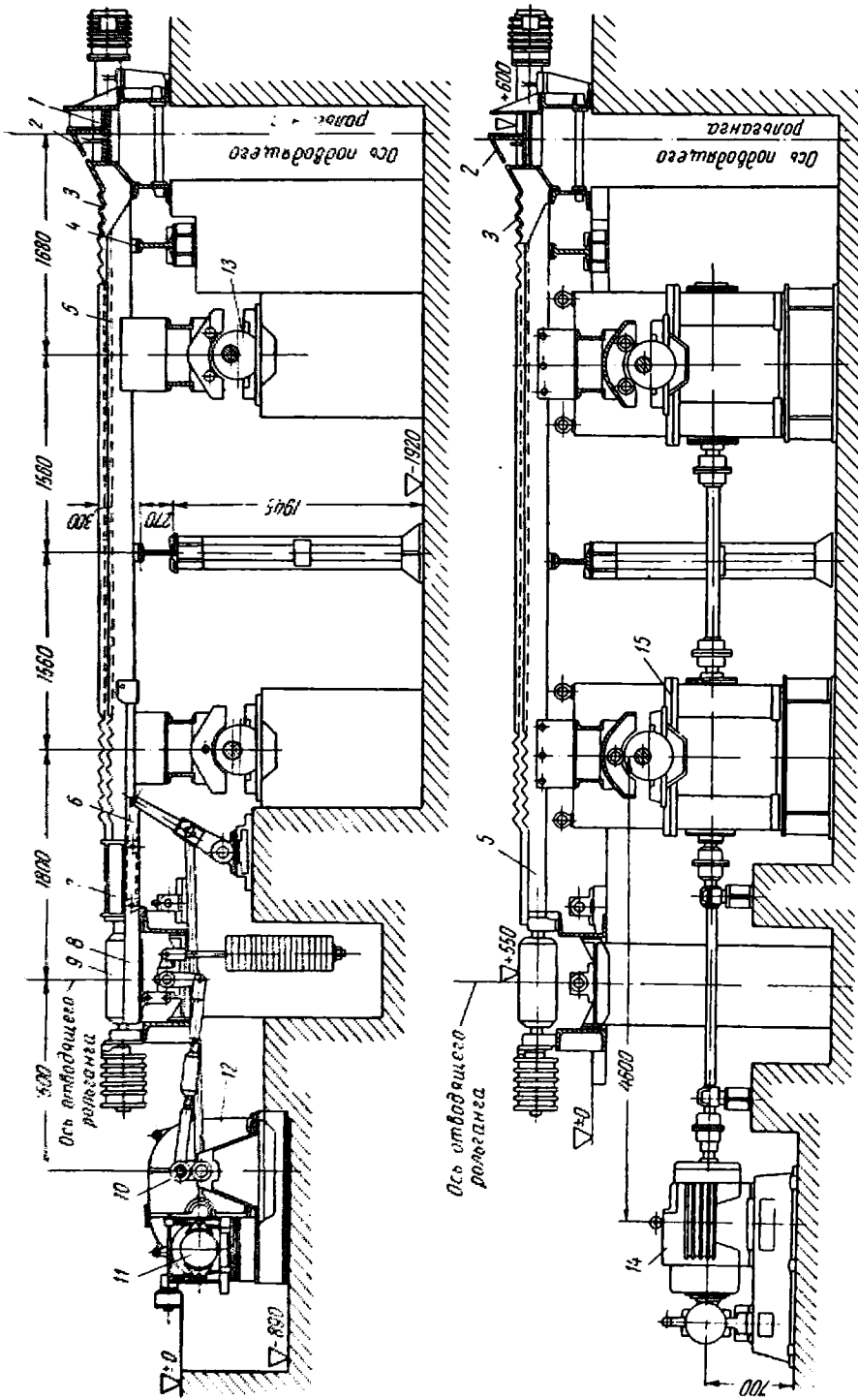


Рис. 236. Поперечные разрезы ременного одностороннего холодильника мелкосортного стана 250

14 через редуктор 15. При поступлении полос с рольганга на холодильник подвижные рейки эксцентриком приподнимаются и переносят полосы с неподвижных реек на один зуб влево.

В конце холодильника у отводящего рольганга 9 установлены устройства для приема полос с подвижных реек холодильника и переключения пачки профилей с холодильника на рольганг. Тележки 7 для приема полос с реек холодильника имеют привод от электродвигателя через кулисно-рычажные передачи. Тележки принимают полосы и пачками переносят их после охлаждения на отводящий рольганг; они имеют

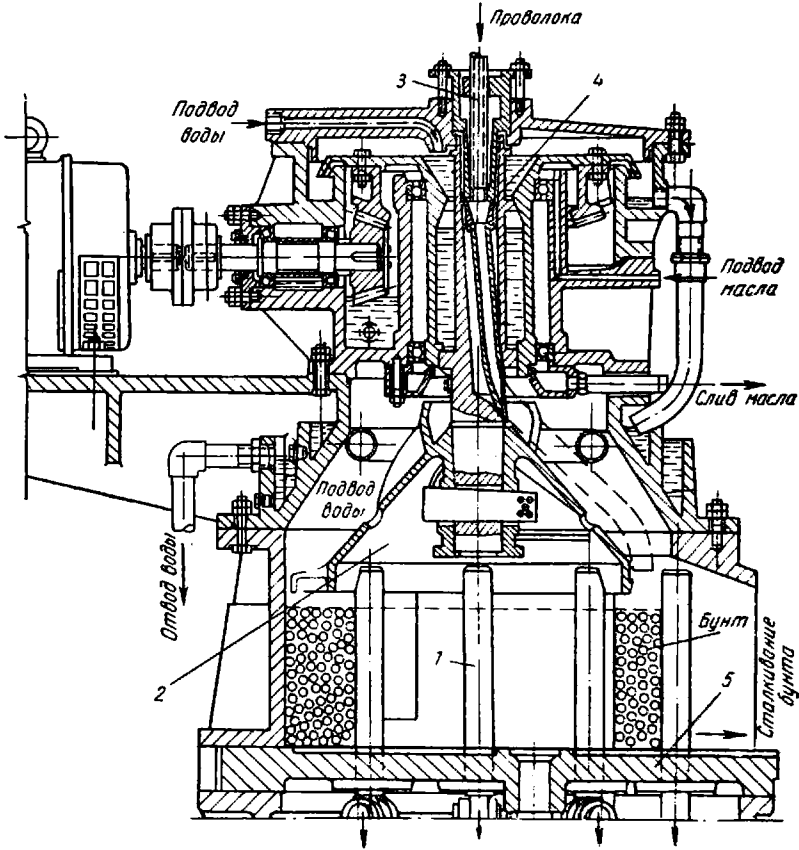


Рис. 237. Проволочная моталка с неподвижным бунтом и осевой подачей проволоки

привод 6 от электродвигателя 11 через редуктор 12 и кривошипно-рычажную передачу 10. При помощи последней опорные балки 8, на которых установлены тележки 7, при каждом ходе тележки влево одновременно приподнимаются рычажным приводом.

Работа холодильника полностью автоматизирована. Длину холодильника по осям рольгангов 1 и 9 принимают из расчета охлаждения металла с 750—800 до 100—150 °С при данной скорости его перемещения по холодильнику, определяемой производительностью стана.

На современных мелкосортных станах часто устанавливают двусторонние ресечные холодильники.

Правку сортовой стали производят в холодном состоянии на роликовых правильных машинах, обычно установленных на продолжении

отводящих ролягангов холодильника стана. В случае, когда на мелко-сортных станах 250—300 правят небольшое количество готового проката, правильные машины устанавливают вне технологического потока (на складе готового проката).

Для правки сортовой стали применяют роликотправильные машины двух типов: с консольными роликами и с обычными двухопорными, подшипники которых расположены по обе стороны роликов. Правильные машины с консольными роликами имеют более нагруженные передние опоры и вследствие этого неравномерный износ вкладышей подшипников, поэтому их применяют только для правки мелких и средних профилей.

Шаг роликов обуславливает качество правки и величину давления на ролики правильной машины. Слишком большой шаг не обеспечивает требуемой точности правки, а при малом шаге увеличивается давление на ролики, что заставляет усложнять конструкцию машины.

Точность правки обуславливается также числом роликов в одной машине: чем больше число роликов, тем лучше качество правки. Обычно для правки принимают 5—9 роликов (профили больших размеров) и 7—11 роликов (профили средних и мелких размеров). Скорость правки зависит от производительности машины.

Для сматывания в мотки горячей проволоки диаметром 5—10 мм и круглой стали диаметром 10—25 мм за последними клетями проволочных и мелко-сортных станов устанавливают моталки двух типов: с вращающимся и с неподвижным мотком. Из-за больших вращающихся и неуравновешенных масс (моток, барабан и т. д.) моталки первого типа применяют для сматывания проволоки при скоростях только до 10 м/сек. Преимущество их в том, что, кроме круглых профилей, можно сматывать и мелкие квадратные профили.

На рис. 237 показан общий вид моталки с неподвижным мотком, установленной на непрерывном проволочном стане. Моталка предназначена для сматывания проволоки диаметром 5—10 мм. Масса мотка 200—250 кг. Пустотелый вал моталки 4 приводится через зубчатую передачу; к концу этого вала прикреплен конус 2, вращающийся вместе с валом (на некоторых моталках вместо конической применена цилиндрическая зубчатая передача).

Проволока из последней клетки стана проходит по трубе 3 внутри полого вала 4 и поступает на конус 2, с помощью которого укладывается вокруг вертикальных пальцев 1. Моток проволоки при этом находится в горизонтальном положении на плите 5. По окончании сматывания проволоки пальцы опускаются при помощи рычажного механизма, а моток сталкивается на транспортер.

Преимуществом моталки этого типа является то, что моток не вращается и сматывание проволоки может происходить при любой скорости ее подачи. Например, на современных непрерывных проволочных станах проволока выходит из последней клетки стана и поступает в моталку со скоростью 35—45 м/сек. Кроме того, сбрасывание готового мотка осуществляется на ходу без остановки привода моталки, что позволяет через несколько секунд подавать в моталку новую проволоку.

Следует отметить, что при сматывании в моток происходит скручивание проката на 360°C (на длине πD , где D — диаметр витка) за каждый оборот приводного вала 4. Это скручивание не имеет существенного значения при сматывании проволоки круглого сечения, так как профиль ее при этом не изменится, а касательные напряжения в проволоке будут незначительными. Однако в отличие от моталки с вращающимся мотком и тангенциальной подачей металла на моталке с непо-

движным мотком нельзя сматывать простые профили не круглого сечения (например, овальную или квадратную проволоку), так как при скручивании на 360° профиль их будет искажен.

Эксплуатация моталок с неподвижным мотком показала, что применение тяжелого направляющего конуса 2 не вызывается необходи-

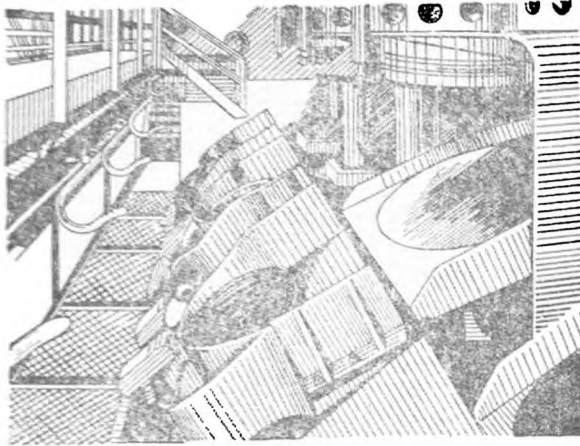


Рис. 239. Опрокидывающийся стул для навешивания мотков проволоки на крюки конвейера

мостью и ухудшает динамику привода моталки. Поэтому на отечественных заводах осуществили следующую модернизацию: 1) удалили конус вместе с концом приводного вала, на котором он закреплен, 2) вместо конуса применили легкую изогнутую направляющую трубку, соединив

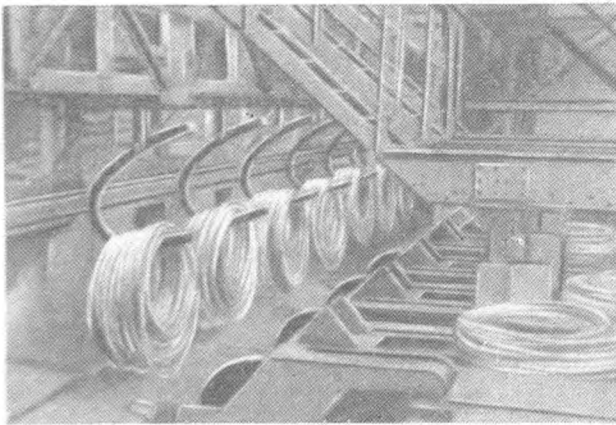


Рис. 240. Крюковой конвейер

ее с подводящей трубкой внутри полого приводного вала. В результате такой модернизации качество укладки витков проволоки не ухудшилось, но маховой момент вращающихся масс значительно уменьшился, динамические показатели привода моталки улучшились и облегчились условия работы подшипниковых опор приводного вала.

На рис. 238 показан пальцевый транспортер, предназначенный для приема мотков проволоки с пластинчатого транспортера и передачи их на крюковой конвейер. На передвижной балке 2 установлены пальцы 3,

которые могут поворачиваться вокруг своей оси при перемещении балки влево и встрече с препятствием (мотком). При перемещении балки рычажно-кривошипным механизмом 5 вправо пальцы передвигают мотки по боковым направляющим неподвижным плитам 4 со скоростью около 1 м/сек. В конце транспортера по наклонному желобу мотки попадают на опрокидывающий стул (рис. 239). При подходе очередного крюка конвейера автоматически включается двигатель привода стула, последний поворачивается и навешивает моток проволоки на крюк.

На крюковом конвейере производится окончательное охлаждение мотков и транспортировка их на склад готового проката.

Крюковой конвейер (рис. 240) состоит из приводного устройства, направляющих, натяжного устройства, крюковых тележек (соединенных друг с другом проволочным канатом), ходовой балки и опорных металлоконструкций. Крюковые тележки, а также механизмы приводов направляющих и натяжных устройств конвейера смонтированы на подшипниках качения. Расстояние между тележками около 1,8 м; общая длина конвейера достигает 500 м.

Для снятия охлажденных мотков с конвейера имеется приспособление, которое состоит из мостика, транспортной тележки с кипером, канатной тележки, канатных барабанов с канатами и привода с электродвигателем. Мостик устанавливают с наклоном и частично располагают под полом цеха.

При движении транспортной тележки с кипером по наклонному мостику вверх моток снимается с конвейера и подается к вязальной машине. После вязки моток направляют к пакетирующей машине. На рис. 241 показана кинематическая схема машины для обвязки мотков проволоки и пачек мелкого сорта. Машина состоит из трех основных механизмов: подачи, протергивания и скручивания проволоки — обвязка. Проволока подается в скобы 3 роликами 1 и обрезается ножами 2.

Протергивание осуществляется двумя подъемно-опускающимся скобами 3; эти скобы предназначены для загиба концов обвязывающей проволоки и введения их в пазы скручивающего механизма 4. Последний состоит из двух шайб с фигурными вырезами. Шайбы вращаются навстречу друг другу; после захвата проволоки они ее скручивают и возвращаются в исходное положение.

Для пакетировки мотков, поступающих от вязальной машины, устанавливают пакетировочную машину (рис. 242), которая состоит из корпуса, привода и поворотной головки.

К поворотной головке, находящейся на конце главного вала привода, подвижно крепят четыре несущих пальца. После загрузки пальца мотками поворотная головка поворачивается на 90°, при этом следующий палец готов к приемке. К нижней части пальцев пристроены ролики, которые катятся по профилированной поверхности. На разгрузочной стороне пакетировочной машины палец занимает слегка наклонное к горизонтальной плоскости положение.

На новых непрерывных штрипсовых (полосовых) станах горячей прокатки из последней клетки полоса выходит с большой скоростью (до 20 м/сек). Сматывание полосы в рулон обычной моталкой барабанного типа при такой скорости невозможно. Для этого весьма подходящей является свертывающая роликовая моталка. На рис. 243 показана роликовая моталка, установленная в конце отводящего рольганга непрерывного штрипсового стана. Моталка предназначена для свертывания в рулон горячей полосы, движущейся со скоростью 7—21 м/сек; толщина полосы 2—8 мм, ширина 116—400 мм, масса рулона до 3,8 т.

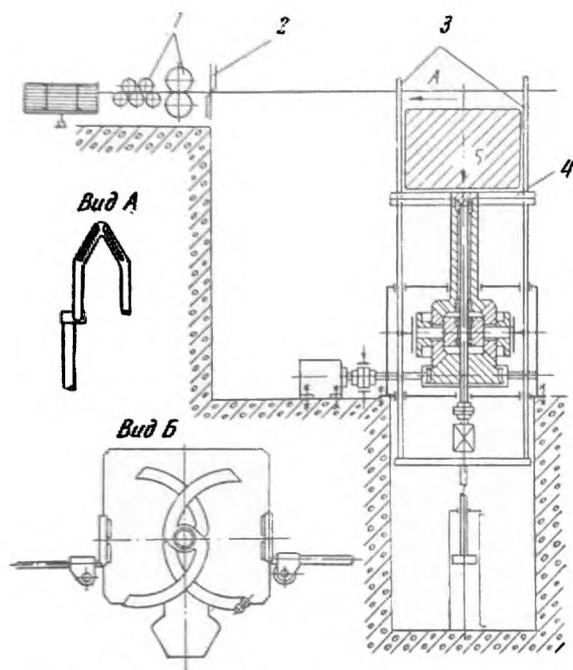


Рис. 241. Схема машины для обвязки мотков проволоки конструкции ЦКБММ:

1 — механизм подачи и правки обвязочной проволоки;
 2 — ножницы для отрезки проволоки; 3 — фигурные пальцы (скобы) для захвата проволоки; 4 — механизм закручивания

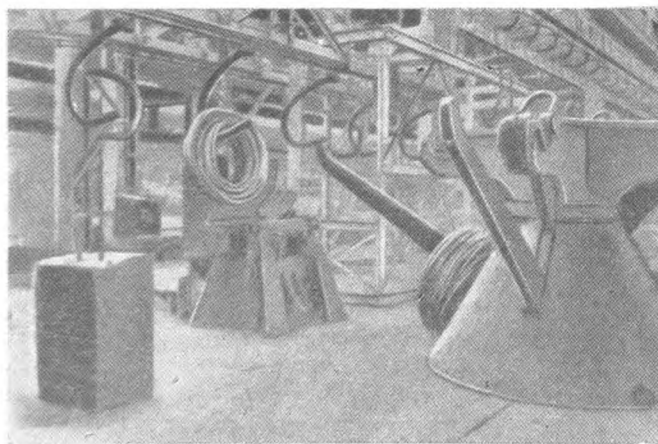


Рис. 242. Устройство для пакетировки мотков проволоки

Моталка состоит из подающих гибочных роликов 7 и 8 (оба приводные) и боковых сегментов 2 и 5. Эти сегменты свободно установлены на конце приводных роликов 1 и 6 и при помощи рычагов и контргрузов прижимаются вверху друг к другу холостыми роликами 3 и 4.

Полоса по желобу 9 направляется в моталку. При помощи гибочных роликов передний конец ее изгибается и подается внутрь камеры, образуемой сегментами; таким образом, при непрерывной подаче полоса будет свертываться в рулон.

Для получения плотного рулона в моталке предусмотрена оригинальная рычажно-грузовая система, плечи которой подобраны так, что с увеличением диаметра рулона поджатие к нему расходящихся боковых сегментов будет непрерывно увеличиваться. По окончании сматывания рулоны вводятся сбоку горизонтальная штанга консольного крана-подъемника; при помощи этой штанги рулон поднимается вверх и затем переносится краном на цепной транспортер. На стане установлены две моталки, работающие поочередно. Направление переднего конца полосы в одну или другую моталку осуществляется перемещением вводного желоба при помощи пневматического цилиндра 10.

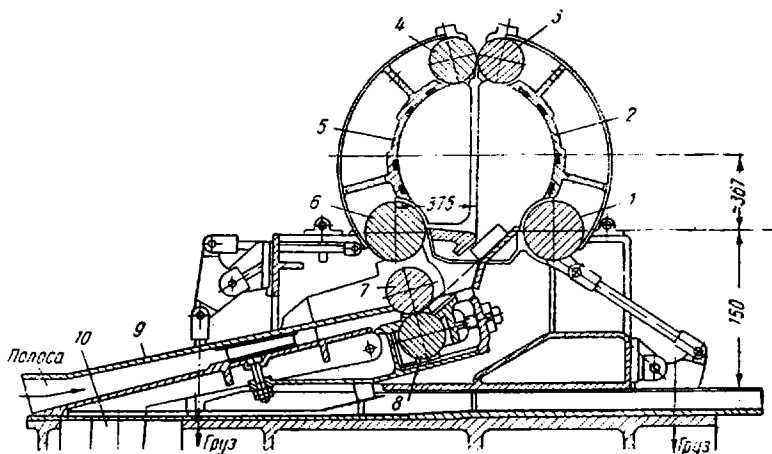


Рис. 243. Свертывающая роliko-гибочная моталка для сматывания горячей узкой полосы (штрипса)

На многих заводах применяют упрочнение катанки и круглых сортов профилей быстрым охлаждением (закалкой) их непосредственно по выходе из последней чистовой клетки стана. Перед сматыванием в мотки на моталках каждая нитка проволоки (круглой стали) проходит внутри трубы с противотоком воды и охлаждается до $550\text{--}600^\circ\text{C}$, при которой аустенит находится в переохлажденном состоянии. При дальнейшем охлаждении в мотках на моталках и транспортере переохлажденный аустенит превращается в сорбитообразный перлит. В результате такой термической обработки прочность проволоки и круглых сортов профилей повышается на $20\text{--}30\%$ по сравнению с прочностью после обычного охлаждения проката на воздухе. Длительность охлаждения в трубе с водой составляет $1\text{--}2$ сек, расход воды около $0,3$ м³/мин на каждую нитку проката. Режим охлаждения автоматически регулируется в зависимости от марки стали и температуры выхода нитки проката из последней чистовой клетки.

Упрочнение с прокатного нагрева применяют при прокатке проволоки и круглых сортов профилей из среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали (для предварительно напряженных железобетонных конструкций, пружин, канатов и др.). При таком упрочнении уменьшаются потери металла на окиснообразование, облегчается последующее травление проволоки и волочение с большими обжатиями.

В последние годы получают широкое распространение разные методы термомеханического упрочнения. Такое упрочнение существенно улучшает механические свойства металлов и сплавов по сравнению с упрочнением обычными способами термической обработки.

Сущность термомеханической обработки (ТМО) в том, что при ее осуществлении сочетаются в единой технологической схеме процессы формоизменения и фазовых превращений, причем формирование окончательной структуры происходит в условиях повышенной плотности и соответствующего распределения несовершенств строения, созданных пластической деформацией.

Среди многообразных схем ТМО наибольшее распространение полу-

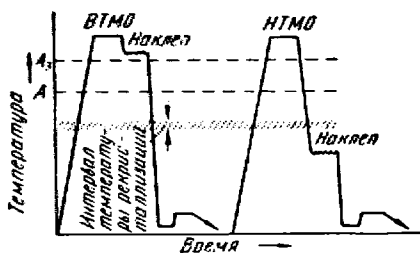


Рис. 244. Принципиальные схемы ТМО

лучили две — высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО). Они оказались наиболее эффективными для сталей, закаливаемых на мартенсит. Принципиальные схемы этих методов приведены на рис. 244.

При ВТМО производят пластическую деформацию аустенита в области стабильной его устойчивости (при температурах выше A_{c3}) и затем немедленную закалку на мартенсит. НТМО заключается в деформировании переохлажденного

аустенита в области высокой его устойчивости (ниже температуры рекристаллизации) с последующей закалкой на мартенсит.

Обе схемы имеют преимущества и недостатки. НТМО, например, обеспечивает получение более высокой прочности, чем ВТМО, но мало влияет на пластичность и вязкость стали. Кроме того, для осуществления НТМО необходимо применять высоколегированные стали с большим периодом устойчивости переохлажденного аустенита. Степень деформации аустенита при НТМО должна быть максимально возможной, так как чем сильнее наклепан аустенит, тем значительнее упрочняющий эффект этой обработки. Прочность сталей с содержанием углерода 0,4—0,5%, подвергнутых НТМО с обжатием примерно 90%, достигает 3 Гн/м^2 (300 кгс/мм^2) и более. Высокая степень деформации создает значительные трудности для практического использования НТМО, так как современное оборудование не рассчитано на столь значительные удельные давления, которые возникают при сильной нагартовке переохлажденного аустенита.

ВТМО, хотя и дает меньший упрочняющий эффект, чем НТМО, приводит к одновременному увеличению прочности и пластичности, что значительно улучшает комплекс механических свойств стали по сравнению со стандартной термической обработкой. Кроме того, осуществление ВТМО не требует применения больших обжатий и не накладывает ограничений на химический состав упрочняемых сталей по устойчивости метастабильного аустенита. Эти обстоятельства облегчают промышленное опробование и внедрение ВТМО.

Однако при применении ВТМО имеется трудность, которая заключается в том, чтобы затормозить протекание рекристаллизационных процессов, интенсивно развивающихся при высокой температуре после окончания (и даже в процессе) горячей деформации. Кроме того, необходимо обеспечить достаточно интенсивное охлаждение проката для получения полностью мартенситной структуры, так как даже частич-

ный распад аустенита в промежуточной области температур значительно снижает эффект обработки. Это требует создания довольно мощных охлаждающих устройств и установки их непосредственно за чистовой клетью стана, чтобы свести к минимуму время между окончанием деформации и закалкой.

Длина охлаждающих установок лимитируется расстоянием от чистовой клетки стана до холодильника, которое обычно невелико. Поэтому в настоящее время ВТМО может быть применена для упрочнения проката сравнительно небольшого сечения, причем даже в этом случае оказываются необходимыми снижение скорости прокатки (для увеличения времени пребывания полосы в охлаждающем устройстве) и применение специальных мер при охлаждении. Так, в спроектированной Московским институтом стали и сплавов и Волгоградским металлур-

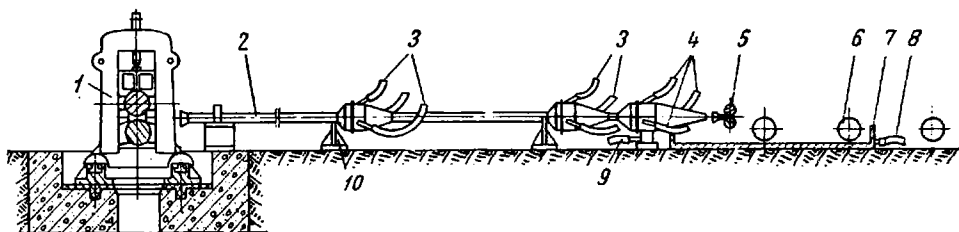


Рис. 245. Схема промышленной установки для термомеханической обработки проката на мелкосортном стане 325:

1 — чистовая клетка; 2 — установка для термомеханической обработки проката; 3 — подвод воды; 4 — подвод воздуха; 5 — трайб-аппарат; 6 — рольганг; 7 — ванна для сбора воды; 8 — отвод воды из ванны; 9 — отвод воды от задней части установки; 10 — поддерживающий кронштейн

гическим заводом «Красный Октябрь» промышленной установке для ВТМО сортовой прокат охлаждается встречным потоком воды под давлением. Такой способ подачи воды в установку (рис. 245) обеспечивает срыв паровой рубашки и достаточно интенсивное охлаждение (закалку) круглой стали 40 диаметром 19 мм. На рис. 246 показана конструкция устройств, установленных в хвостовой части установки и предотвращающих попадание воды на холодильник.

Длина охлаждающего устройства на стане 325 завода «Красный Октябрь» не могла быть больше 20 м. Поэтому при осуществлении ВТМО опытной промышленной партии сортового проката снизили температуру (для более полного подавления рекристаллизационных процессов) и скорость прокатки (для увеличения времени охлаждения). В данном случае применение ВТМО оказалось особенно эффективным. Так, штанги глубинных нефтяных насосов из-за большой длины (более 8 м) не подвергаются закалке и отпуску, а используют в нормализованном состоянии с пределом прочности 600 Мн/м^2 (60 кгс/мм^2) и пределом текучести 400 Мн/м^2 (40 кгс/мм^2). После ВТМО на промышленной установке (варьируя температуру отпуска) получают штанги с пределом прочности $1,4\text{—}2,0 \text{ Гн/м}^2$ ($140\text{—}200 \text{ кгс/мм}^2$) и пределом текучести $1,2\text{—}1,7 \text{ Гн/м}^2$ ($120\text{—}170 \text{ кгс/мм}^2$) при сохранении достаточной пластичности.

Накопленный в настоящее время опыт и результаты испытаний упрочненных ТМО изделий свидетельствуют о целесообразности и перспективности внедрения этой обработки в промышленность. Несомненно, что для успешного освоения этих новых технологических процессов нужны определенные затраты и должны быть внесены соответствующие изменения в существующий технологический процесс. Наиболее пер-

спективным, по-видимому, окажется создание специальных линий ТМО проката.

В современных прокатных цехах склад сортовой стали, как и склад заготовок, является, как правило, общим для всех станов и расположен обычно в 3—4 пролетах, перпендикулярных линиям прокатки. Каждый пролет склада оборудован соответствующими мостовыми кранами для транспортировки металла и погрузки его в вагоны. В пролетах склада установлены ножницы, рольганги, сборочные карманы и различные пакетирующие устройства, а также оборудование для дополнительной отделки сортовой стали: ножницы, пилы, правильные машины, оборудование для удаления поверхностных дефектов (наждачные станки,

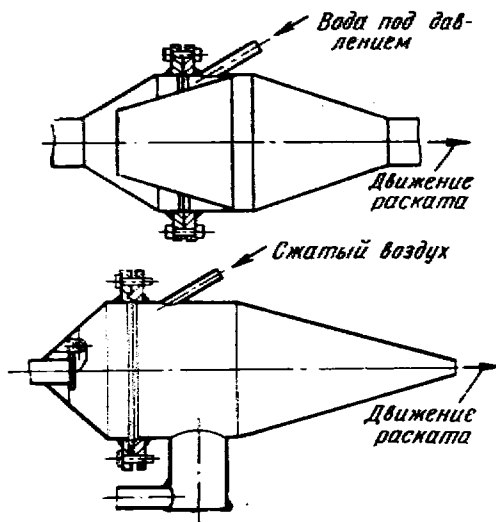


Рис. 246. Устройства для термомеханического упрочнения сортовой стали

пневматические зубила) и др. Кроме того, в пролеты склада входят железнодорожные пути.

На складе сортовую сталь подвергают наружному осмотру, сортировке, зачистке поверхностных дефектов, дополнительной резке и правке (если это требуется), контрольным испытаниям, клеймению и маркировке, укладке в штабеля и другим операциям. Объем этих операций зависит от профиля, его размеров, назначения сортовой стали и различных требований, предусмотренных в соответствующих ГОСТах и технических условиях. Например, рельсы, прошедшие отделку, поступают на инспекторские стеллажи, где осматривают их поверхность, проверяют качество отделки, профиль, длину рельсов, расположение болтовых

отверстий, запиловку заусенцев, образовавшихся при сверлении отверстий и фрезеровании торцов рельсов. Проверяют торцовые поверхности и болтовые отверстия на отсутствие расслоения. В сомнительных случаях расслоение на торцах рельсов проверяют вырубкой зубилом. Если копровые испытания показали наличие усадочной рыхлости, то проверка расслоения производится у всех головных рельсов.

Рельсы, скрученные только с конца и плохо выправленные, а также с поверхностными дефектами на концах, выходящими за пределы допусков, направляют для дополнительной правки и обрезки концов.

Проверку качества и приемку балок и швеллеров осуществляют также в соответствии с требованиями ГОСТа, технических условий и условий заказов. Размеры профиля проверяют специальными шаблонами и измерительным инструментом. Участки балок и швеллеров, на поверхности которых обнаружены дефекты, выходящие за пределы допусков, обрезают на пилах холодной резки. На обрезку назначают также участки полос, имеющие винтообразность и концевые искривления.

Круглую, квадратную и полосовую стали неответственного назначения с размерами по кругу диаметром менее 50 мм после прокатки, охлаждения и резки на мерные длины собирают в карманах по профилям, размерам, плавкам и сорту, взвешивают и связывают в пачки, после чего укладывают в штабеля и маркируют.

Сортовую сталь неотвечественного назначения с размерами по кругу диаметром более 50 мм после сбора в карманах по профилям, размерам и плавкам подвергают поштучной сортировке, обрезке концов и вырезке бракованных мест газовыми резаками. Зачистку поверхностных дефектов на крупных профилях осуществляют пневматическими зубилами.

Сортовая сталь ответственного назначения после сбора в карманах по профилям, размерам и плавкам может быть подвергнута дополнительной правке на правильной машине, резке на мерные длины, поштучной сортировке, наждачной зачистке поверхностных дефектов, обрезке концов и вырезке бракованных мест газовыми резаками, после чего производят рассортировку, увязывание в пачки, маркировку, взвешивание и укладку в штабеля.

Проволоку транспортируют на склад готового проката. Отделку ее производят непосредственно на конвейере. К этим операциям относят осмотр поверхности (наличие дефектов проверяют запыловкой напильником или испытанием на горячую осадку), удаление растрепанных концов мотка, проверку профиля шаблоном в нескольких местах мотка и др.

Для получения готового проката высокого качества в прокатных цехах современных металлургических заводов осуществляют плавочный контроль, контроль отдельных производственных процессов и конечный контроль. При прокатке сортовой стали осуществляют следующие основные виды контроля производственного процесса:

1) контроль заготовок перед посадкой их в нагревательные печи для предотвращения перепутывания различных плавок, сталей и размеров;

2) контроль нагрева заготовок для предотвращения образования брака при нагреве их в нагревательных печах (перегрева, пережога, обезуглероживания и др.);

3) контроль процесса прокатки, который включает контроль качества настройки, размеров и формы прокатываемого профиля, состояния калибров, качества поверхности прокатываемой полосы, температуры начала и конца прокатки и др.;

4) контроль процесса охлаждения сортовой стали, подвергающейся после прокатки замедленному охлаждению для предотвращения образования закалочных трещин; в этом случае контролируют температуру загрузки и выгрузки, скорость охлаждения и др.;

5) контроль зачистки поверхностных дефектов;

6) контроль термической обработки сортовой стали.

В задачу конечного контроля входит установление качества прокатанной сортовой стали, соответствие качества ее техническим условиям, действующим стандартам и отдельным требованиям.

В зависимости от химического состава сортовой стали, назначения и предъявляемых требований ее качество оценивают на основании различных видов конечного контроля. Например, все стали проходят контроль формы и размеров профиля и контроль поверхности. Контроль сортовой стали с целью обнаружения пористости, рыхлости, ликвации, флокенов, волосовин, включений и других дефектов осуществляют для высокоуглеродистых и легированных сталей. Инструментальные, шарикоподшипниковые и другие качественные и высококачественные стали подвергают контролю микроструктуры, который позволяет обнаружить перегрев, величину зерна, карбидную сетку, ликвацию, оксидные и сульфидные включения и обезуглероживание. Контролю механических свойств подвергают все конструкционные стали.

К конечному контролю относят также технологические пробы, с помощью которых определяют способность той или другой сортовой стали к деформации.

Сортовую сталь, прошедшую отделку и приемку, укладывают в штабеля по видам, размерам, заказам и плавкам.

Рельсы укладывают в штабеля с прокладками или крест-накрест. Высота рельсовых штабелей не превышает 4 м. Так же укладывают в штабеля балки и швеллеры.

Крупносортовую сталь укладывают в штабеля крест-накрест связанными пачками. Высота штабеля достигает 4 м.

Среднесортную и мелкосортную сталь укладывают связанными пачками в штабеля крест-накрест или в стойках, расстояние между которыми составляет 2 м.

Проволоку укладывают в штабеля в несколько горизонтальных рядов. Высота штабеля в этом случае не превышает 3 м.

В зависимости от профиля нагрузка на 1 м² площади склада сортовой стали составляет 3—8 т. Между штабелями оставляют проходы не менее 1 м. Продолжительность хранения сортовой стали обычно не превышает 8—10 суток.

**КАЧЕСТВО СОРТОВОЙ СТАЛИ
И МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕФЕКТОВ**

Характерный дефект при прокатке сортовой стали — неправильный профиль. Различают следующие виды неправильного профиля при прокатке: невыполнение профиля, заусенцы, смещение частей профиля,

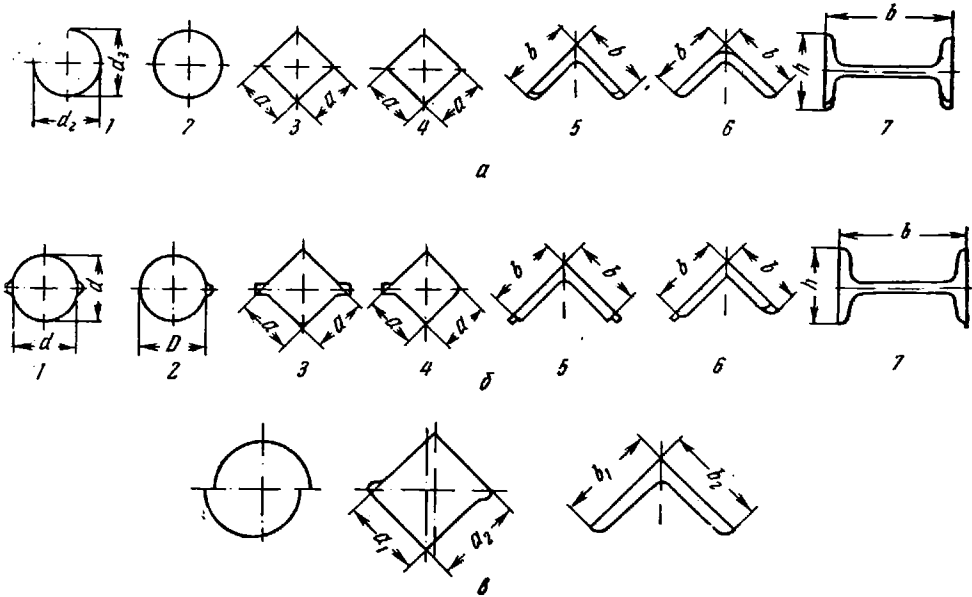


Рис. 247. Виды дефектов профиля при прокатке сортовой стали

волнистость и др. На рис. 247 показаны виды дефектов профиля при прокатке сортовой стали.

Наиболее характерные случаи невыполнения профиля круглой стали: горизонтальный диаметр меньше требуемого; вертикальный диаметр больше, а горизонтальный меньше требуемого; овальность одного бока.

Горизонтальный диаметр круглой стали меньше требуемого наблюдается при недостаточном количестве металла, поступающего из предчистового овального калибра, а иногда в случае прокатки полос, нагретых значительно выше, чем при обычной прокатке (рис. 247, а, 1).

Вертикальный диаметр круглой стали больше, а горизонтальный меньше требуемого наблюдается тогда, когда зазор между валками

большой и недостаточно металла, поступающего из предчистового овального калибра.

Овальность одного бока круглой стали (рис. 247, а, 2) получается при неправильной установке пропусков перед чистовым калибром, вследствие чего овальная полоса прокатывается в чистовом калибре несимметрично относительно вертикальной оси калибра.

Тупые углы по горизонтальной диагонали квадратной стали (рис. 247, а, 3) получаются в том случае, если недостаточно металла в тупых углах ромбической полосы, поступающей в чистовой калибр, а по вертикальной диагонали (рис. 247, а, 4), если недостаточно металла в острых углах ромбической полосы.

Невыполнение полки при прокатке угловой стали (рис. 247, а, 5) получается в том случае, если полки в предчистовом калибре короткие. Невыполненный угол при вершине угловой стали (рис. 247, а, 6) получается по различным причинам: большой радиус закругления вершины в предшествующих калибрах; небольшой радиус закругления с внутренней стороны в предчистовом калибре, что уменьшает обжатие в этом месте, вследствие чего полки обжимаются сильнее и происходит утяжка металла в углу; верхняя проводка чистового калибра имеет большое закругление и др.

Невыполнение закрытых фланцев балки (рис. 247, а, 7) получается в результате утяжки, а невыполнение открытых — при слишком малой толщине фланца полосы, поступающей из предчистового калибра.

На рис. 247, б приведены примеры образования заусенцев при прокатке сортовой стали.

При прокатке круглой стали эти заусенцы могут получиться с обеих сторон (рис. 247, б, 1) и с одной стороны (рис. 247, б, 2). Причиной образования заусенцев в первом случае является излишне большое количество металла, поступающего из предчистового овального калибра, а иногда — прокатка полос при температуре ниже нормальной. Заусенец с одной стороны получается в том случае, если пропуски перед чистовым калибром поставлены несимметрично относительно вертикальной оси калибра. По тем же причинам получают заусенцы квадратной стали (рис. 247, б, 3, 4).

Заусенцы на обеих полках угловой стали (рис. 247, б, 5) получают вследствие избытка металла, поступающего из предчистового калибра, и большой ширины полки в предчистовом калибре, что наблюдается после большого числа переточек валков.

Дефект угловой стали, показанный на рис. 247, б, 6, является результатом неправильной установки вводных пропусков перед первым фасонным калибром, вследствие чего квадратная полоса, поступающая в этот калибр, прокатывается несимметрично и металл распределяется между полками неравномерно.

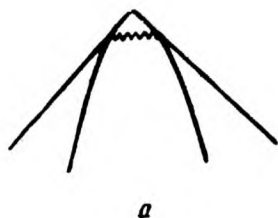
Заусенцы на балках (рис. 247, б, 7) получают вследствие избытка металла, поступающего из предчистового калибра, например при большой высоте закрытых фланцев.

На рис. 247, в показано смещение частей профиля при прокатке круглой, квадратной и угловой стали. Этот дефект профиля получается при смещении валков относительно друг друга, т. е. вследствие неправильной настройки.

Прежде всего для предотвращения и устранения неправильного профиля следует правильно производить настройку и регулировку стана. При настройке стана должна быть обеспечена правильная установка валков и валковой арматуры: линеек, проводок, коробок с пропусками и др. Наряду с этим настройка стана должна быть устойчива.

чтобы обеспечить возможно большую продолжительность прокатки без необходимости восстановления настройки. К другим мерам предотвращения и устранения неправильного профиля относят калибровку валков и нагрев металла. В некоторых случаях неправильность профиля устраняют изменением основных размеров и конфигурации того или другого калибра или изменением размеров и конфигурации только отдельных его элементов. Деформация полосы, прокатываемой при различных температурах, вызывает различный прогиб валков, в результате чего профиль может получиться с отступлениями от нормального.

При прокатке сортовой стали может произойти искривление полосы по длине. Так, при прокатке полосовой стали наблюдается серповидное искривление полосы, которое происходит при неодинаковом обжатии



Р и с. 248. Образование морщин при прокатке сортовой стали

боковых кромок, в результате чего одна кромка вытягивается больше другой. Мерами для устранения этого дефекта является точная настройка валков, равномерный нагрев заготовки, правильная установка валковой арматуры и др. По тем же причинам происходит и скручивание полосы при прокатке.

Следующим видом дефектов сортовой стали являются поверхностные дефекты. К ним следует отнести закаты, складки, морщины, риски, царапины, вдавливание окалины и др.

Закат по внешнему виду похож на тонкую продольную трещину. Этот дефект выявляется осмотром поверхности, зачисткой и осадкой. Для предотвращения заката надо правильно настраивать валки и правильно устанавливать валковую арматуру.

Складки и морщины образуются при прокатке плохо выполненной овальной полосы в квадратном калибре (рис. 248, а) и при дальнейшей прокатке переходят на готовый круглый профиль (рис. 248, б). Для устранения этого дефекта необходимо получать хорошо выполненный профиль овальной полосы. Этот дефект прокатного происхождения, может получиться также и при прокатке с пониженной температурой. Удаление дефекта с поверхности готового проката производится на наждачных станках или вырубкой пневматическими зубилами.

Риски и царапины представляют собой продольные дефекты, чаще всего встречающиеся при прокатке малоуглеродистых сталей. Причина образования этих дефектов — неудовлетворительное состояние валковой арматуры, приводящее к царапинам на поверхности полосы. Глубина рисков достигает 0,2 мм. Дефекты выявляют осмотром поверхности полосы, а удаляют зачисткой наждачными кругами. Мерой предотвра-

щения образования рисок и царапин является своевременное удаление наваров и других неровностей на пропусках и проводках. Для предотвращения рисок пятки проволок рекомендуется закруглять.

Мерой предотвращения вдавливания окалины может быть достаточно полное удаление грубой окалины в первых проходах в калибрах, способствующих удалению окалины (прямоугольные калибры и др.). Дефекты удаляют наждачными кругами.

При прокатке сортовой стали на ее поверхности встречаются раковины, представляющие собой углубления или отпечатки, иногда повторяющиеся через определенные промежутки по длине прутка. Мерой предотвращения дефектов являются применение валков с чистой и гладкой поверхностью и хорошее удаление окалины, так как вдавленная окалина после прокатки отскакивает и образует раковины.

К дефектам сортовой стали, связанным с охлаждением после прокатки, относят наружные и внутренние трещины (флокены). Наружные трещины образуются на полосах сортовой стали, закаливающейся на воздухе. Как и при прокатке заготовок, мерой предотвращения образования закалочных или холодных трещин на полосах сортовой стали является применение достаточно замедленного охлаждения в футерованных или отапливаемых колодцах и в отжигательных печах.

Сортовую сталь малых размеров обычно охлаждают в отапливаемых колодцах или печах. Замедленное охлаждение сортовой стали после прокатки (отжиг или отпуск) при температурах перлитного превращения применяют для предотвращения образования флокенов.

К другим внутренним дефектам сортовой стали следует отнести крупнозернистую структуру, причиной образования которой являются высокая температура нагрева и пониженная температура прокатки (ниже точки A_{c3}) при малом (критическом) обжатии в последних проходах.

К внутренним дефектам при прокатке сортовой стали относят карбидную сетку, причиной образования которой являются высокая температура конца прокатки и малая скорость охлаждения полосы до температуры перлитного превращения.

При термической обработке сортовой стали в результате чрезмерно длительной выдержки в печи может произойти обезуглероживание, слой которого приходится удалять шлифовкой или перекачивать сортовую сталь на профили меньшего сечения. При проведении термической обработки сортовой стали может получиться брак по структуре и твердости (оба вследствие неправильного режима нагрева).

Г л а в а X

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОЙ СТАЛИ

Производительность сортовых станов

Технически возможную часовую производительность сортового стана определяют по формуле

$$A = \frac{3600G}{T} \text{ т/ч,}$$

а практически возможную часовую производительность по формуле

$$A_1 = \frac{3600G}{T} K \text{ т/ч,}$$

где K — коэффициент использования стана; его принимают равным 0,85 для рельсобалочных, крупно-, средне- и мелкосортных станов линейного типа и 0,9 для непрерывных сортовых и проволочных станов.

Для определения ритма прокатки на сортовых станах обычно строят графики работы во времени. На рис. 249, а представлен график работы во времени крупносортного стана 650, состоящего из четырех клетей с расположением в две линии. Общая продолжительность прокатки одной полосы на этом стане складывается из продолжительности прокатки в отдельных клетях и пауз для передачи полосы из клетки в клеть.

Ритм прокатки на многоклетевых станах линейного типа зависит от числа клетей и распределения проходов между ними. Он будет тем меньше, чем больше клетей имеет стан и чем равномернее распределена продолжительность прокатки по клетям. Ритм прокатки будет наименьшим для данного стана, если ни одна из его клетей не будет являться узким местом.

Из графика работы во времени стана 650 следует, что узким местом в работе этого стана является вторая клеть трио, где наибольшая продолжительность прокатки. Для уменьшения ритма прокатки можно прокатку следующей полосы в этой клетке начать, не ожидая конца прокатки предыдущей полосы. Например, совместить последний проход предыдущей полосы с первым проходом следующей, т. е. вести прокатку в этой клетке с перекрытием.

На рис. 249, б представлен график работы во времени мелкосортного стана 250 линейного типа. На этом стане полоса прокатывается одновременно в нескольких клетях. В каждой клетке чистовой линии можно прокатывать одновременно несколько полос малого сечения. Несмотря на прокатку с перекрытием, узким местом в работе этого стана является первая клеть, где осуществляется несколько проходов.

К основным факторам, способствующим увеличению производительности сортовых станов линейного типа, относят сокращение числа проходов за счет увеличения обжатия за отдельный проход; увеличение

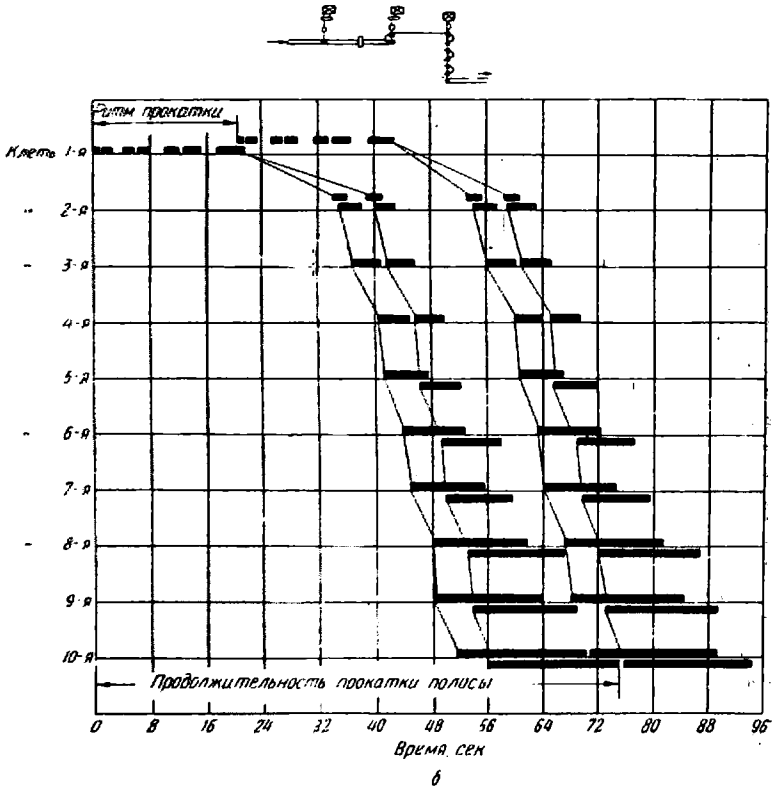
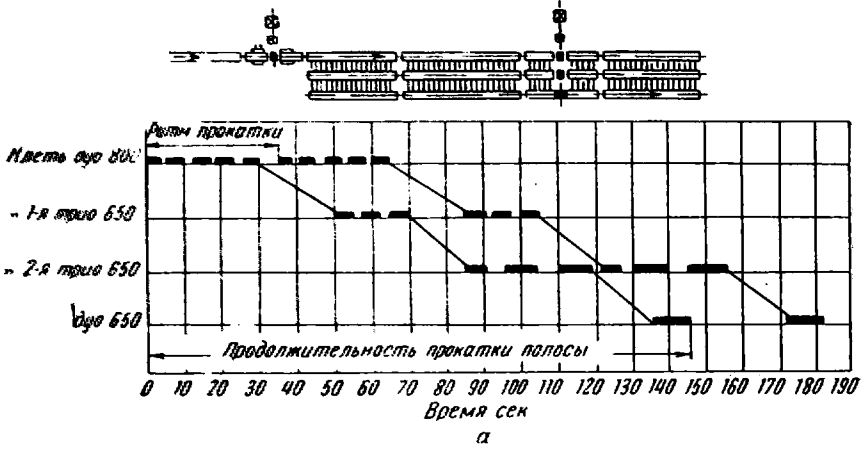
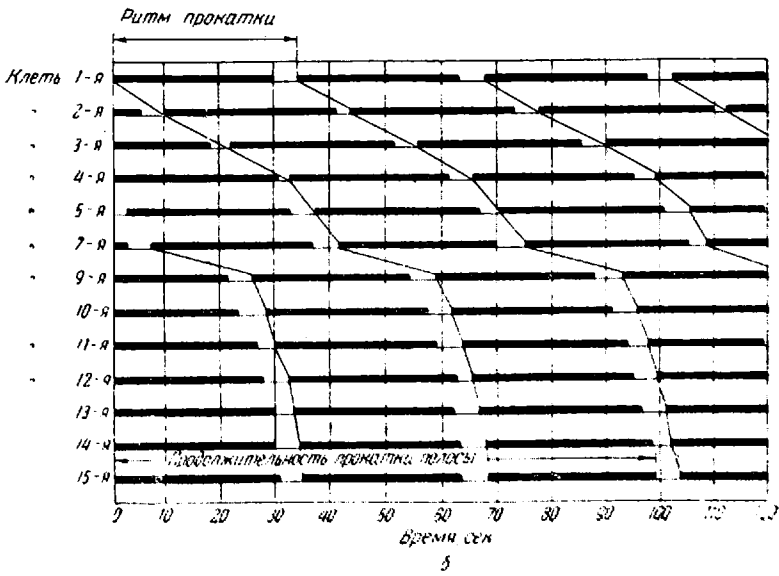
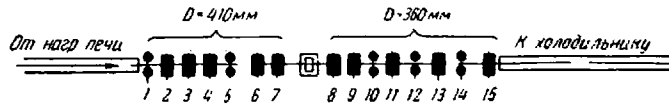
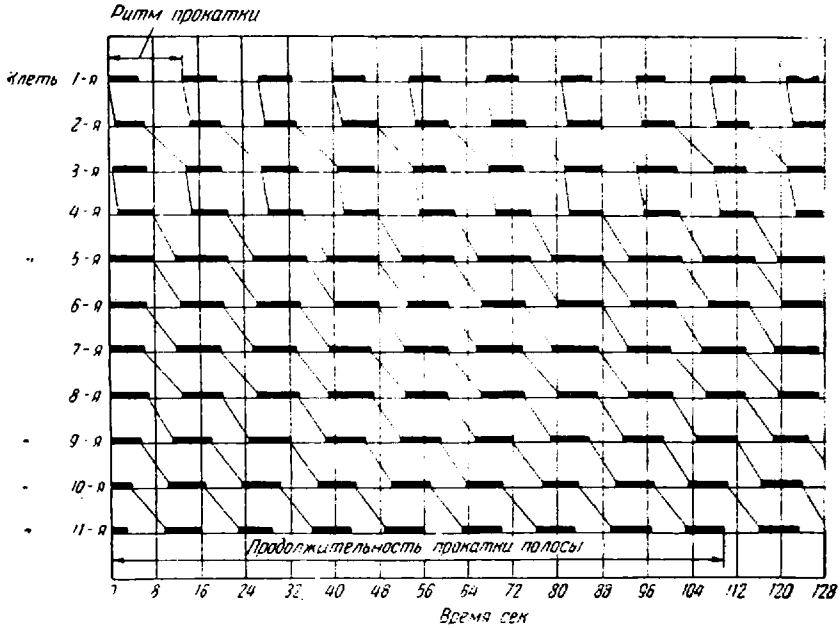
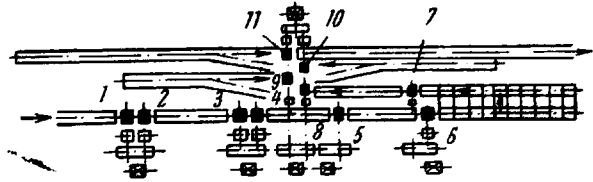


Рис. 249. График работы во времени сортовых станов линейного типа:
а — стана 650; б — стана 250

скорости прокатки, особенно на мелкосортных станах, где часто скорость прокатки из-за ручного обслуживания не превышает $6-8$ м/сек; увеличение массы заготовки, что главным образом зависит от скорости прокатки; уменьшение пауз за счет механизации и автоматизации.

Р и с. 250. График работы во времени сортовых станков 350;
 а — шахматного; б — непрерывного



На рис. 250, а представлен график работы во времени сортового стана 350 шахматного типа. В каждой клетке осуществляется только один проход, но, как правило, полоса в следующую клетку поступает только тогда, когда выйдет из предыдущей. На рис. 250, б представлен график работы во времени непрерывного сортового стана 350. В каждой клетке этого стана осуществляется только один проход и полоса находится одновременно во всех или нескольких клетках.

Ритм прокатки для двух последних станов

$$T = t_m + t_n,$$

где t_m — время прохода в одной клетке;

t_n — пауза между концом прокатки данной полосы и началом прокатки следующей в одной клетке.

Продолжительность прокатки полосы для сортового стана 350 шахматного типа равна сумме времени всех проходов и пауз, т. е.

$$T_{\text{пв}} = \Sigma t_m + \Sigma t_n.$$

Продолжительность прокатки полосы для непрерывного сортового стана 350 равна сумме времени одного прохода и всех пауз между клетками, т. е.

$$T_{\text{пр}} = t_m + \Sigma t_n.$$

Таким образом, одновременное нахождение полосы в нескольких клетках обеспечивает не только наименьший ритм прокатки, но и наименьшую продолжительность прокатки полосы.

Главным фактором, способствующим увеличению производительности непрерывных станов, является увеличение скорости прокатки. Массы заготовок для этих станов повышают главным образом за счет увеличения длины, что способствует росту производительности не только стана, но и нагревательных печей. Производительность непрерывного стана увеличивается и с повышением обжатия за отдельный проход, так как это позволяет применять заготовки большего сечения и, следовательно, большей массы. Однако необходимо учитывать, что применение максимальных обжатий, исходя из условия захвата полосы валками, может ухудшить условия работы стана (ненадежный захват полосы валками, более быстрый износ калибров и др.).

Определив ритм прокатки для каждого профиля, можно определить практически возможную часовую производительность стана. Средняя практически возможная часовая производительность стана при прокатке различных профилей, входящих в программу прокатки, может быть определена по формуле

$$A_{\text{ср}} = \frac{1}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \frac{a_3}{A_3}} m/q,$$

где A_1, A_2, A_3 — производительность стана при прокатке различных профилей или группы близких профилей, m/q ;

a_1, a_2, a_3 — доли тех же профилей или групп в программе прокатки.

Для определения годовой производительности сортовых станов необходимо знать фактическое число часов работы в течение года. Современные сортовые станы работают по непрерывному графику, останавливаясь только на капитальные и планово-предупредительные ремонты, с которыми совмещают частично и переделки валков. Как и

на обжимных и заготовочных станах, капитальный ремонт на сортовых станах может быть осуществлен постепенной заменой отдельных частей оборудования при непродолжительных остановках стана.

Учитывая изложенное и практические данные, можно для большинства сортовых станов в среднем принять продолжительность планово-предупредительного и капитального ремонтов по 40 ч каждый месяц, что составит 20 дней в год. Следовательно, $365 - 20 = 345$ рабочих дней в году. Тогда номинальное число часов работы в году

$$345 \cdot 24 = 8280 \text{ ч.}$$

В табл. 22 приведены необходимые данные, рекомендуемые Гипрометзом для расчета времени работы современных сортовых станов.

Таблица 22

Продолжительность работы и ремонтов сортовых станов (по данным Гипрометза)

Стан	Капитальные и планово-предупредительные ремонты, сутки	Номинальное время работы		Простой		Число рабочих часов в году
		суток в году	часов в году	%	ч	
Рельсобалочный и крупносортовый	20	345	8280	18	1480	6800
Непрерывный и полунепрерывный среднесортный	16	349	8376	16	1276	7100
То же, мелкосортный	20	345	8280	12	980	7300
Непрерывный проволочный	20	345	8280	9	780	7500
Штриповый	16	349	8376	13	1076	7300

Расход металла, электроэнергии, топлива, валков и воды

Расход металла. Выход годного из заготовки определяется потерями металла на угар в нагревательных печах и во время прокатки, на обрызг концов на ножницах или пилах и брак.

К отходам при производстве рельсов относят обрезки, окалину, стружку при фрезеровании и сверлении, пробные куски рельсов (для копровых испытаний) — все это составляет около 5%. Выход годных рельсов из блюмов равен $100 - 5 = 95\%$; расход блюмов на 1 т годных рельсов составляет $100 : 95 = 1,05$. Если расход слитков на 1 т блюмов принять равным 1,25, то расход слитков на 1 т годных рельсов равен

$$1,25 \cdot 1,05 = 1,31 \text{ т.}$$

Расход блюмов на 1 т балок можно принять равным 1,06 т. Так как обычно балки и другие фасонные профили прокатывают из кипящей стали, расход металла на блюминге можно принять равным 1,12. Тогда расход слитков на 1 т балок составит

$$1,12 \cdot 1,06 = 1,187 \text{ т.}$$

При прокатке сортовой стали наибольшие потери металла в виде обрезки получаются на крупносортовых станах и наименьшие на мелкосортовых и проволочных. Это объясняется тем, что полосы крупных профилей прокатывают сравнительно небольшой длины, а затем их разре-

Таблица 23

Расход металла при прокатке на различных сортовых станах

Стан	Расход годного, %	Потери, %		Коэффициент расхода металла на 1 т готового проката
		угар	обрезь, брак и др.	
<i>Линейного типа</i>				
Рельсобалочный:				
прокатка рельсов	95	1,5	3,5	1,050
прокатка балок	94	1,5	4,5	1,060
Крупносортный 650	91	2,0	7,0	1,099
» 500	91	2,0	7,0	1,099
Среднесортный 450	92	2,0	6,0	1,087
» 350	93	2,0	5,0	1,075
Мелкосортный 300	93	2,0	5,0	1,075
» 250	93	2,0	5,0	1,075
<i>С последовательным расположением клетей</i>				
Крупносортный 530 (кросс-коунтри)	91—93	2,0	5,0—7,0	1,075—1,099
Среднесортный 350 (непрерывный)	93—95	2,0	3,0—5,0	1,052—1,075
Мелкосортный 300 (непрерывный)	93—96	2,0	2,0—5,0	1,041—1,075
» 250 (непрерывный)	94—96	2,0	2,0—4,0	1,041—1,064

зают на заданные мерные длины. Небольшие потери получаются на полосовых станах, что объясняется большой немерной длиной прокатываемых полес.

Выход годного из заготовки на современных сортовых станах колеблется в среднем от 91 до 96%, причем большие значения отно-

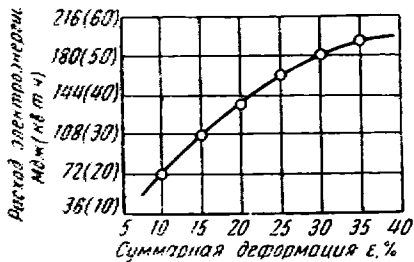


Рис. 251. Зависимость расхода электроэнергии при прокатке сортовой стали от суммарной деформации

сятся к мелкосортным, полосовым и проволочным станам. Расход заготовки на 1 т готового проката составляет

$$100 \div (91 \div 96) = 1,099 \div 1,041 .$$

В табл. 23 приведены данные о расходе металла на различных сортовых станах.

Расход электроэнергии на сортовых станах зависит от формы и размеров прокатываемого профиля, размеров заготовки, химического состава стали, типа стана и других факторов. На рис. 251 приведена диаграмма зависимости расхода энергии на сортовом стане от суммарной деформации металла. Ниже приведен средний удельный расход электроэнергии на рельсобалочных и сортовых станах по данным Гипромеза:

Стан	Расход, Мдж/т (кат. ч/т)
Рельсобалочный	234 (65)*
Крупносортный линейного типа:	
600-650	180—198 (50—55)
500-550	108—126 (30—35)
Непрерывный и полунепрерывный:	
среднесортный 300-350	126—162 (35—45)
мелкосортный 250	180 (50)
проволочный	252 (70)
Непрерывный штрипсовый	180 (50)

* Включая расход на вспомогательные двигатели отделения термической обработки рельсов.

Расход топлива на рельсобалочных и сортовых станах при нагреве заготовок в методических двух- или трехзонных рекуперативных печах составляет 2,1 Гдж (500 Мкал) на 1 т заготовок, а на мелко- сортных, проволочных и штрипсовых станах при нагреве заготовок в методических рекуперативных печах без глассажных труб 1,46 Гдж (360 Мкал) на 1 т заготовок.

Расход валков. Данные о расходе валков на различных сортовых станах представлены в табл. 24.

Таблица 24

Расход валков на сортовых станах (по данным Гипромеза)

Стан	Число переточек одного валка	Количество прокатанного металла, тыс. т		Удельный расход валков кат/т
		между переточками	после всех переточек	
Рельсобалочный:				
черновая дуо-реверсивная клеть	6	35—45	210—270	} 3,5
черновые клетки трио	7—8	5—6	35—48	
чистовая клеть дуо	5—7	2,5—3	12,5—21	
Крупносортный 650-750 линейного типа				
черновая дуо-реверсивная клеть	6	20—25	120—150	} 2,5
черновые клетки трио	6—8	3—5	18—40	
чистовая клеть дуо	6—8	2—2,5	12—20	
Непрерывный среднесортный 350-400:				
горизонтальные валки клетей черновой группы	5—6	10—15	50—90	} 1,0—1,5*
то же, чистовой группы	5—7	5—6	25—42	
вертикальные валки	5—7	6—8	30—56	
Непрерывный мелкосортный 300-250:				
клеть черновой группы	5—6	10—12	50—72	} 0,4
горизонтальные валки клетей чистовой группы	6—7	5—6	30—42	
вертикальные валки клетей чистовой группы	7—8	4—5	28—40	} 0,4
Непрерывный проволочный:				
клеть черновой группы	6—7	12—15	72—105	
» промежуточной группы	7	8—10	56—70	
» чистовой группы	10	2—4	20—40	
Непрерывный штрипсовый:				
вертикальные валки	10	20—25	200—250	} 0,3
горизонтальные валки клетей черновой группы	12—15	6—10	72—150	
то же, чистовой группы	15—20	2—4	30—80	
клеть кварто чистовой группы:				
рабочие валки	15—20	0,5—1	7,5—20	
опорные	10	10—15	100—150	

* При большом количестве фланцевых профилей в программе прокатки.

Расход воды на различных сортовых станах представлен в табл. 25; общий расход воды указан без учета повторного ее использования.

Таблица 25

Расход воды на сортовых станах

Стан	Расход воды, м ³ /час							на сыв окалны	общий
	на охлаждение								
	нагреватель- ных устройств	валков	подшипни- ков	воздуха	смазочных устройств	вспомогатель- ных и других механизмов			
Рельсобалочный и крупно- сортный	1200*	250	400	500	250	600	200	3400	
Непрерывный и полуне- прерывный:									
среднесортный	900*	400	—	500	300	200	300	2600	
мелкосортный	150**	500	—	500	150	300	200	1800	
проволочный	150**	600	—	400	150	450	250	2000	

* Расход воды на три печи.

** Расход воды на одну печь.

Часть третья

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Глава XI

ЛИСТОВЫЕ СТАНЫ

1. СОРТАМЕНТ

В последние годы в общем выпуске проката все больше увеличивается доля листовой стали. Так, в СССР доля листовой стали в общем выпуске проката составляет около 40%, а в США более 50%. Увеличение производства листовой стали объясняется быстрым развитием транспортного машиностроения (авто- и тракторостроения, вагоностроения и др.) и производства сварных труб, гнутых профилей и др.

Процесс прокатки листовой стали характеризуется равномерным обжатием по ширине листа. С увеличением ширины листа увеличивается производительность стана и снижаются отходы на обрезку боковых кромок. При прокатке листовой стали легко осуществить непрерывность процесса.

Горячекатаную листовую сталь разделяют на три основные группы: 1) толстолистовую, 2) тонколистовую, 3) универсальную [1.7; V. 4, 5, 23].

По ГОСТ 5631—57 к толстолистовой стали относят листы толщиной 4—160 мм, шириной 600—3800 мм и длиной 4—12 м. В некоторых случаях длина листов может достигать 25 м, а ширина 5000 мм. По договоренности с заказчиком толстолистовую сталь можно поставлять по теоретической массе, исходя из номинальной толщины листа [1.3; III.3].

Толстые листы прокатывают из низкоуглеродистой и низколегированной сталей. Листы толщиной 4—60 мм прокатывают из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества (ГОСТ 380—60) и низколегированной стали (ГОСТ 5058—57).

Листовую сталь для котлостроения толщиной 8—60 мм прокатывают из углеродистой стали Ст. 2, Ст. 3, 15К, 20К и 25К (ГОСТ 5520—50). Для этой стали при механических испытаниях определяют предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, ударную вязкость. Кроме этого, сталь испытывают на загиб в холодном состоянии. В изломе сталь должна иметь однородную мелкозернистую структуру, в ней не должно быть усадочной рыхлости, расслоений, трещин, газовых пузырей и шлаковых включений.

Для судостроения прокатывают листовую сталь толщиной 3—25 мм из углеродистой стали Ст. 1С—Ст. 5С, Ст. 4Ф и Ст. 4Л (ГОСТ 5521—50). Эту сталь подвергают механическим испытаниям на растяжение и на загиб в холодном состоянии.

Сталь толстолистовая углеродистая для мостостроения предназначена для изготовления клепаных и сварных конструкций мостов, промышленных и гражданских сооружений, а также вагонов. Для изготовления сварных мостовых конструкций применяют мартеновскую спокойную углеродистую сталь М16С, а для изготовления клепаных мостовых конструкций — мартеновскую кипящую и спокойную углеродистую сталь Ст. 3 мост. Для мостостроения прокатывают также толстолистовую легированную сталь.

Сталь толстолистовую углеродистую качественную конструкционную прокатывают толщиной 4—60 мм из стали 0,8—50. Эту сталь поставляют в термически обработанном состоянии и подвергают испытаниям на растяжение и на загиб в холодном состоянии. Листы должны иметь ровную, чистую поверхность без пузырей, плен, раковин, трещин и закатов. В листах не должно быть расслоений. На поверхности листов не допускаются слои окалины и ржавчины, рябизна, вмятины, царапины глубиной более половины минусового допуска по толщине листа. Местные дефекты на поверхности листов должны быть удалены зачисткой.

Сталь толстолистовую углеродистую качественную конструкционную для автостроения прокатывают толщиной 4—14 мм. Эту сталь поставляют в термически обработанном состоянии и в травленном виде [V. 20, 21].

По степени штампуемости различают листы глубокой Г и нормальной Н вытяжки. Листы подвергают механическим испытаниям и на загиб в холодном состоянии [V. 4].

Сталь толстолистовую углеродистую и легированную качественную конструкционную для авиастроения прокатывают из стали 08, 10, 20, 35, 10Г2, 12Г2, 25ХГСА и 35ХГСА. Листы из углеродистой стали прокатывают толщиной 4—30 мм, а из легированной стали — толщиной 4—20 мм. Листы поставляют в термически обработанном состоянии и в травленном виде; их подвергают испытаниям на растяжение и на изгиб в холодном состоянии [V. 21].

По ГОСТ 3860—57 и 8597—57 тонколистовая сталь имеет толщину 0,2—4,0 мм и ширину до 2350 мм [I. 7; V. 18].

Современными станами для горячей прокатки тонколистовой стали являются непрерывные станы, на которых прокатывают тонколистовую сталь толщиной не менее 1,2 мм; горячая прокатка на этих станах листовой стали меньшей толщины снижает производительность стана. Тонколистовую сталь поставляют потребителю в листах и в рулонах.

Значительное количество тонколистовой стали толщиной до 3,75 мм прокатывают из углеродистой стали обыкновенного качества (ГОСТ 380—60).

В связи с развитием автотракторной, авиационной и других отраслей машиностроения возросла потребность в конструкционной тонколистовой стали, изготовляемой из качественной углеродистой стали 05—50. Эта листовая сталь должна иметь хорошую поверхность и быть вязкой, так как при штамповке она подвергается глубокой вытяжке.

Качественную углеродистую тонколистовую сталь поставляют по штампуемости или по механическим свойствам.

Универсальную или широкополосную сталь прокатывают на специальных станах с клетями, имеющими вертикальные валки для обработки боковых кромок. Эту сталь прокатывают толщиной 4—50 мм и шириной 200—1050 мм.

Характерной особенностью развития листопрокатного производства является непрерывное увеличение доли холоднокатаной листовой стали

в общем выпуске тонколистовой стали. На современных станах листы толщиной менее 1,5 мм прокатывают в холодном состоянии. Во многих отраслях народного хозяйства с каждым годом увеличивается потребность в тонколистовой стали с высокими механическими свойствами, равномерной толщиной по ширине и длине, высоким качеством поверхности. Холодная прокатка в сочетании с термической обработкой позволяет изготовить листовую сталь, удовлетворяющую указанным требованиям.

В связи с развитием автотракторной промышленности возросла потребность в холоднокатаной конструкционной тонколистовой стали толщиной 0,5—2,5 мм, изготовляемой из качественной углеродистой стали 05—50. Эта листовая сталь должна иметь хорошую поверхность и быть вязкой, так как при штамповке из нее деталей она подвергается глубокой вытяжке. По степени штампуемости листовую сталь различают нормальной Н, глубокой Г и весьма глубокой ВГ вытяжки. Листовую сталь, подвергающуюся при штамповке весьма глубокой вытяжке, прокатывают из углеродистой стали 08—20. Из такой листовой стали изготовляют фасонные изделия с большой поверхностью, например кузовы крыло автомобиля и др. Листовую сталь, подвергающуюся при штамповке глубокой вытяжке, прокатывают из углеродистой стали 08—35, а подвергающуюся нормальной вытяжке — из углеродистой стали всех марок.

По степени отделки качественную углеродистую тонколистовую сталь разделяют на четыре группы: 1) с особо высокой отделкой поверхности; она должна иметь глянцевую или матовую поверхность, причем на поверхности листов, подвергающихся при штамповке весьма глубокой вытяжке, не допускается никаких дефектов, 2) с высокой отделкой поверхности, 3) с повышенной отделкой поверхности, 4) с нормальной отделкой поверхности; при изготовлении изделий эту сталь подвергают только нормальной и глубокой вытяжке.

Качественную углеродистую тонколистовую сталь поставляют по штампуемости, определяемой испытанием на вытяжку прибором Эриксона, или по механическим свойствам. По техническим условиям эта листовая сталь должна иметь определенную структуру металла, т. е. определенную величину и форму зерна при отсутствии структурно свободного цементита по границам зерен. После глубокой вытяжки крупнозернистой стали получается шероховатая поверхность, которая не сглаживается при покрытии лаком. Поэтому для производства, например, деталей автомобилей, к внешней отделке которых предъявляют высокие требования, такую сталь не применяют. Для получения готовых изделий с хорошей поверхностью листовая сталь должна иметь мелкозернистую структуру. Чем меньше величина зерна, тем сталь тверже и более упруга. Поэтому для весьма глубокой вытяжки применяют листовую сталь со средним зерном; в этом случае возможно получение слегка шероховатой поверхности. Листовая сталь, имеющая мелкозернистую структуру, допускает большие степени деформации при холодной штамповке.

Кроме автотракторной листовой стали, прокатывают также конструкционную тонколистовую сталь из углеродистой стали обыкновенного качества, кровельную и декапированную тонколистовую сталь и др.

Конструкционную тонколистовую сталь прокатывают обычно толщиной 0,9—2,0 мм и изготовляют из стали Ст. 0—Ст. 6. Эту сталь поставляют в виде листов размерами от 600×1200 до 1250×2500 мм и в рулонах.

Кровельную тонколистовую сталь прокатывают из мягкой углеродистой стали; ее применяют для кровли и поделочных работ.

Кровельную сталь прокатывают толщиной 0,4—0,82 мм и поставляют в листах размерами 710×1420 и 750×1500 мм и массой до 7,1 кг. Эту сталь поставляют по массе в отожженном состоянии; ее испытывают на двойной кровельный замок.

Декапированную (травленую) тонколистовую сталь прокатывают из мягкой мартеновской или бессемеровской углеродистой стали; ее применяют для изготовления преимущественно штамповкой посуды, арматуры и других изделий.

Декапированную тонколистовую сталь прокатывают толщиной 0,25—2,0 мм и поставляют в листах размерами 510×710, 600×2000, 710×1420, 710×2000, 750×1500, 1000×2000 и 1250×2500 мм. Эту сталь, как правило, поставляют в отожженном состоянии.

Тонколистовую сталь толщиной 0,25—2,0 мм поставляют также оцинкованной.

2. СТАНЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ

В настоящее время для горячей прокатки листовой стали на отечественных и зарубежных металлургических заводах применяют следующие станы [I. 3, 4, 7, 10]:

1) линейного типа, на которых прокатывают главным образом толстолистовую сталь:

2) непрерывные и полунепрерывные, на которых прокатывают тонко- и толстолистовую сталь [V. 16, 23];

3) с моталками в печах, на которых прокатывают главным образом тонколистовую сталь.

К станам линейного типа можно отнести одно- и двухклетевые толстолистовые станы.

На наших старых металлургических заводах еще имеются одноклетевые толстолистовые станы трио Лаута, на которых обычно прокатывают листы толщиной 4—25 мм. Размеры валков этих станов следующие: длина бочки 1800—3000 мм, диаметр верхнего и нижнего валков 700—850 мм, диаметр среднего валка 450—550 мм, отношение длины бочки к диаметру верхнего и нижнего валков равно 2,5—3,0. Скорость прокатки колеблется от 2,5 до 3,5 м/сек. Валки обычно вращаются от электродвигателя переменного тока через редуктор и шестеренную клеть; на валу ведущей шестерни редуктора устанавливают маховики.

В настоящее время новые станы этого типа не устанавливают, а некоторые существующие подвергают значительной модернизации, включая перестройку их на двухклетевые с чистовыми клетями кварто [V. 13].

Недостатки стансов трио Лаута: относительно небольшие обжатия за проход, наличие тяжелых подъемно-качающихся столов, большая разнотолщинность листовой стали по ширине и др. [V. 15].

Широкое распространение получили одноклетевые станы кварто, применяемые обычно для прокатки толстолистовой стали большой ширины и брони. Самый крупный одноклетевой стан кварто имеет валки с длиной бочки 5230 мм; диаметр рабочих валков 1100 мм и опорных 1650 мм; листы толщиной 160 мм и более прокатывают из слитков массой до 60 т и более [V. 14].

На рис. 252 показана схема расположения оборудования одноклетевого стана кварто 4000 для прокатки листовой стали толщиной 12—160 мм [I. 7].

Исходным материалом являются слябы массой до 7,5 т, нагреваемые в двух методических печах, и слитки массой до 40 т, нагреваемые в рекуперативных нагревательных колодцах.

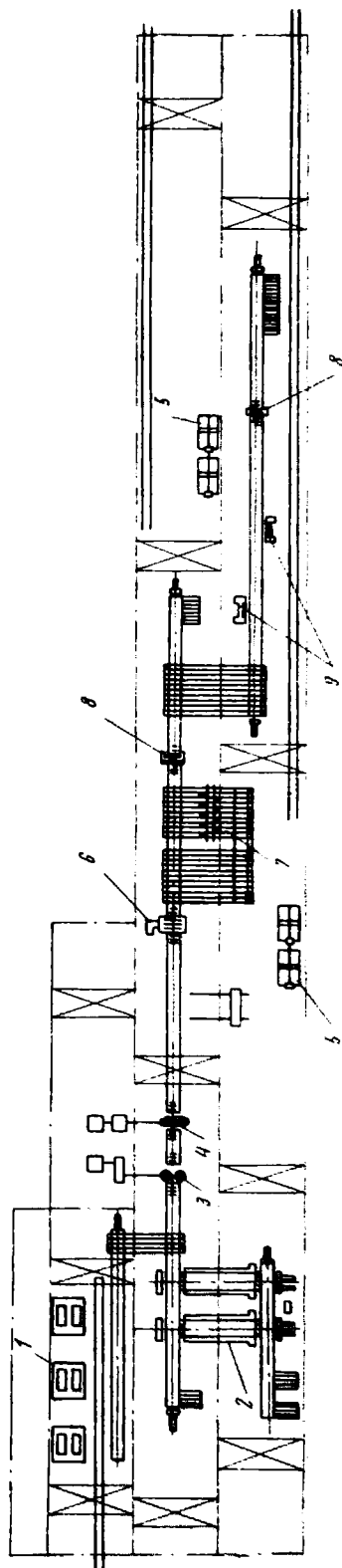
Рабочая клетка кварто имеет рабочие валки диаметром 1000 мм и опорные диаметром 1800 мм. Привод рабочих валков осуществляется от индивидуальных электродвигателей каждый мощностью 3680 кВт и числом оборотов 0—40—80 в минуту. Перед рабочей клеткой кварто расположена клетка с вертикальными валками диаметром 1100 мм и длиной бочки 1000 мм: приводом для валков этой клетки является электродвигатель мощностью 1100 кВт. Клетка с вертикальными валками предназначена для снятия конусности при прокатке листов из слитков и для бокового обжатия раската. При этом происходит разрушение окалины, которая удаляется при помощи гидросбива. Хорошая обработка боковых кромок уменьшает обрезь боковых кромок.

Одним из вариантов одноклетевых станов является стан, имеющий клетку с вертикальными валками перед клеткой кварто и за ней. Такие станы могут совмещать функции слябинга и листового стана.

На современных слябингах первые проходы производят на «ребро», при этом разрушается окалина и слиток приобретает плоские грани. Однако для осуществления таких проходов необходима кантовка слитка, а слябинг должен иметь большой подъем верхнего валка.

Установка клетки с вертикальными валками на стане кварто позволяет, когда это целесообразно, выполнять и функции слябинга. Первые обжимные проходы и разрушение окалины производятся в вертикальных валках, при этом нет необходимости в кантовке слитка на ребро.

Наибольшее распространение для прокатки толстолистовой стали получили двухклетевые станы с расположением рабочих клеток друг за



Р и с. 252. Схема расположения оборудования одноклетевого реверсивного стана кварто 4000: 2 — нагревательные печи; 3 — вертикальные валки; 4 — реверсивная клетка кварто; 5 — агрегат огневой резки; 6 — ножницы поперечной резки; 7 — ножницы продольной резки; 8 — стеллажи.

другом. Первая клеть является черновой, а вторая — чистовой. Эти станы применяют для прокатки толстолистовой стали шириной до 4000 мм.

Производительность таких станов больше производительности одноклетевых. Листы получаются лучшего качества, так как чистовая клеть работает на подкате, очищенном от окалины в черновой клетке. Кроме того, при прокатке листовой стали в черновой и чистовой

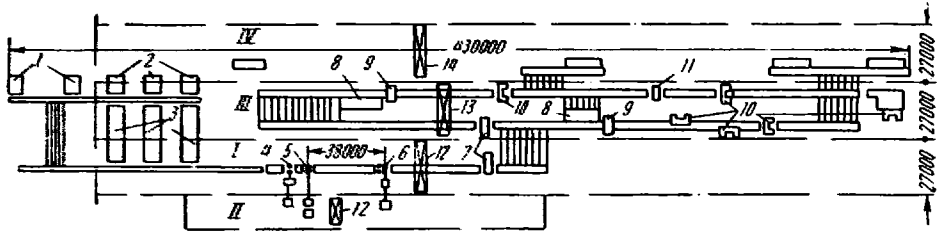


Рис. 253. Схема расположения оборудования двухклетевого стана 2800:

I — пролет основного оборудования; II — машинный зал; III — пролет отделочного оборудования; IV — пролет склада готовой продукции; 1 — загрузочные устройства; 2 — толкатели; 3 — нагревательные печи; 4 — клеть с вертикальными валками; 5 — черновая дуо-реверсивная клеть; 6 — чистовая универсальная клеть кварто; 7 — правильная машина; 8 — кантователь; 9 — разметочная тележка; 10 — ножницы с наклонными ножами; 11 — дисковые ножницы; 12, 13 и 14 — краны грузоподъемностью соответственно 75/15, 20/5 и 15 т

клетях увеличивается продолжительность службы валков и, следовательно, уменьшается число перевалок на стане.

В зависимости от конструкции рабочих клетей различают следующие типы двухклетевых станов с последовательным расположением рабочих клетей: 1) черновая и чистовая клетки трио Лаута, 2) черновая клеть дуо и чистовая клеть трио Лаута, 3) черновая клеть дуо и чистовая клеть кварто, 4) черновая и чистовая клетки кварто.

В последнее время в качестве чистовой начали широко применять клеть кварто, обеспечивающую прокатку листовой стали с меньшей разнотолщинностью по ширине, более высоким качеством поверхности и большим обжатием за проход.

Чистовые универсальные клетки кварто применяют значительно реже, чем клетки кварто, так как вследствие поперечного прогиба при прокатке широких и сравнительно тонких листов они не обеспечивают эффективного обжатия кромок.

В качестве черновой клетки этих станов до последнего времени наибольшим распространением пользовалась дуо-реверсивная клеть, которая по сравнению с черновой клетью трио Лаута имеет ряд преимуществ: 1) отсутствуют тяжелые подъемно-качающиеся столы, 2) имеется возможность применять большие углы захвата и, следовательно, большие обжатия, 3) уменьшаются паузы. Кроме того, конструкция клетки дуо более простая, чем конструкция клетки трио Лаута.

В последнее время на двухклетевых станах в качестве черновой клетки начали широко применять клетки кварто. В этом случае точность прокатки выше, чем на стане с черновой дуо-реверсивной клетью. Это объясняется получением в черновой клетке кварто подката с меньшей разнотолщинностью. Рекомендуется также у этой клетки устанавливать вертикальные валки.

Для обеспечения большего обжатия за каждый проход рабочие валки черновой клетки кварто должны иметь увеличенный диаметр. Рабочие валки чистовой клетки кварто должны иметь меньший диаметр, а опорные валки большой, так как в чистовой клетке прокатывают бо-

лее тонкие полосы и давление металла на валки при прокатке в ней больше.

Диаметр опорных валков колеблется в пределах 1250—1800 мм и зависит от длины бочки валков. Практика показала, что при применении рабочих валков относительно малого диаметра большой диаметр опорных валков имеет ряд преимуществ. Применение опорных валков большого диаметра способствует интенсификации процесса прокатки и, следовательно, увеличению производительности стана. При этом обеспечивается выкатка более тонких листов. Большая жесткость опорных валков обеспечивает также прокатку листовой стали с меньшими допусками.

Уменьшение упругой деформации рабочей клетки достигается увеличением жесткости станины. В качестве подшипников широко применяют подшипники качения и жидкостного трения. Все это и повышенная мощность электродвигателей стана позволяет интенсифицировать процесс прокатки и выкатывать сравнительно тонкие листы при достаточно высокой температуре конца прокатки. Так, на современных станах кварты 4000 можно прокатывать листы толщиной 6 мм.

На рис. 253 показана схема расположения оборудования двухклетевого стана 2800, предназначенного для прокатки листовой стали толщиной 4—50 мм, шириной до 2500 мм и длиной до 20 м [1. 4, 7].

Исходным материалом являются слябы толщиной 125—250 мм, шириной 700—1600 мм, длиной 2500—6000 мм и массой до 12 т. Слябы нагревают в трех трехзонных методических печах с торцевой посадкой и выдачей.

Нагретые слябы по рольгангу подают сначала в клеть с вертикальными валками, установленную перед черновой клетью. Эта клеть предназначена для обжаривания боковых кромок полосы, прокатываемой в черновой клетю. Кроме того, при прокатке в этой клетю происходит взрывление окалины, для сбива которой за клетю имеется устройство, состоящее из двух коллекторов с соплами, расположенными сверху и снизу проходящего раската. Вода под давлением 10 Мн/м² (100 ат) подводится к коллекторам от насосно-аккумуляторной станции.

Клеть с вертикальными валками имеет валки диаметром 1000 мм и длиной бочки 700 мм с нижним приводом, осуществляемым от электродвигателя мощностью 850 квт, 0—70—210 об/мин через редуктор с коническими шестернями.

В качестве черновой клетки применена дуо-реверсивная клеть с вал-

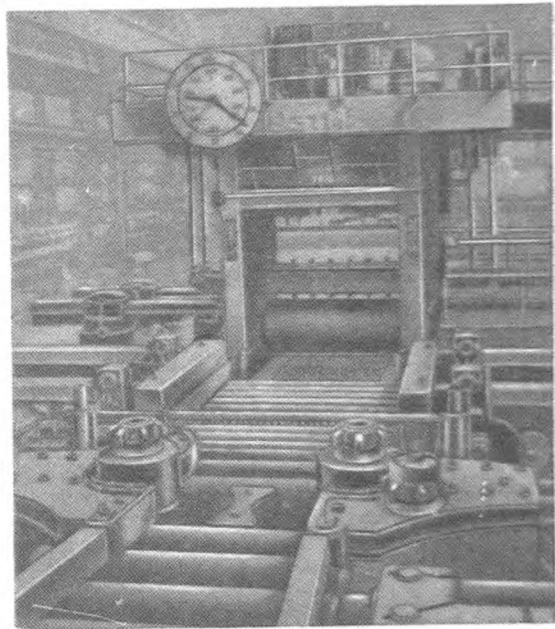


Рис. 254. Черновая дуо-реверсивная клеть 1150/2800 (спереди расположены вертикальные валки)

ками диаметром 1150 мм и длиной бочки 2800 мм (рис. 254). Каждый валок этой клетки приводится от отдельного электродвигателя постоянного тока мощностью 2950 квт, 0—30—60 об/мин. С передней и задней сторон клетки установлены конические ролики для кантовки сляба в горизонтальной плоскости и манипуляторы для правильной задачи раската в валки. Клетка также оборудована устройством для удаления окалины с поверхности прокатываемой полосы водой под давлением.

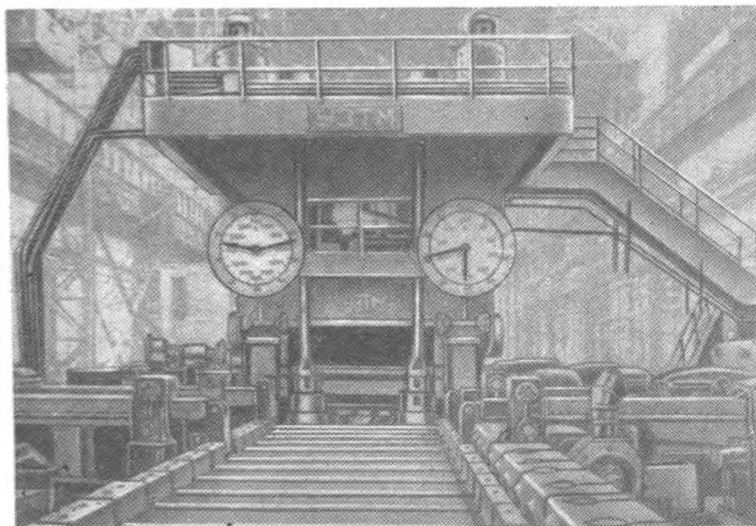


Рис. 255. Чистовая универсальная клетка кварто 800/1400/2800

Рабочая линия этой клетки аналогична рабочей линии блюминга с таким же диаметром валков.

Характерной особенностью нажимного механизма этой клетки является наличие так называемого отжимного устройства. При прокатке толстых листов бывают случаи, когда металл застревает в валках, т. е. валки захватили металл, но потом начали буксовать. В этот момент на валки действует полное давление при прокатке и «отжать» верхний валок при помощи нажимных винтов не удается, так как мощность электродвигателей их привода оказывается недостаточной.

Чистовая клетка стана 2800 является универсальной клеткой кварто. С передней стороны клетки имеются два вертикальных валка для обработки боковых кромок, что снижает отходы при обрезке боковых кромок прокатанных листов. Размеры горизонтальных валков: диаметр рабочих 800 мм, опорных 1400 мм, длина бочки 2800 мм. Рабочие валки приводятся от электродвигателя постоянного тока мощностью 7360 квт, 0—80—160 об/мин через зубчатую муфту удлиненного типа, шестеренную клетку и универсальные шпиндели (рис. 255). Валки вращаются на роликовых конических подшипниках. Нажимное устройство и устройство для отжима нажимных винтов по конструкции аналогичны таким же устройствам черновой дуо-реверсивной клетки этого стана. Верхний рабочий и верхний опорный валки уравниваются гидравлическими плунжерами, расположенными в подушках валков. Размеры вертикальных валков: диаметр 700 мм и длина бочки 150 мм; приводятся они от двух вертикальных электродвигателей каждый мощностью 200 квт через цилиндрический редуктор, расположенный на площадке нажимного

устройства. Валки смонтированы на роликовых подшипниках в каретках, которые передвигаются при помощи нажимных механизмов.

Современным способом прокатки листовой стали является прокатка ее на непрерывных и полунепрерывных станах. На этих станах прокатывают тонко- и толстолистовую сталь толщиной до 32 мм; обычно на них прокатывают листовую сталь толщиной 1,5—12,0 мм.

Непрерывные станы для горячей прокатки листовой стали состоят из двух групп рабочих клеток: черновой и чистовой. В течение многих лет эти станы устанавливали, как правило, в составе десяти рабочих клеток с горизонтальными валками, причем черновая группа состояла из четырех клеток, а чистовая — из шести клеток. Примером такого стана может быть непрерывный стан 2500, схема расположения которого представлена на рис. 256 [I.4; V.16, 23].

Стан 2500 предназначен для прокатки листовой стали толщиной 1,5—10,0 мм и шириной 1200—2350 мм из углеродистой и легированной стали. Исходным материалом являются слябы толщиной 115—250 мм, шириной 1200—1600 мм, длиной 2,6—5,5 м и массой до 10 т.

Слябы нагревают в пяти трехзонных рекуперативных методических печах с торцевой посадкой и выдачей.

Черновая группа кле-

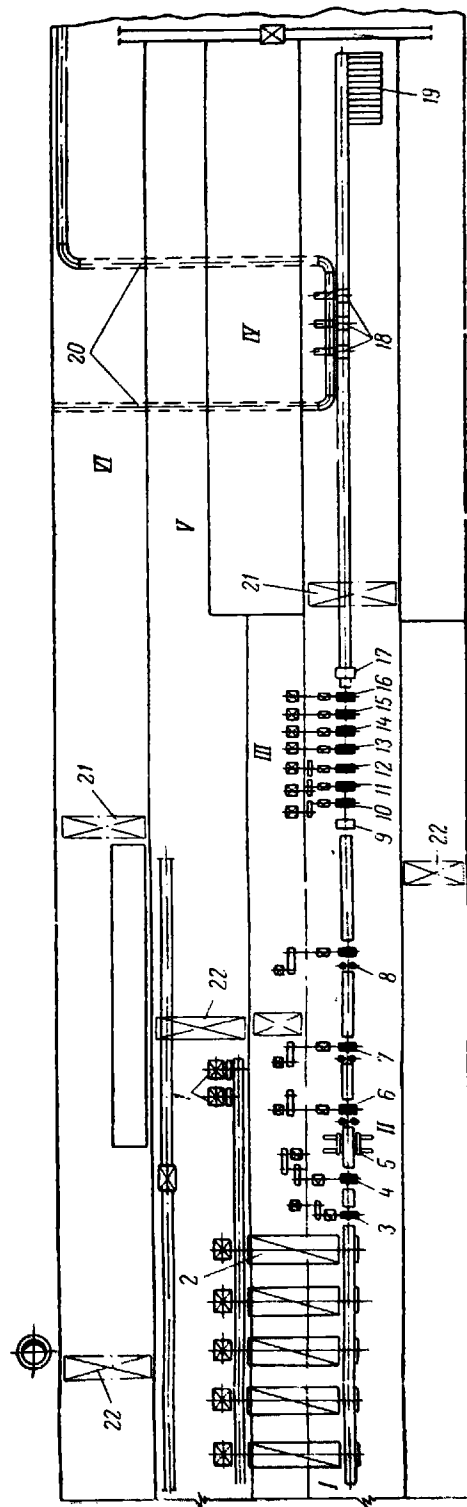


Рис. 256. Схема расположения оборудования непрерывного листового стана 2500:

I — печное отделение; II — пролет стана; III — машинный зал; IV — пролеты отделки листов; V — склад готовой продукции; VI — склад черновой продукции; 1 — загрузочное устройство; 2 — нагревательные печи; 3 — черновой окантовочный аппарат; 4 — универсальный аппарат; 5 — пресс; 6—8 — черновые универсальные клетки кварт; 9 — ножицы для обрезки концов; 10 — чистовой окантовочный аппарат; 11—16 — чистовые клетки кварт; 17 — летучие ножицы; 18 — котельни; 19 — укладчик для листов; 20 — конвейер для горячекатаных рулонов; 21, 22 — краны грузоподъемностью соответственно 75/20 и 15 т.

тей состоит из чернового окулиноломателя дуо, уширительной клетки кварто и трех черновых универсальных клеток кварто.

Уширительная клетка предназначена для разбивки ширины сляба до ширины листа при прокатке листов шириной больше, чем ширина слябов.

Применение уширительной клетки на непрерывных станах горячей прокатки листовой стали было характерным для более раннего периода развития этих станом, так как слябы поступали на эти станы с блюминга и были узкими. Ширина слябов, прокатываемых на слябингах, была также недостаточна.

Клетки черновой группы устанавливают на таком расстоянии друг от друга, чтобы раскат поступал в следующую клетку только тогда, когда задний конец его выйдет из предыдущей. Это объясняется тем, что раскат, выходящий из черновой группы клеток, имеет значительную толщину, а также удобством обслуживания клеток, необходимостью разбивки ширины раската, установкой устройства для сбива окалины водой под давлением и другими причинами.

Чистовая группа стана 2500 состоит из чистового окулиноломателя дуо и шести чистовых клеток кварто. Перед чистовой группой клеток имеются ножницы для обрезки переднего конца раската перед прокаткой.

Рабочие клетки чистовой группы непрерывного стана расположены на небольшом расстоянии друг от друга, поэтому раскат может одновременно находиться во всех клетках с образованием небольших петель, находящихся под натяжением посредством петледержателей.

Раскаты от черновой группы клеток к чистовой передают по рольгангу, на котором имеется воздушно- или водоохлаждающее устройство с давлением воды до $1-2 \text{ Мн/м}^2$ (10—12 ат), предназначенное для регулируемого охлаждения раскатов перед прокаткой в чистовой группе клеток. В связи с этим расстояние между черновой и чистовой

Таблица 26

Характеристика рабочих клеток и электродвигателей непрерывного листового стана 2500 [1,4,7; V. 16, 23]

Номер клетки	Клетка	Размеры валков, мм			Электродвигатель		Скорость прокатки м/сек
		$D_{\text{раб}}$	$D_{\text{оп}}$	$L_{\text{бочки}}$	мощность квт	число оборотов в минуту	
1	Окулиноломатель дуо черновой	850	—	2000	500	500	1,0
2	Уширительная кварто I	1100	1400	3200	4600	428	1,0
3—5	Черновая универсальная кварто:						
	II	900	1400	2500	4600	428	1,7
	III	900	1400	2500	4600	428	2,4
	IV	900	1400	2500	4600	428	2,4
6	Окулиноломатель дуо чистовой	700	-	2500	200/400	500/1000	0,6—2,4
7—12	Чистовая кварто:						
	V	700	1400	2500	5000	175/330	1,1—2,2
	VI	700	1400	2500	5000	175/330	1,8—3,6
	VII	700	1400	2500	5000	110/220	2,9—5,8
	VIII	700	1400	2500	5000	110/220	3,6—7,2
	IX	700	1400	2500	5000	175/330	4,9—9,0
	X	700	1400	2500	5000	175/330	6,0—12,0

группами клетей на современных непрерывных станах составляет более 100 м.

Для сматывания прокатываемых полос в рулоны на стане имеются три моталки. Для отделки листов стан оборудован соответствующими отделочными устройствами. В табл. 26 приведена характеристика рабочих клетей и двигателей этого стана.

Основным направлением развития современных непрерывных станов горячей прокатки листовой стали является значительное повышение производительности стана. Главными технологическими факторами, влияющими на производительность этих станов, являются масса слябов и скорость прокатки.

Увеличение массы сляба и, следовательно, массы рулона горячекатаной полосы улучшает условия работы станов холодной прокатки, так как позволяет увеличить скорость прокатки на этих станах и, следовательно, увеличить их производительность. Увеличение массы горячекатаных рулонов уменьшает число сварных стыков на рулонах, поступающих для холодной прокатки. Масса таких рулонов достигает 45 т. С увеличением массы слябов повышается производительность и улучшаются технико-экономические показатели непрерывных листовых станов горячей прокатки, а также создаются лучшие условия для проведения автоматизации всех технологических операций. С ростом массы сляба увеличивается длина полосы, что позволяет повысить скорость прокатки и, следовательно, увеличить производительность стана.

При данной ширине и толщине увеличить массу сляба можно увеличением его длины. В общем длина сляба ограничивается допустимой температурой конца прокатки и допустимой разницей температур переднего и заднего концов полосы, чтобы избежать получения полос с чрезмерной разнотолщинностью. Однако при прокатке с «уширением», т. е. при разбивке ширины сляба в уширительной клетке, длина сляба ограничивается длиной бочки валков этой клетки, что значительно уменьшает массу сляба и, следовательно, снижает производительность стана.

Наиболее выгодным способом прокатки листовой стали на непрерывных станах является прокатка «на прямую», без кантовки сляба на 90° , т. е. при ширине сляба, равной ширине листа. В этом случае не нужно устанавливать уширительную клетку и пресс для выравнивания боковых кромок сляба после разбивки ширины. Кроме того, нет необходимости в прокатке в поперечном направлении, которая ограничивает длину и, следовательно, массу сляба, снижает массу рулона, уменьшает длину прокатываемой полосы и скорость прокатки на стане. В настоящее время ширина слябов достигает 2000 мм, и поэтому разбивка ширины требуется только при прокатке листов шириной более 2000 мм.

Увеличить массу сляба можно также за счет увеличения его толщины. В последние годы толщину сляба увеличивали за счет увеличения обжатия в черновом окатиноломателе с 5 до 15—20%, диаметра рабочих валков первых клетей черновой группы и толщины подката для чистой группы клетей. Однако радикальным решением увеличения толщины сляба является увеличение числа рабочих клетей черновой группы стана.

На рис. 257 представлена схема расположения оборудования непрерывного листового стана 1700, предназначенного для прокатки листовой стали толщиной 1,2—10,0 мм и шириной 800—1500 мм. Исходным материалом являются слябы толщиной 140—250 мм, шириной 800—1500 мм, длиной до 8000 мм и массой до 23 т. Слябы нагревают

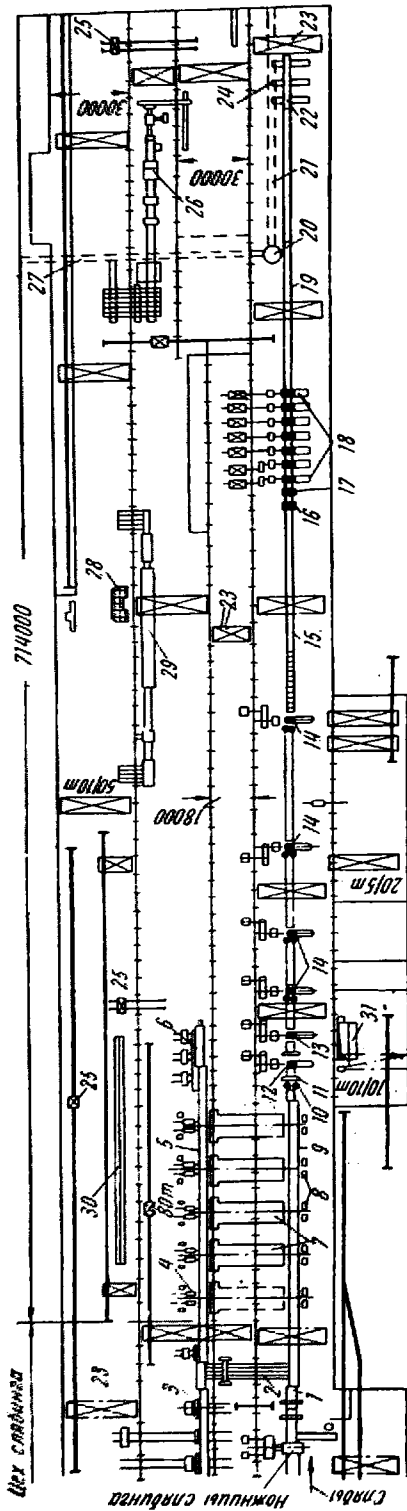


Рис. 257. Схема расположения оборудования непрерывного листового стана 1700:

1 — ролик за ножницами слюбинга; 2 — транспортер слюбов; 3 — стол-штабелировщик для горячих слюбов; 4 — толкатель; 5 и 9 — загрузочный и отвальный печные роляганги; 6 — загрузочный стол со стеллажом для холодных слюбов; 7 — нагревательные печи; 8 — амортизатор; 10 — клеть с вертикальными валами; 11 — устройство для гидросброса окалины; 12 — черновая окалиноромашка; 13 — черновая клеть для обрезки концов; 14 — черновые универсальные клетки кварто № 2-5; 15 — роляганг перед чистой окалиноромашкой; 16 — летучие ножницы для обрезки концов; 17 — листовая окалиноромашка; 18 — листовая непрерывная группа из семи клеток кварто; 19 — отвальный душирующий роляганг; 20 — полемико-поворотный стол; 21 — транспортер горячих рулонов; 22 — молотки; 23 — мостовые краны; 24 — кантователи рулонов; 25 — передаточная тележка; 26 — агрегат перепечной резки; 27 — транспортер рулонов в цех холодной прокатки; 28 — гидротисные ножницы с полем гусиных шеек; 29 — прокатная нормализационная печь; 30 — стеллажи для зачистки слюбов; 31 — колющий роляганг для окалины

в четырех трехзонных методических печах с торцовой посадкой и выдочей.

В отличие от стана 2500 черновая группа клетей стана 1700 состоит из клетки с вертикальными валками, черногово окалиноломателя, одной черновой клетки кварто и четырех черновых универсальных клетей кварто.

Клеть с вертикальными валками диаметром 1000 мм предназначена для обжатия слябов по ширине, что позволяет значительно сократить сортамент слябов. Кроме того, в этой клетке происходит взрыхление окалины на поверхности слябов.

Установка пятой черновой клетки позволяет увеличить толщину слябов, благодаря чему увеличиваются масса рулонов и производительность не только этого стана, но и слябинга.

Уширительная клеть на этом стане отсутствует, так как слябинг прокатывает слябы соответствующей ширины. Длина бочки валков всех черновых клетей 1700 мм; диаметр рабочих валков черновых клетей 950 мм.

Все клетки имеют индивидуальный привод от электродвигателей, мощность которых для одной группы около 26 000 квт.

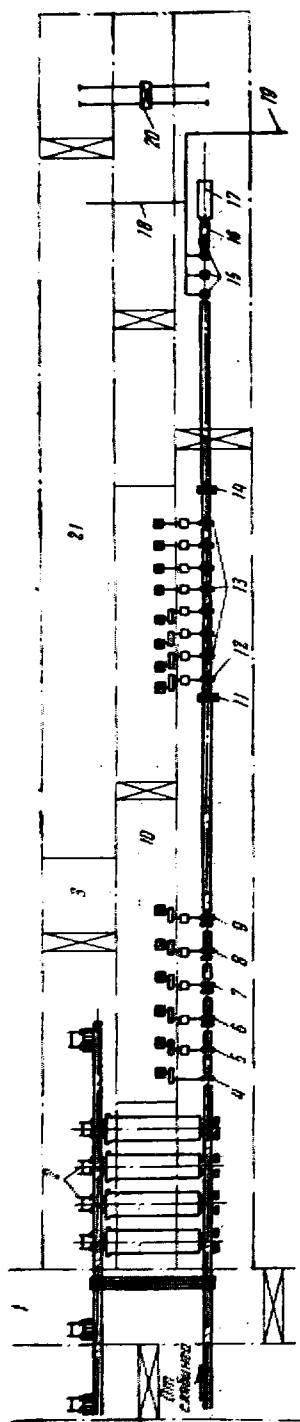
Удаление окалины с поверхности раската осуществляется водой давлением до 12 Мн/м² (120 ат) за черновым окалиноломателем, перед третьей, четвертой и пятой черновыми клетями и за чистовым окалиноломателем.

До последнего времени максимальная толщина подката составляла 26 мм. В настоящее время толщина подката достигает 30—35 мм, что уменьшило длину подката. Такое увеличение толщины подката для чистовой группы клетей потребовало увеличения числа рабочих клетей этой группы с 6 до 7.

Таблица 27

Характеристика рабочих клетей и электродвигателей непрерывного листового стана 1700 [1.7; V.23]

Номер клетки	Клеть	Размеры валков, мм			Электродвигатель		Скорость прокатки м/сек
		D _{раб}	D _{оп}	L _{бочки}	мощность квт	число оборотов в минуту	
1	С вертикальными валками	1000	—	700	350	375	1,0
2	Окалиноломатель дуо черновой	900	—	1700	2100	375	1,0
3	Черновая кварто I	1000	1400	1700	3000	375	1,0
4—7	Черновая универсальная кварто:						
	II	950	1400	1700	4600	428	1,7
	III	950	1400	1700	4600	428	2,6
	IV	950	1400	1700	4600	428	3,1
	V	950	1400	1700	4600	428	3,2
8	Окалиноломатель дуо чистовой	700	—	1700	140	600/1320	0,6/2,8
3—14	Чистовая кварто:						
	VI	700	1400	1700	6800	30/70	1,0/2,4
	VII	700	1400	1700	7000	50/110	1,8/4,1
	VIII	700	1500	1700	7200	97/240	3,2/6,4
	IX	700	1400	1700	7200	97/240	4,0/8,8
	X	700	1400	1700	7200	150/330	5,0/12,5
	XI	700	1400	1700	7000	190/550	6,5/16,0
	XII	700	1400	1700	7000	190/500	7,0/18,0



Р и с. 258. Схема расположения оборудования непрерывного листового стана 2000:

1 — склад слэбов; 2 — нагревательные печи; 3 — склад слэбов; 4—9 — черновая группа клетей; 10 — машинный зал; 11 — поковки; 12, 13 — чистовая группа клетей; 14 — летучие ножницы; 15 — моталки; 16 — рольганг; 17 — укладчик; 18, 19 — конвейеры; 20 — передаточная тележка; 21 — листоотделочная и склад горячекатаных листов

Таким образом, чистовая группа клетей состоит из чистового окалиноломателя дуо с валками диаметром 700 мм и семи чистовых клетей кварто с валками диаметром 700 мм (рабочих) и 1400 мм (опорных). Все клетки приводятся от индивидуальных электродвигателей общей мощностью 49500 квт. Перед чистовой группой клетей установлены летучие ножницы для обрезки переднего конца раската.

Всю листовую сталь, прокатываемую на этом стане, сматывают в рулоны тремя моталками с тянущими раздвижными барабанами, установленными на продолжении отводящего рольганга. Сматывание листовой стали в рулоны значительно увеличивает производительность непрерывных станов, так как позволяет прокатывать полосы максимальной длины с максимальной скоростью. Скорость прокатки в последней клетки данного стана составляет 18 м/сек, что обеспечивает необходимую температуру конца прокатки листов толщиной до 1,2 мм.

Разделку рулонов на листы, если требуется, осуществляют на складе готового проката на специальных разделочных агрегатах.

В табл. 27 приведена характеристика рабочих клетей и двигателей непрерывного стана 1700.

На рис. 258 представлена схема расположения оборудования непрерывного листового стана 2000, у которого черновая группа состоит из пяти рабочих клетей, а чистовая из семи рабочих клетей. Как и на стане 1700, первой клетью стана 2000 является клеть с вертикальными валками диаметром 1200 мм.

Черновой окалиноломатель представляет собой клеть дуо с валками диаметром 1200 мм с приводом валков от электродвигателя мощностью 5000 квт, что позволяет использовать окалиноломатель в качестве рабочей клетки.

За окалиноломателем расположены четыре черновые универсальные клетки кварто с валками диа-

метром 1200 мм (рабочие) и 1600 мм (опорные). Все клетки черновой группы имеют индивидуальный привод от электродвигателей, суммарная мощность которых составляет 35000 квт.

Перед чистовой группой стана установлены летучие ножницы для обрезки переднего конца раската.

Чистовой окалиноломатель представляет собой клеть дуо с валками диаметром 800 мм.

Чистовая группа состоит из семи клеток кварто. Диаметр рабочих валков равен 800 мм, а опорных 1600 мм. Все клетки имеют индивидуальный привод от электродвигателей, суммарная мощность которых составляет 70000 квт. Скорость прокатки в последней клетке стана достигает 19 м/сек.

В табл. 28 приведены данные, характеризующие рабочие клетки и двигатели непрерывного стана 2000.

Таблица 28

Характеристика рабочих клеток и электродвигателей непрерывного листового стана 2000

Номер клетки	Клеть	Размеры валков, мм			Мощность электродвигателя квт	Скорость прокатки м/сек
		$D_{\text{раб}}$	$D_{\text{оп}}$	$L_{\text{бочки}}$		
1	С вертикальными валками	1200	—	1000	2×550	1,0
2	Окалиноломатель дуо черновой	1200	—	2000	5000	1,25
3—6	Черновая универсальная кварто:					
	I	1200	1600	2000	5000	1,9
	II	1200	1600	2000	10 000	2,5
	III	1200	1600	2000	10 000	2,7
	IV	1200	1600	2000	10 000	3,2
7	Окалиноломатель дуо чистовой	800	—	2000	1000	1,30
8—14	Чистовая кварто:					
	V	800	1600	2000	10 000	1,3—3,4
	VI	800	1600	2000	10 000	1,7—4,5
	VII	800	1600	2000	10 000	3,2—6,3
	VIII	800	1600	2000	10 000	4,5—8,7
	IX	800	1600	2000	10 000	5,8—12,0
	X	800	1600	2000	10 000	6,8—15,0
	XI	800	1600	2000	10 000	9,0—19,0

Таким образом, на основании изложенного выше и литературных данных можно указать на следующие изменения, которые произошли в конструкции непрерывных станов горячей прокатки листовой стали:

1. Увеличение массы и длины слябов для повышения производительности станов и массы готовых рулонов. На стане 2000 масса рулона достигает 40 т.

2. Увеличение рабочих клеток до 12, черновых универсальных клеток с трех до четырех и установка клетки с вертикальными валками, что обеспечивает лучшую обработку боковых кромок, точную ширину полосы и уменьшение обрезки боковых кромок.

3. Увеличение диаметра рабочих валков до 1200 мм и опорных до 1600 мм в черновой группе клеток.

4. Увеличение мощности электродвигателей черновой группы до 10 000 квт на одну клетку и электродвигателей чистовой группы до 10 000 квт на одну клетку. Общая мощность электродвигателей обеих групп клеток достигает 111 000 квт.

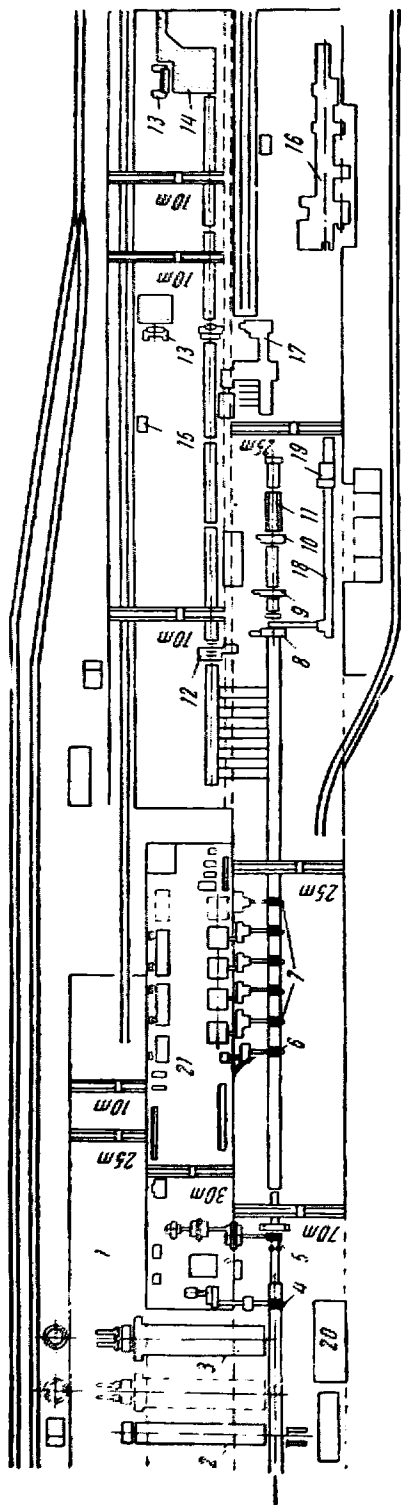


Рис. 259. Схема расположения оборудования полунепрерывного листового стана:

1 — склад слэбов; 2 — транспортер; 3 — нагревательная печь; 4 — черновой окатилоломатель; 5 — черновая универсальная клетка; 6 — чистовая окатилоломатель; 7 — чистовые клетки; 8 — моталка; 9 — летучие ковши; 10 — подающие полики; 11 — укладчик листов; 12 — правильная машина; 13 — ножницы; 14 — поле тучных шеек; 15 — весы; 16 — агрегат резки; 17 — дроссировочная клетка; 18 — копилер рулонов; 19 — весы; 20 — механическая мастерская; 21 — машинный зал

5. Увеличение мощности электродвигателей вертикальных валков черновых универсальных клетей кварты.

6. Увеличение рабочих клетей кварты чистовой группы до семи и диаметра опорных валков этой группы до 1600 мм.

7. Увеличение толщины листовой стали. На новых непрерывных станах 2000 наибольшая толщина прокатываемой и сматываемой в рулоны листовой стали доведена до 14 мм.

8. Повышение скорости прокатки до 19 м/сек (предусматривается увеличение до 25 м/сек).

Для горячей прокатки листовой стали широко применяют также полунепрерывные листовые станы, на которых прокатывают толстолистовую и тонколистовую сталь.

Схема расположения полунепрерывного стана представлена на рис. 259. Черновая группа состоит из чернового окатилоломателя дуо и черновой универсальной клетки кварты.

В черновой универсальной клетке кварты слэб за несколько проходов обжимают до нужной толщины, после чего подкат поступает в чистовую группу клетей для окончательной прокатки.

Чистовая группа клетей полунепрерывных станов состоит из 4—6 клетей кварты. Перед чистовой группой клетей часто устанавливают чистовую окатилоломатель дуо.

Если чистовая группа состоит из шести клетей, то на этих станах прокатывают листовую сталь толщиной 1,2—10,0 мм, которую сматывают в рулоны моталками, установленными на продолжении отводящего рольганга стана.

На рис. 260 представлена схема расположения полунепрерывного листового стана другого типа. Этот стан состоит из клетки с вертикальными валками, дуо-реверсивной черновой клетки и универсальной клетки кварто с длиной бочки валков 2800 мм, чистового окалиноломателя дуо и непрерывной группы, состоящей из шести клеток кварто с длиной

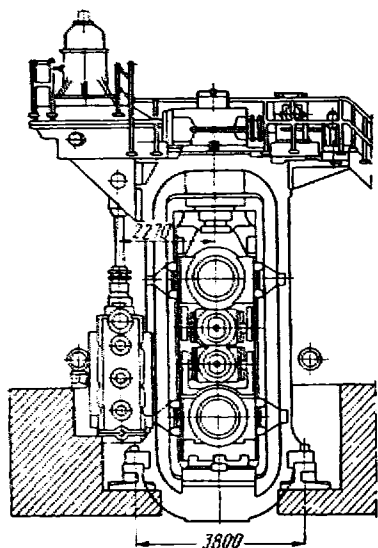


Рис. 261. Черновая универсальная клетка кварто 1000/1400×1700

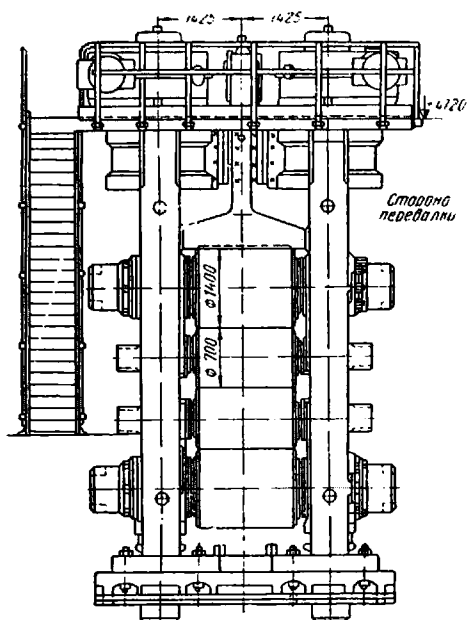


Рис. 262. Чистовая клетка кварто 700/1400×1700

бочки валков 1700 мм. При прокатке листовой стали толщиной 4—50 мм и шириной более 1500 мм универсальная клетка кварто является чистой.

Прокатка листовой стали толщиной до 6 мм и шириной до 1550 мм заканчивается в непрерывной группе клеток. Листовую сталь сматывают в рулоны моталками, установленными на продолжении отводящего рольганга.

Полунепрерывные листовые станы можно использовать при годовой производительности стана до 1,5—2,0 млн. т листов легированной стали широкого сортамента по ширине и толщине, прокатываемой за большое число проходов. В этих случаях непрерывные станы менее гибки, так как на этих станах число проходов равно числу клеток. Наличие реверсивной черновой клетки делает полунепрерывный стан более гибким, так как позволяет выбирать обжатия за проход и число проходов в зависимости от физико-механических свойств, что имеет важное значение при прокатке высоколегированных и труднодеформируемых сталей, например трансформаторной, нержавеющей и др. При прокатке таких сталей необходимо регулировать обжатия и скорости. Полунепрерывные станы целесообразно применять также для прокатки небольших партий листовой стали. На этих станах можно прокатывать толстолистовую сталь из слябов большой толщины.

На рис. 261 показан общий вид черновой универсальной клетки кварто черновой группы непрерывного листового стана 1700. Эта клетка имеет с передней стороны вертикальные валки диаметром 800 мм и длиной бочки 600 мм. Валки приводятся от двух вертикальных электродвигате-

лей каждый мощностью 200/300 квт, расположенных на верхней площадке, через передаточные и синхронизирующие шестерни и вертикальные (наклонные) шпиндели с шарнирами на подшипниках качения. Синхронизация скорости вращения вертикальных и горизонтальных валков осуществляется при помощи тахогенераторов. Горизонтальные рабочие валки этой клетки имеют диаметр 1000 мм, опорные 1400 мм. Валки черновых универсальных клеток приводятся от синхронных электродвигателей через двухступенчатые редукторы и шестеренные клетки.

На рис. 262 показан общий вид чистовой рабочей клетки кварто, а на рис. 263 — общий вид чистовой группы клеток непрерывного листового стана 1700. Все семь клеток чистовой группы имеют одинаковую конструкцию. Валки этих клеток приводятся от электродвигателей постоянного тока. Максимальная скорость выхода полосы из последней (седьмой) клетки равна 18 м/сек.

Все черновые и чистовые клетки кварто снабжены гидравлическим уравниванием верхних валков (опорный валок — от цилиндра на площадке нажимного устройства, а рабочий — плунжерами между подушками) и гидравлическими устройствами для смены опорных валков. Рабочие валки клеток установлены на ролико-

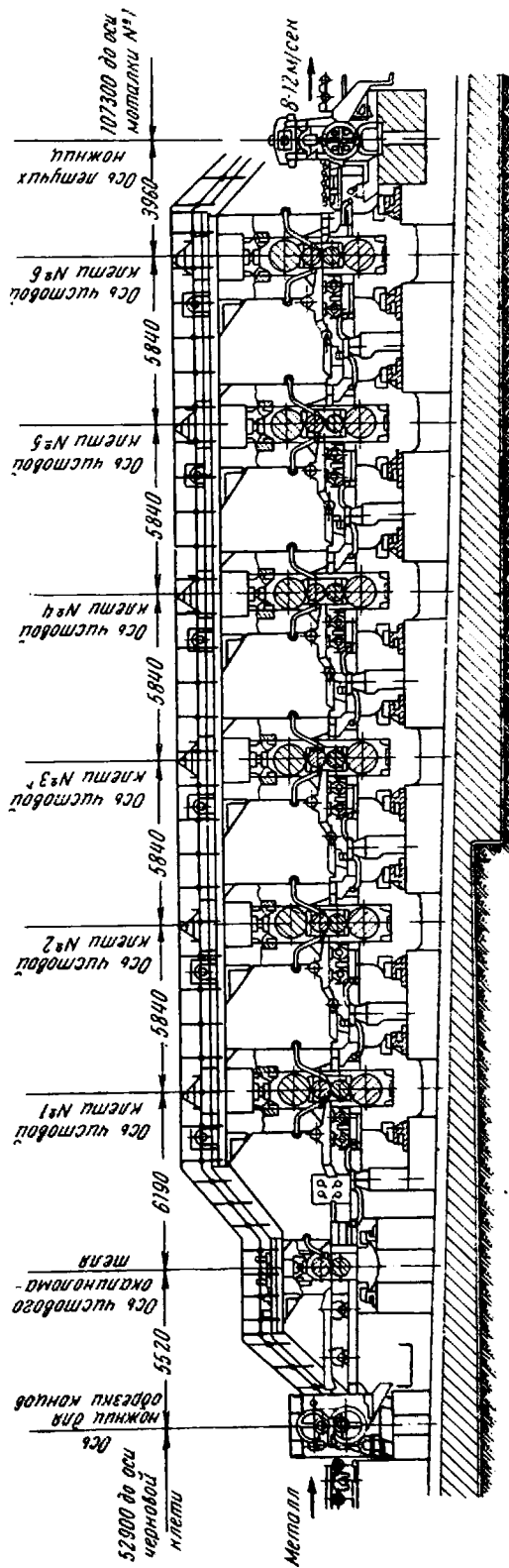


Рис. 263 Чистовая группа непрерывного листового стана 1700

вых подшипниках, опорные валки — на подшипниках жидкостного трения.

На рис. 264 показано нажимное устройство рабочей клетки кварто стана 1700. Нажимные винты приводятся от двух электродвигателей каждый мощностью 46 квт, установленных на одной оси и соединенных

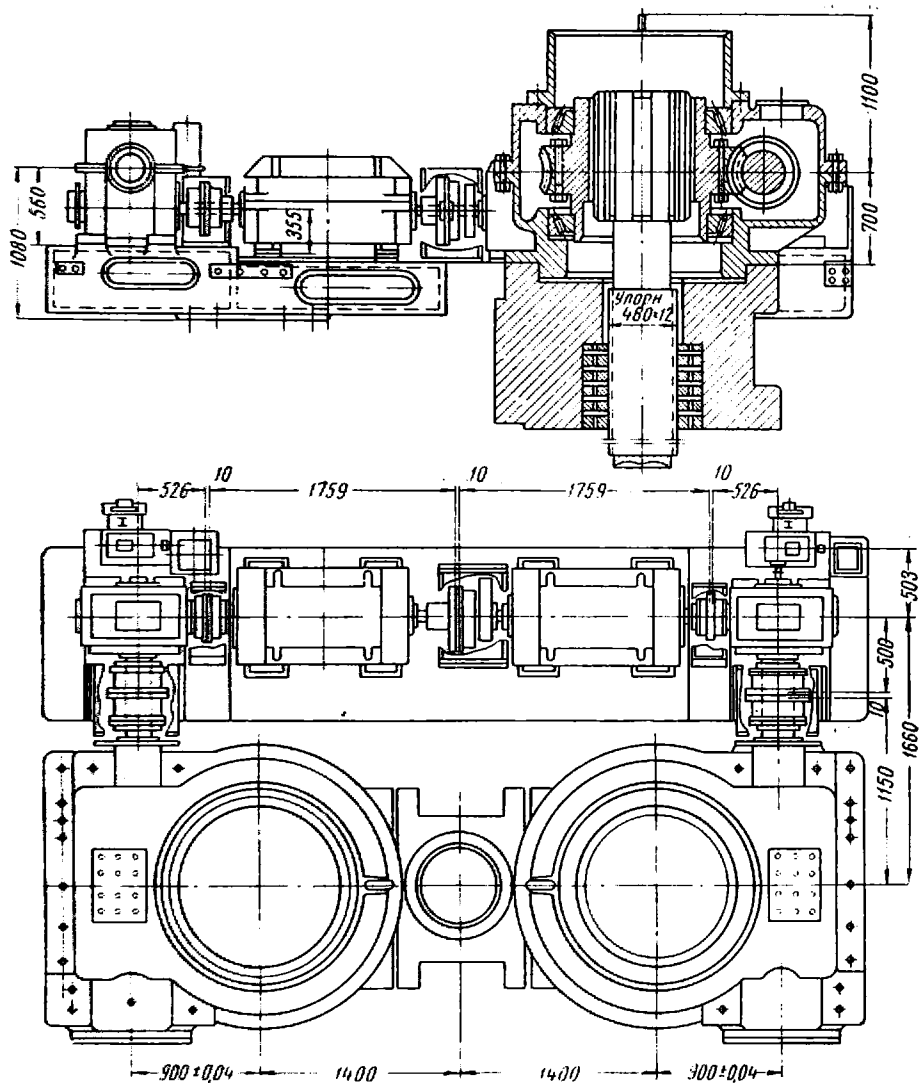


Рис. 264. Нажимной механизм стана кварто 1700

между собой электромагнитной муфтой; общее передаточное число равно 1152.

Для повышения коэффициента полезного действия передачи червячный редуктор привода нажимного винта сделан с глобоидальным червяком.

Этот механизм установки валков не имеет циферблата на станине. Положение валков фиксируется сельсин-датчиком, передающим импульс на прибор, установленный на пульте управления. В случае необходимости вращения одного нажимного винта при настройке валков электромагнитная муфта выключается.

Разбивку ширины листа при прокатке на непрерывных станах осуществляют в уширительной клети кварто. Во многих случаях ввиду применения больших обжатий в этой клети металл не захватывается валками при подаче сляба рольгангом. Для обеспечения захвата и задачи сляба в валки без перекося уширительная клеть оборудована толкателем. Для поворота слябов при разбивке ширины уширительная клеть с передней и задней сторон оборудована поворотным устройством.

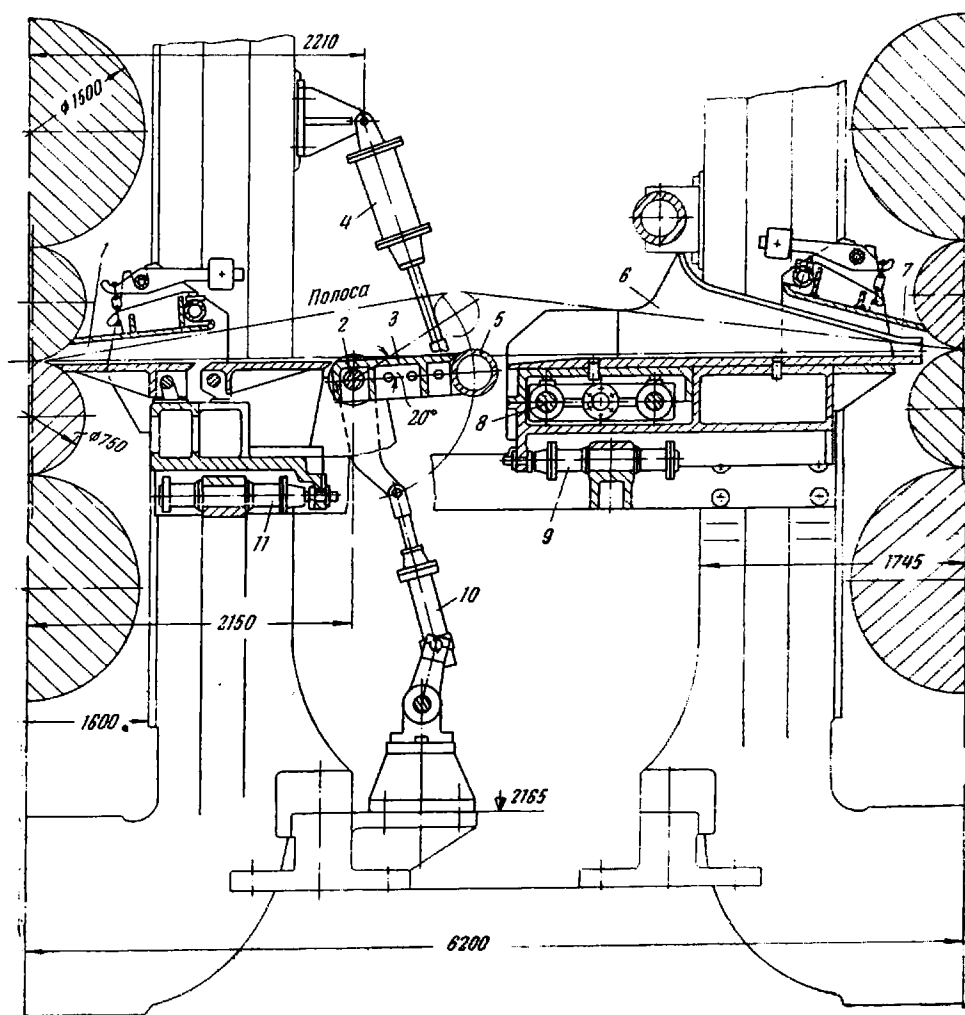


Рис. 265. Проводки и петледержатель между чистовыми клетями непрерывного листового стана 1700

При прокатке в чистовой группе клетей непрерывных станов полоса находится одновременно во всех клетях. Поэтому скорость прокатки в каждой клети этой группы определяется из условия постоянства секундных объемов металла, проходящих через валки этих клетей.

Для устранения растяжения полосы между клетями чистовой группы прокатку ведут с образованием небольшой петли, для поддержания которой устанавливают петледержатели. На рис. 265 приведен общий вид петледержателя и проводок между клетями непрерывного листового

стана 1700. При помощи выводных проводок 1, боковых линеек 6 и вводных проводок 7 полоса, выходящая из предыдущей клетки, направляется в валки следующей клетки. При этом электромагнитные клапаны автоматически включают боковые шарнирно установленные гидроцилиндры 10, поворачивающие вал 2 и рычаг 3 с холостым роликом на конце 5; последний будет стремиться занять положение, показанное пунктиром, благодаря чему за период прокатки полоса будет находиться под некоторым (небольшим) натяжением.

Для ограничения петли полосы на одном конце вала 2 установлен сельсин-регулятор, который при увеличении угла поворота рычага 3 с роликом 5 дает импульс на уменьшение (увеличение) скорости вращения главного электродвигателя привода валков предыдущей (следующей) клетки. Уравновешивание подвижных частей петледержателя (рычага 3 и ролика 5) осуществляется при помощи пневмоцилиндра 4.

При смене валков с подушками проводки 1 и 7 и линейки 6 выдвигаются из рабочих клеток при помощи гидроцилиндров 9 и 11 (при крайнем верхнем положении ролика под углом 40°). Раствор боковых линеек 6 устанавливается в зависимости от ширины прокатываемой полосы при помощи поперечных штанг 8, имеющих отдельный гидропривод.

Гидропривод ролика петледержателя обеспечивает большее быстроедействие схемы автоматического регулирования петли полосы по сравнению с ранее применявшимся механическим приводом поворота ролика от дополнительного электродвигателя.

Смена рабочих валков станов кварто осуществляется относительно просто, так как рабочий валок вместе с подушками имеет небольшую массу. На один конец нового (или перешлифованного) валка надевают муфту — протинвес. Двумя крюками мостового крана валок с муфтой подают к рабочей клетке. Свободный конец муфты надевают на конец сменяемого валка. Подушки рабочего валка освобождают от подушек опорного валка и затем краном валок с подушками извлекают из рабочей клетки. После этого краном валки поворачивают на 180° и новый валок с подушками вводят в рабочую клетку. Продолжительность смены рабочего валка составляет 10—15 мин.

Смена опорных валков рабочих клеток кварто непрерывных листовых станов осуществляется специальными тележками, имеющими привод от электродвигателя или от гидроцилиндров.

Для обрезки переднего конца раската перед прокаткой в рабочих клетках чистой группы непрерывных листовых станов устанавливают летучие ножницы. Для обеспечения вертикальной плоскости резания полосы необходимо, чтобы ножи в период резания сближались параллельно друг другу и составляли с движущейся полосой угол, равный 90°. Для выполнения этого условия применяют летучие ножницы с поступательно движущимися ножами.

Для прокатки тонколистовой стали применяют также станы с моталками в печах. Первые такие листовые станы, построенные по схеме, предложенной Стежкелем, состоят из одной реверсивной клетки кварто, с обеих сторон которой имеются моталки, расположенные в камерных нагревательных печах для подогрева прокатываемой полосы. При прокатке на этих станах полосы в первых проходах моталки не используют. Только после достижения определенной толщины полосы дальнейшую прокатку ее производят с применением моталок.

Станы, состоящие только из одной клетки, имеют низкую производительность. Поэтому все новые листовые станы строят с черновыми клетками, которые предназначены для прескатки слябов в подкат для чистой клетки с моталками в печах.

Наличие черновой клетки позволяет прокатывать листовую сталь не только из слябов, но и из слитков, что важно для заводов, не имеющих специальных заготовочных станков. В этом случае слитки, нагретые в нагревательных колодцах, прокатывают в черновой клетке стана в слябы, которые после охлаждения, осмотра и зачистки нагревают в методической печи и прокатывают в той же клетке в подкат для чистовой клетки.

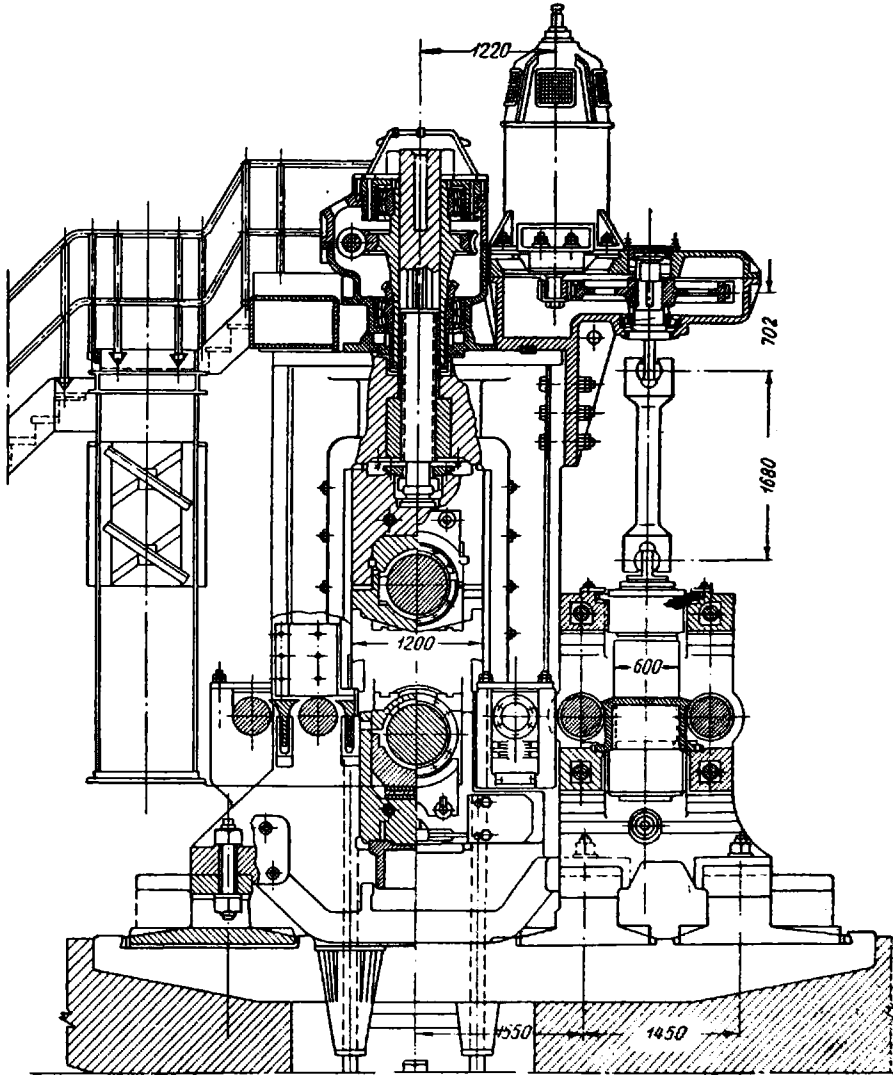


Рис. 266. Черновая универсальная клетка дуо стана 1200 с моталками в печах

Применение промежуточного осмотра и зачистки слябов повышает качество листов.

Хотя более совершенными станами для горячей прокатки листовой стали являются непрерывные, постройка станков с моталками в печах иногда целесообразна. Это объясняется тем, что стоимость этих станков значительно меньше стоимости непрерывных станков. Подогрев наматываемой на моталку полосы обеспечивает возможность прокатки легированных труднодеформируемых сплавов. Кроме того, это обеспечивает

также более лучшие условия для прокатки сталей, имеющих узкий температурный интервал прокатки, повышает пластичность и снижает сопротивление деформации.

Листовые станы с моталками в печах устанавливают в тех случаях, когда требуется широкий сортамент листов при небольшом объеме производства. При реконструкции старых металлургических заводов этими станами можно заменять станы для прокатки тонких листов из сутунки.

Если стан состоит из двух рабочих клеток, то они установлены друг за другом, из которых одна является черновой, а другая чистовой.

На рис. 266 показана черновая универсальная клеть листового стана с моталками в печах. Эта клеть имеет два горизонтальных валка

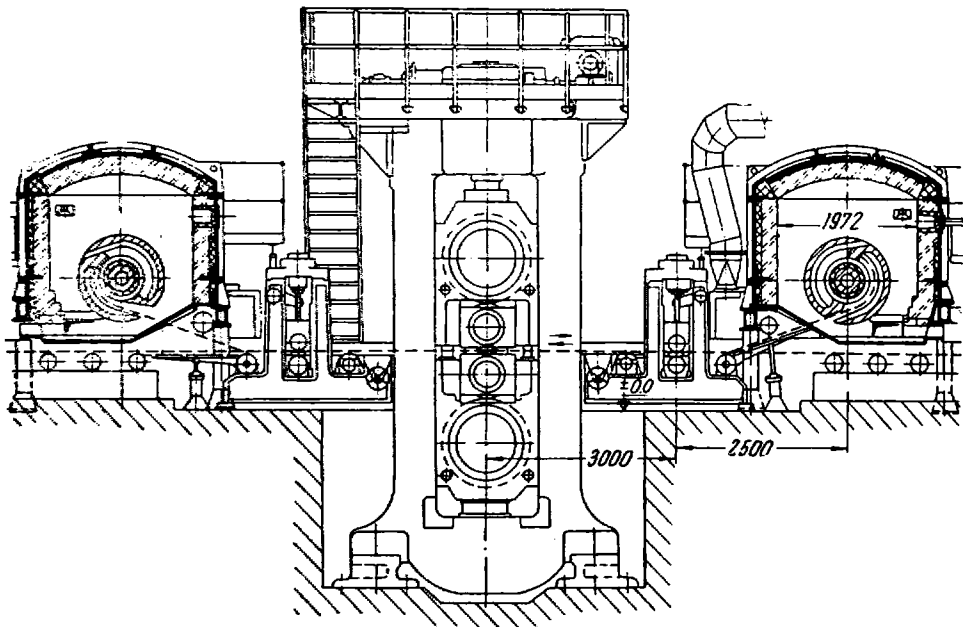


Рис. 267. Чистовая клеть кварто стана 1200 с моталками в печах

диаметром 850 мм и длиной бочки 1200 мм и два вертикальных валка диаметром 600 мм и длиной бочки 900 мм. Каждый вертикальный валок приводится от отдельного электродвигателя, расположенного на площадке нажимного устройства, через цилиндрические шестерни и вертикальный универсальный шпиндель. Рабочая линия горизонтальных валков аналогична рабочей линии малого блюминга. Станины рабочей клетки обычно закрытого типа. Подшипники валков текстолитовые; уравновешивание верхнего валка грузовое; станинные ролики (два сзади и один спереди клетки) имеют индивидуальный привод. Скорость установки верхнего валка равна 4—40 мм/сек.

Чистовая клеть представляет собой клеть кварто. Максимальная скорость прокатки равна 7—10 м/сек. Перед чистовой клетью и за ней расположены в печах моталки (рис. 267) барабанного типа, каждая из которых состоит из вала, охлаждаемого водой, и собственно барабана. Барабан выполнен из жаропрочной стали и приводится от электродвигателя.

Каждая моталка вмонтирована в печь, имеющую разборные стены и свод. Прокатываемая полоса направляется в окно печи направляю-

щим роликом. Кроме того, для направления конца полосы в окно печи и на барабан имеется проводка с приводом от пневматического цилиндра. При задаче полосы в моталку проводка поднимается, а при пропуске полосы мимо моталки проводка опускается. Для направления и натяжения полосы с передней и задней сторон клетки установлены тянущие ролики.

На листовых станах с моталками в печах прокатывают трансформаторную, нержавеющую и другие легированные стали.

В последние годы было построено несколько планетарных станов для горячей прокатки тонких полос. Сущность процесса прокатки на

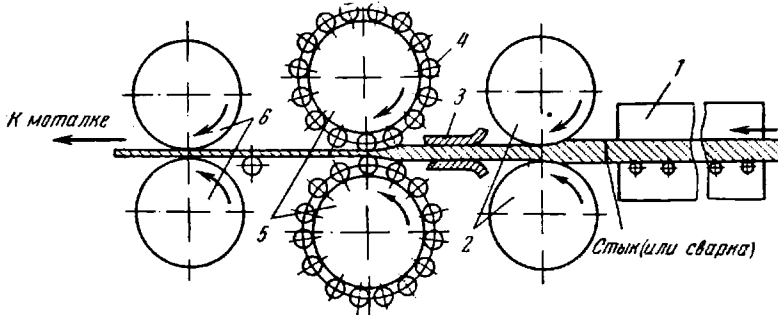


Рис. 268. Схема прокатки на планетарном стане:

1 — печь; 2 — задающие валки; 3 — проводки; 4 — рабочие планетарные валки;
5 — опорные валки; 6 — прогладочные валки

этом стане состоит в том, что обжатие металла производится большим числом внешних (планетарных) холостых валков, вращающихся в обоймах трением вокруг приводных опорных валков (рис. 268).

Основной частью планетарного стана является клеть с двумя опорными приводными валками большого диаметра, каждый из которых окружен набором рабочих холостых (планетарных) валков, подшипники которых по бокам смонтированы во вращающихся обоймах.

Расстояние между валками регулируется нажимным устройством, как в обычном стане. На входной стороне клетки возможно ближе к планетарным валкам устанавливают задающие валки, а на выходной стороне — выравнивающие (прогладочные). Особенность прокатки на планетарном стане — это возможность получения очень большой вытяжки (примерно 15—20) за проход. Каждой парой рабочих валков производится небольшое обжатие полосы (около 0,4 мм), но так как их много, то в итоге суммарное обжатие полосы за один проход составляет 90—95%.

Однако следует заметить, что по конструкции и условиям работы скорость прокатки на стане небольшая вследствие наличия непрерывных ударов в момент соприкосновения планетарных роликов со слябом. Выходная скорость полосы колеблется в пределах 0,2—0,5 м/сек, а входная скорость сляба — 0,01—0,05 м/сек.

3. СТАНЫ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ

Современным способом прокатки листовой стали является рулонный, при котором металл в горячем и холодном состоянии прокатывают в виде длинных полос, сматываемых в рулоны. Прокатка в рулонах позволяет максимально автоматизировать производственные операции, сократить число обслуживающего персонала и увеличить производительность стана [I. 4, 7, 16; V. 6, 7, 9].

Для холодной прокатки углеродистой листовой стали в рулонах применяют различные станы в зависимости от объема производства, программы прокатки и назначения листовой стали.

При небольшом объеме производства, когда установка непрерывного стана невыгодна, применяют одноклетевые реверсивные станы кварто. Впереди и позади такого стана имеются моталки, приводимые в движение обычно отдельными двигателями и сообщающие прокатываемому металлу со стороны входа в валки и выхода из них постоянное натяжение, благодаря чему уменьшается давление металла на валки и достигается большее обжатие.

Во время первого прохода, когда разматывается исходный рулон, работает одна моталка со стороны выхода полосы из валков. Во время остальных проходов работают обе моталки: на одну наматывается полоса, а с другой она сматывается.

На одноклетевых реверсивных станах кварто прокатывают тонколистовую углеродистую и легированную сталь обычно толщиной более 0,5 мм. Однако в некоторых случаях эти станы применяют для прокатки листовой стали толщиной менее 0,5 мм. Например, при небольшом объеме производства их применяют для прокатки жести, трансформаторной и нержавеющей листовой стали.

По сравнению с непрерывными станами производительность реверсивных станов кварто в 3—5 раз меньше, но они более удобные при настройке и прокатке полос различной толщины. Поэтому их широко применяют для прокатки разнообразного сортамента рулонов (по толщине, маркам стали и т. д.). Поскольку стан реверсивный и оба конца полосы заправляют в моталки, то очевидно, что эти концы не прокатываются и остаются утолщенными, что снижает выход годного проката. Для экономии металла при прокатке легированной стали к концам рулонов приваривают концы длиной 3—5 м из углеродистой стали; в дальнейшем эти концы отрезают.

Широкое применение для холодной прокатки листовой стали получили непрерывные станы с длиной бочки до 2500 мм. В СССР около 90% холоднокатаной листовой стали прокатывают на непрерывных станах.

Для холодной прокатки листовой стали широкого сортамента получили наибольшее применение непрерывные четырехклетевые станы.

В последнее время новые непрерывные трехклетевые станы почти не устанавливали, а существующие станы переделывали в четырехклетевые.

Четырехклетевые непрерывные станы кварто применяют для холодной прокатки тонкой (0,5—2,0 мм) полосы шириной 1500—2350 мм из горячекатаной полосы толщиной 2—6 мм в рулонах массой 20—30 т и более. Готовый прокат предназначен в основном для автомобильной промышленности. В зависимости от сортамента и качества листовой стали скорость прокатки на этих станах составляет 10—25 м/сек.

В соответствии с шириной полосы длина бочки валков равна 1700—2500 мм; диаметры валков рабочих 500—600 мм и опорных 1400—1600 мм. Годовая производительность станов равна 1—1,5 млн. т.

На рис. 269 представлена схема расположения оборудования цеха холодной прокатки листовой стали с непрерывным четырехклетевым станом 1700. Цех предназначен для производства тонкой холоднокатаной листовой стали из углеродистой стали для автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения, а также оцинкованной и динамной листовой стали. Толщина прокатываемой листовой стали равна 0,4—2,5 мм, а ширина достигает 1550 мм.

Исходным материалом являются горячекатаные рулоны с толщиной полосы 1,8—6,0 мм, шириной до 1550 мм и массой до 15 т, поступающие по подземному транспортеру 1 от моталок непрерывного листового стана горячей прокатки, расположенного в соседнем цехе.

Рулоны взвешивают на автоматических весах, встроенных в транспортер, и мостовым краном переносят на склад травильного отделения I. Со склада рулоны подают на непрерывный травильный агрегат 2 для очистки от окалины. Массу рулона увеличивают до 30 т [V. 8, 12].

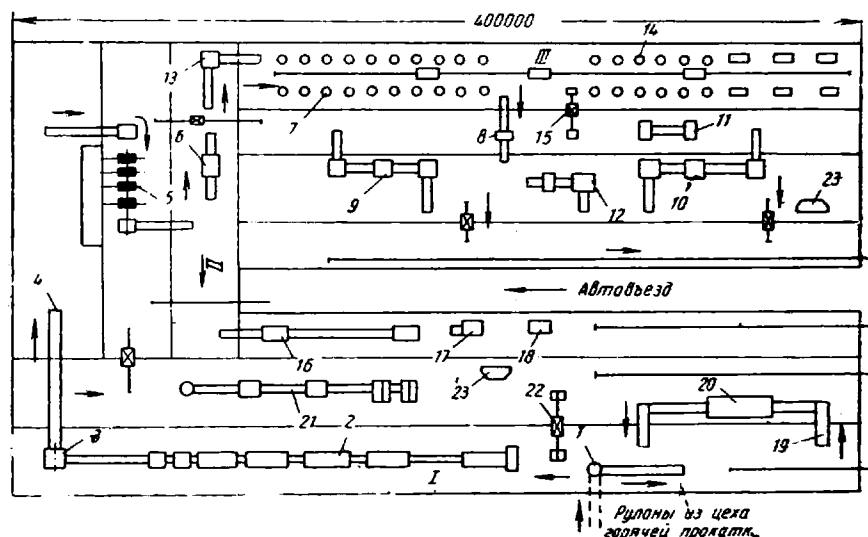


Рис. 269 Схема расположения оборудования цеха для производства холоднокатаной автолистовой стали

Для получения плотных рулонов в конце агрегата травления установлена моталка 3 барабанного типа, которой полоса сматывается в рулон с натяжением [V. 12].

После травления утяжеленные рулоны взвешивают на транспортере 4 за моталкой и подают к стану холодной прокатки 5.

Непрерывный стан состоит из четырех клетей кварто с диаметром валков рабочих 500 мм и опорных 1400 мм и с длиной бочки 1700 мм. Установка четырех клетей позволила прокатывать листовую сталь более широкого сортамента с наименьшей толщиной 0,4 мм и применять в этом случае горячекатаные рулоны полос толщиной 1,8 мм. Суммарное обжатие в этом случае составляет 80%. Скорость прокатки в последней клети достигает 25 м/сек.

После прокатки холоднокатаные рулоны из распределительного пролета II направляются по трем технологических потокам.

В первом потоке рулоны из конструкционной углеродистой стали для автолистов поступают на транспортер 6 для кантования и их направляют в термическое отделение III, где отжигают в колпачковых печах 7, после чего подают на дрессировочный одноклетевой стан кварто 8. После дрессировки рулоны поступают на агрегаты поперечной резки 9 и 10 и продольной 11. Необходимое количество листов проходит дополнительную сортировку на агрегате 12, оборудованном раскладчиками с вакуумными присосами.

Во втором потоке рулоны из динамной стали направляют к агрегату 13 для электролитического обезжиривания и очистки и нанесения защитного покрытия, после чего они проходят высокотемпературный отжиг в колпаковых печах 14 в вакууме или защитной атмосфере. Далее рулоны по транспортеру 15 поступают на агрегат поперечной резки 10.

В третьем потоке рулоны для покрытия цинком направляют в пролет к непрерывному агрегату цинкования 16. После оцинкования они поступают на агрегат 17 для перемотки и контроля. Требуемое количество оцинкованных листов поступает на стан 18 для гофрирования.

Кроме основных трех потоков холоднокатаной листовой стали, в цехе предусмотрен еще один поток выдачи термически обработанной листовой стали в горячекатаном виде.

С транспортера 1 рулоны горячекатаной (нетравленной) полосы поступают по транспортеру 19 в нормализационную печь 20. После нормализации рулоны поступают по транспортеру в пролет 1 и укладываются перед агрегатом 2 непрерывного травления. Здесь поток разделяется по двум направлениям:

1) для декапированной (травленной) стали; полоса подвергается травлению в агрегате 2, рулоны поступают в пролет на агрегат 21 комбинированной резки (поперечной — на листы или продольной — на более узкие полосы, сматываемые в рулоны);

Таблица 29

Характеристика рабочих клеток и двигателей непрерывных станов холодной прокатки [1,4,7]

Номер стана	Номер клетки	Рабочие клетки				Двигатели		
		размеры валков, мм			скорость прокатки м/сек	число	общая мощность квт	число оборотов в минуту
		$D_{\text{раб}}$	$D_{\text{оп}}$	$L_{\text{бочки}}$				
1	1	533	1346	1420	2,5—7,5	1	1839	90—270
	2	533	1346	1420	3,48—10,0	1**	2942	125—360
	3	533	1346	1420	5,58—13,95	1**	2942	200—500
2*	1	419	1346	1422	2,2—6,6	2	1839	100—300
	2	419	1346	1422	2,36—8,35	2	2942	135—380
	3	419	1346	1422	3,85—10,3	2	2942	175—470
3	4	419	1346	1422	4,4—10,9	2	2574	200—500
	1	500	1500	2500	3,14—9,42	2**	6000	120—360
	2	500	1500	2500	3,45—1,20	2**	6000	170—460
4	3	500	1500	2500	5,0—14,7	2**	8000	170—560
	4	500	1500	2500	12,0—21,0	2**	8000	360—700
	1	500	1400	1700	2,5—7,5	1**	2400	120—240
5	2	500	1400	1700	4,18—9,76	2**	4800	200—400
	3	500	1400	1700	5,58—13,95	2**	4800	260—500
	4	500	1400	1700	6,97—15,76	2**	4800	330—600
6	1	500	1300	1200	2,5—6,4	1	1500	90—230
	2	500	1300	1200	3,5—7,6	2	3000	125—273
	3	500	1300	1200	7,0—14,0	2	3000	200—400
7	4	500	1300	1200	15,0—22,0	2	3700	350—582
	5	500	1300	1200	22,0—34,0	2	4500	500—818
	1	530	1350	1200	3,1—8,6	1	3200	110—310
8	2	530	1350	1200	4,7—11,8	1	3200	165—420
	3	530	1350	1200	8,4—17,6	2	4000	200—435
	4	530	1350	1200	12,6—26,3	2	4000	300—625
9	5	530	1350	1200	19,2—30,1	2	5000	345—635
	6	530	1350	1200	25,0—38,0	2	5000	500—750

* Стан для прокатки электротехнических сталей.

** Двухъякорный двигатель.

2) термически обработанные рулоны по транспортеру 22 (минуя травильный агрегат) поступают на агрегат 21 комбинированной резки.

Для разделки отдельных листов и вырезки брака в цехе установлено несколько гильотинных ножиц 23.

Годовая производительность цеха составляет 900 тыс. т холоднокатаной и около 100 тыс. т нормализованной горячекатаной листовой стали.

В последнее время для холодной прокатки углеродистой листовой стали толщиной 0,4 мм начали устанавливать пятиклетевые непрерывные станы. Это вызвано необходимостью повышения верхнего предела

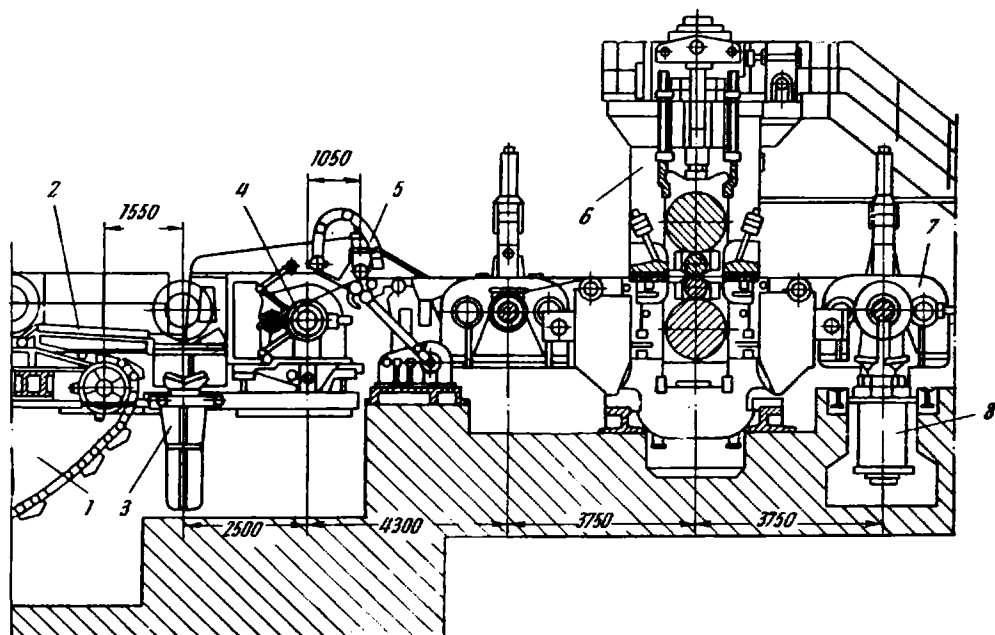


Рис. 270. Реверсивный стан кварто 500/1400×1700

ширины при прокатке полос минимальных толщин, а также для улучшения геометрии прокатываемой листовой стали по коробоватости, волнистости и пр.

В табл. 29 приведена характеристика рабочих клетей и двигателей некоторых непрерывных станов холодной прокатки углеродистой листовой стали.

На рис. 270 представлен общий вид реверсивного стана кварто 1700 конструкции УЗТМ для холодной прокатки листовой стали толщиной 0,5—2,5 мм и шириной до 1550 мм. Стан состоит из цепного транспортера 1 для рулонов, приемного стола 2, подъемного стола 3, разматывателя 4, правильно-тянущих роликов с магнитным отгибателем 5, рабочей клетки 6, правой и левой моталок 7 и снимателя рулонов 8.

Рабочая клеть стана имеет рабочие валки диаметром 500 мм и опорные 1400 мм. Подъемный стол 3 при помощи двух гидравлических цилиндров может перемещаться в вертикальном направлении и на катках — в горизонтальном. Очередной рулон массой 15—25 т с приемного наклонного стола 2 перекачивается на подъемный стол 3. Последний перемещается вправо и устанавливается по оси разматывателя, поднимает рулон и устанавливает его по оси головок разматывателя. После зажима рулона на головках разматывателя магнитный отгибатель от-

гибает передний конец полосы на рулоне. Затем ролики отгибателя подают передний конец (минуя левую моталку 7) к валкам стана, заранее установленным для заданного обжатия. По выходе из валков на небольшой скорости передний конец заправляется в щель барабана правой моталки; после создания определенного натяжения полосы моталкой скорость стана увеличивается и продолжается прокатка полосы (первый проход). Стан останавливается, когда вся полоса будет смотана с разматывателя и задний ее конец (на небольшой скорости) не дойдет до валков на 200—300 мм. После этого валки при помощи нажимных винтов поджимают на требуемое обжатие во втором проходе, стан реверсируется и непрокатанный задний конец зажимается в щели левой моталки. Затем при помощи моталок полосе сообщается заднее и переднее натяжения и продолжается прокатка (второй проход). Следующие проходы совершаются при реверсивном вращении валков и моталок. После последнего нечетного прохода рулон полосы на правой моталке обвязывается узкой лентой, при этом конец полосы прижимается к рулону верхним роликом при помощи пневматического цилиндра, расположенного на балке над правой моталкой. При помощи подъемного стола с вилочным снимателем рулон снимается с моталки и подается к стеллажу.

Привод валков осуществляется электродвигателем мощностью 4000 квт, 145—320 об/мин. Скорость прокатки 5—10 м/сек, производительность стана 25—40 т/ч.

На рис. 271 представлен общий вид непрерывного четырехклетевого стана 2500, предназначенного для холодной прокатки листовой стали толщиной 0,6—2,5 мм и шириной до 2300 мм из горячекатаных рулонов с толщиной полосы 1,5—5,0 мм и массой до 25 т.

Стан состоит из четырех рабочих клеток кварто 4 и вспомогательного оборудования: разматывателя со скребковым отгибателем конца рулона 1, правильно-тянущих роликов 2, роликового проводкового стола 3, летучих микрометров 5, роликов для измерения натяжения 6, моталки с приводом 7 и снимателя рулонов. Для задачи переднего конца полосы в щель барабана моталки имеется специальный автоматический механизм.

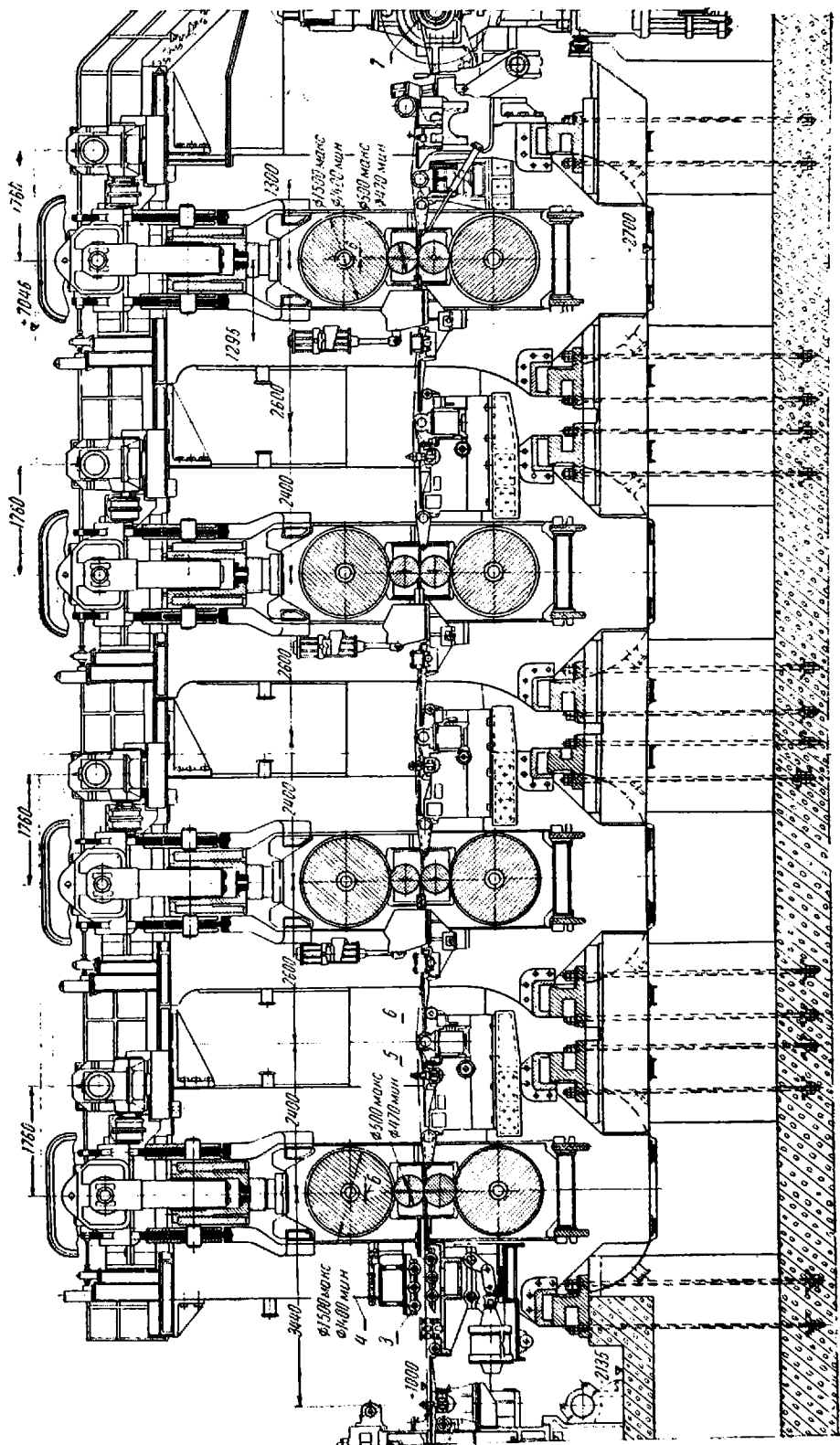
Валки всех клеток имеют одинаковые размеры: диаметр рабочих 500 мм, опорных 1500 мм, длина бочки 2500 мм.

На рис. 272 представлен общий вид рабочей линии одной из клеток непрерывного четырехклетевого стана 500/1500×2500 конструкции ВНИИМЕТМАШ и НКМЗ для холодной прокатки листовой стали толщиной 0,6—2,5 мм и шириной до 2300 мм.

Рабочая клетка состоит из двух станий 1, рабочих и опорных валков с подушками, нажимного механизма, площадки нажимного устройства и гидравлического устройства для уравнивания верхнего опорного валка с подушками. Станины закрытого типа отлиты из стали 35Л и рассчитаны на максимальное усилие на нажимной винт 17,5 Мн (1750 тс). Полное давление на валок при прокатке равно 35 Мн (3500 тс). Станины установлены лапами на плитовины и скреплены с ними болтами.

Для опорных валков станом холодной прокатки широкое применение получили подшипники жидкостного трения, обладающие большой грузоподъемностью и весьма низким коэффициентом трения. Для рабочих валков чаще применяют роликовые подшипники, так как конструктивно их легче разместить в подушках, чем подшипники жидкостного трения.

Нажимные винты рабочей клетки приводятся от двух электродвигателей мощностью 115 квт, 600 об/мин, соединенных электромагнитной



Р и с. 271. Непрерывный четырехклетевой стан холодной прокатки 2500

муфтой, через две пары глобондальных червячных передач (к каждому винту) с общим передаточным числом 1122. Скорость перемещения нажимных винтов равна 0,11—0,22 мм/сек.

Рабочие валки этой клетки приводятся от двух двухъякорных элект-

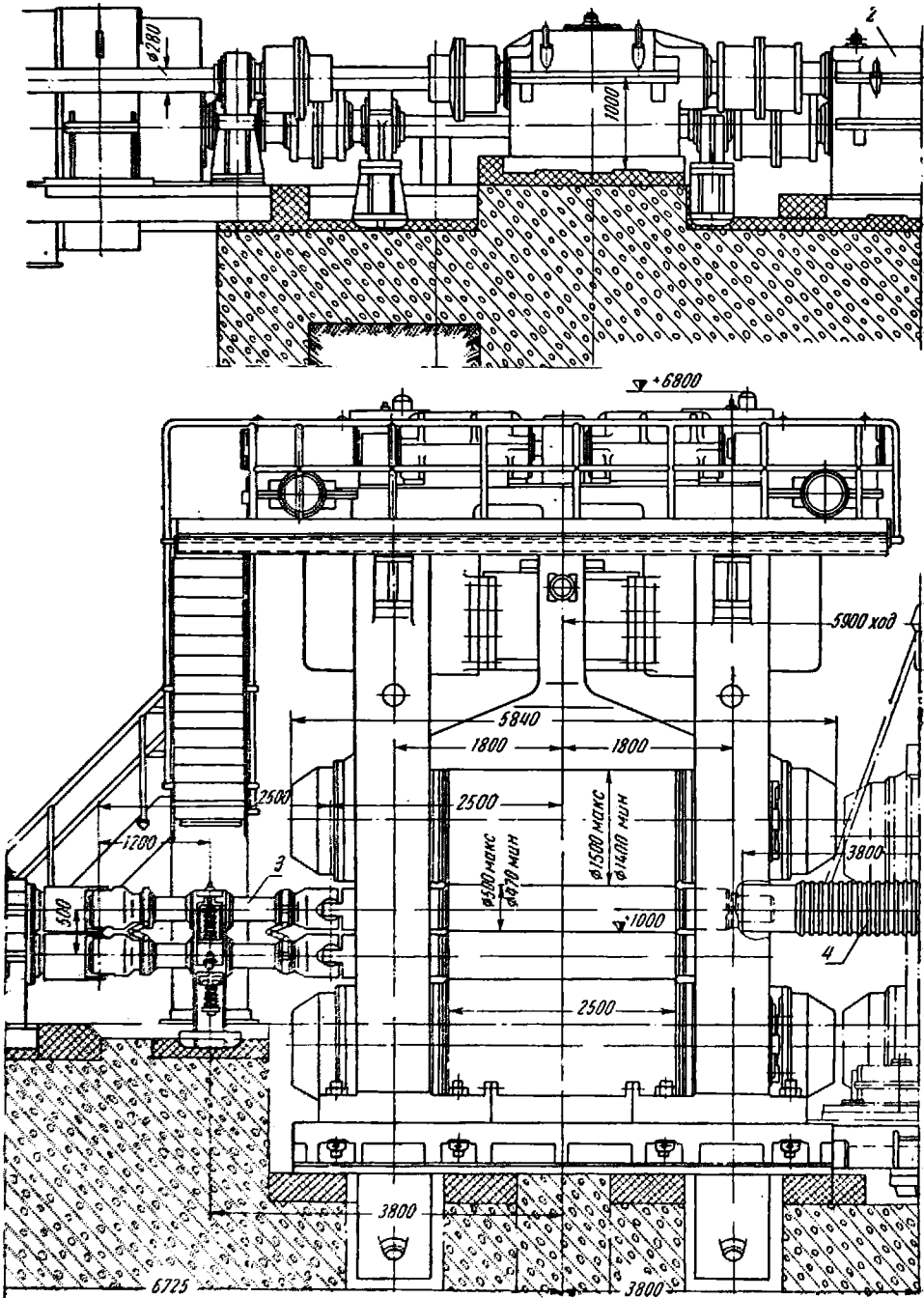


Рис. 272. Рабочая линия клетки кварто 500/1500×2500

родвигателей постоянного тока каждый мощностью 1800 квт через промежуточные валы, редукторы 2 и универсальные шпиндели 3. Рабочая клетка установлена на плитовинах на фундаменте. Смена рабочих валков с подушками осуществляется муфтой 4 (в качестве противовеса используют новый валок с подушками). Опорные валки заменяют комплектно при помощи тележки с реечным приводом.

В тонколистовых станах горячей и особенно холодной прокатки большое значение имеет не только прочность станин, но и их жесткость. Например, если в процессе прокатки давление на валки будет несколько изменяться (вследствие неравномерной толщины полосы по длине и т. д.), то при этом будет изменяться и упругая деформация станин. Если деформация будет большой, то это отразится на допуске по толщине готового листа. Поэтому при расчете таких станин на прочность необходимо одновременно сделать проверочный расчет на жесткость.

Деформацию растяжения от силы $Y/2$ стойки станины определяют по формуле [1. 4, 23].

$$f_1 = \frac{Yl_2}{2EF_2}. \quad (XI. 1)$$

где E — модуль упругости материала станины;

F_2 — площадь сечения стойки;

l_2 — длина нейтральной линии стойки станины.

Деформацию двух поперечин под действием изгибающих моментов определяют по формуле

$$f_2 = \frac{l_1^2}{4EI_1} \left(\frac{Yl_1}{6} - M_0 \right). \quad (XI. 2)$$

где I — момент инерции сечения поперечины;

l_1 — длина нейтральной линии поперечины;

M_0 — статически неопределимый реактивный момент в углах поперечин.

$$M_0 = \frac{Yl_1}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_1}{I_2}}.$$

Поперечины будут также деформироваться под действием поперечных (срезающих) сил. Эту деформацию определяют по формуле

$$f_3 = 1,2 \frac{Yl_1}{2GF_1}. \quad (XI. 3)$$

где G — модуль сдвига;

F_1 — площадь сечения поперечины.

Общая деформация станины в вертикальном направлении (по ее оси)

$$f = f_1 + f_2 + f_3. \quad (XI. 4)$$

Для станов холодной прокатки эта деформация не должна превышать 0,3—0,5 мм, для станов кварто горячей прокатки 0,5—1,0 мм.

Характерным для станов холодной прокатки является непрерывный рост скоростей прокатки и их производительности. Скорость прокатки в последней клетке непрерывных четырехклетевых станов достигает 20—25 м/сек.

Увеличение скоростей прокатки потребовало усовершенствования электроприводов и системы их управления. С повышением скоростей прокатки значительно возросла мощность электродвигателей станов холодной прокатки. Суммарная мощность электродвигателей непрерывных

четырёхклетевых станов 1700, 2000 и 2500 (с моталками) составляет соответственно 17800, 25000 и 30000 квт.

Перед заправкой в валки переднего конца полосы рулон цепным транспортером или по наклонному желобу направляется в разматыватель, установленный перед первой рабочей клетью стана.

Разматыватели широко применяют при холодной прокатке листовой стали. Они входят в состав агрегатов непрерывного травления, электролитической очистки, непрерывного отжига, лужения, разделки рулонов и др. Во всех случаях в состав разматывателя входят устройство для установки рулона в положение для разматывания и приспособление для отгибания переднего конца рулона и задачи его в подающие ролики.

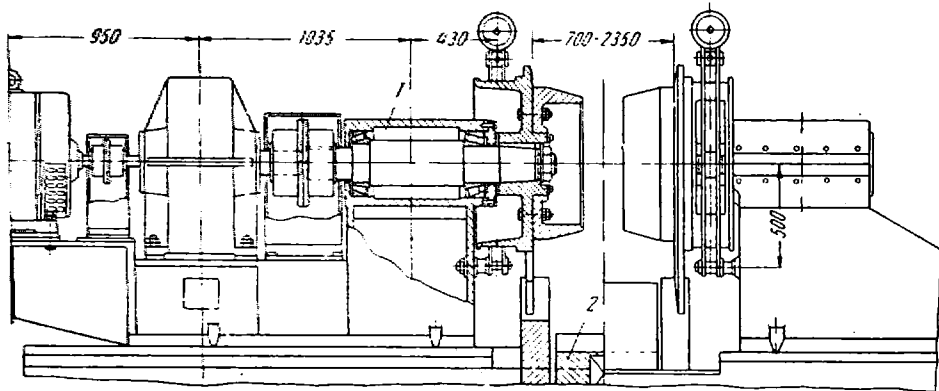


Рис. 273. Двухконусный разматыватель рулона

На рис. 273 показан двухконусный разматыватель конструкции УЗТМ, предназначенный для разматывания полосы толщиной 1,5—5 мм и шириной до 1500 мм со скоростью до 1 м/сек.

При помощи транспортера рулон подается к разматывателю, устанавливается на стол 2 и поднимается винтовым приводом до совмещения оси рулона с осью конусов. Затем при помощи другого винтового (в некоторых случаях гидравлического) привода левая 1 и правая (на рисунке не видно) бабки сближаются и конусы центрируют и зажимают рулон. Для создания натяжения полосы при разматывании рулона электродвигатель включен в сеть для работы в качестве генератора, т. е. он будет служить тормозом при разматывании полосы.

На многих станах кварто 1200 и 1700 конструкции УЗТМ применены двухконусные (двухголовчатые) разматыватели с цанговыми (расклинивающимися) головками.

Двухконусные разматыватели применяют при натяжении полосы не более 30 кн (3 тс). Большее натяжение осуществлять конусами (головками) практически невозможно, так как при этом сминаются и портятся торцы внутренних витков рулона.

После установки рулона в разматывателе необходимо отогнуть передний конец полосы и задать его в валки стана для дальнейшей прокатки.

На рис. 274 представлен магнитный отгибатель, установленный у двухконусного разматывателя перед непрерывным пятиклетевым станом 1200 холодной прокатки жести конструкции УЗТМ. Отгибатель состоит из собственно магнитного отгибателя 3 и правильно-тянущих роликов, из которых верхний 10 приводится от электродвигателя, а нижние ролики 9 и 7 холостые. Перед отгибанием переднего конца полосы

нижние ролики 9 и 7 опускаются при помощи шатунно-кривошипного привода 8, поворачиваясь вокруг оси 6 направляющего ролика 5. Электромагнит 4 закреплен на двух боковых рычагах 2, соединенных между собой распорными трубами 1 и поворачивающихся вокруг оси 11 при помощи боковых рычагов. Последние соединены с двумя гидравлическими цилиндрами, цапфы 12 которых шарнирно соединены с кронштейнами сбоку траверс 13. Поворачиваясь вокруг оси 11, электромагнит опускается до соприкосновения с рулоном, захватывает конец полосы, отгибает его и затем поднимает. После этого при помощи шатуна нижние ролики поднимаются и прижимают полосу к верхнему приводному ро-

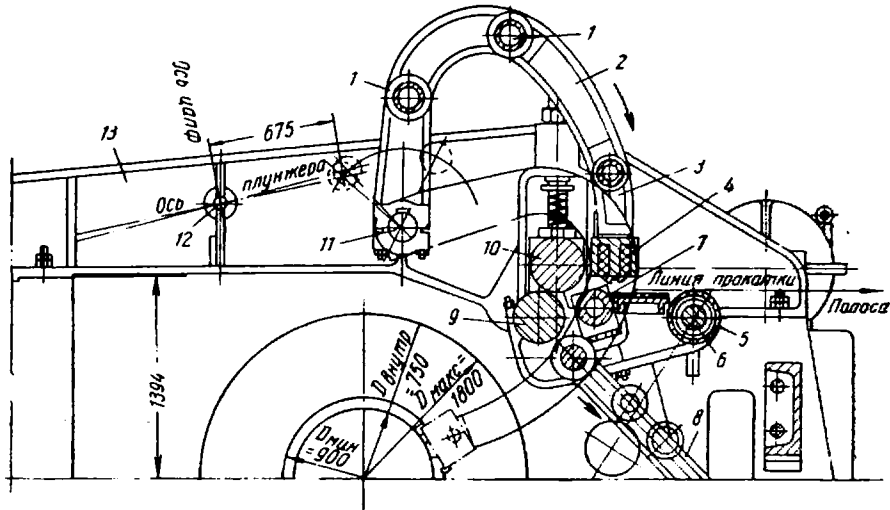


Рис. 274. Магнитный отгибатель конца полосы на рулоне

лику 10; при вращении последнего полоса разматывается с разматывателя, правится роликами (три ролика способны выправлять только одностороннюю кривизну полосы) и подается к стану для прокатки.

Разматыватели с магнитным отгибателем наиболее распространены, они удобны в работе и не требуют ручного труда. Однако при прокатке на стане немагнитных металлов (например, нержавеющей стали) приходится применять скребковые отгибатели.

Конструкция скребкового отгибателя весьма проста и надежна в эксплуатации; скребковые отгибатели подобного типа применены также на станах, прокатывающих немагнитные цветные металлы и сплавы (например, дюралюминий).

Для направления и задачи переднего конца полосы рулона и для правки размотанной полосы между роликами устанавливают проводковый стол. Он состоит из роликового стола с холостыми роликами и направляющих проводок.

Для наматывания прокатываемой полосы и создания натяжения станы холодной прокатки оборудованы моталками. На одноклетевых реверсивных станах моталки устанавливают с обеих сторон, на непрерывных станах устанавливают одну моталку за последней клетью.

Холодная прокатка полосы в рулонах осуществляется при постоянной скорости и неизменном натяжении полосы при входе ее в валки и выходе из них. Так как окружные скорости сматывания полосы с одной моталки и наматывания полосы на другую постоянны, диаметр рулона при прокатке на одной моталке уменьшается, а на другой увели-

чивается, и, следовательно, число оборотов в минуту этих моталок должно непрерывно изменяться: на одной увеличиваться, а на другой уменьшаться. При этом натяжение полосы на входе в валки и выходе из них должно оставаться постоянным. Эти весьма сложные условия ведения процесса прокатки требуют весьма точного и чувствительного электрического регулирования привода моталок.

На новых непрерывных высокоскоростных станах холодной прокатки применяют моталки с безредукторным приводом барабана непосредственно от электродвигателя со сложной электрической аппаратурой автоматического регулирования, обеспечивающей постоянство скорости наматывания и натяжения полосы. В процессе прокатки задняя моталка создает тормозящее действие при входе полосы в валки, т. е. создает заднее натяжение. При отдельном приводе электродвигатель моталки

будет работать в режиме генератора, т. е. будет отдавать энергию торможения задней моталки в сеть. Это является также преимуществом привода моталок от отдельных электродвигателей.

На рис. 275 показана конструкция барабана моталки непрерывного четырехклетового стана 2500 конструкции ВНИИМЕТМАШ. Зажим переднего конца полосы губками 1 и 2 и разжатие сегментов 6 и 4 осуществляются одним двусторонним концевым устройством, перемещаемым штоком 7. При этом верхний клин 3 зажимает полосу, а нижний клин 5 сводит или разводит сегменты 4 и 6. Благодаря этому уменьшается или увеличивается диаметр бара-

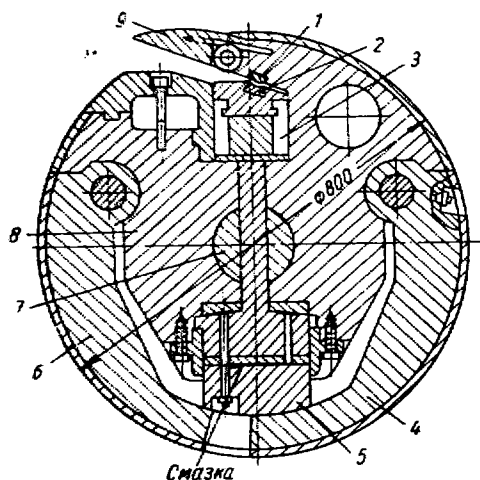


Рис. 275. Барабан моталки непрерывного четырехклетового стана 2500 конструкции ВНИИМЕТМАШ

бана. Козырек 9 предназначен для облегчения задачи переднего конца полосы в губки и закрытия щели при наматывании полосы на барабан моталки.

При наматывании рулона массой до 25 т и более с натяжением до 160 кн (16 тс) необходимо, чтобы приводной вал 8 барабана был очень прочным и отличался повышенной жесткостью. Для этого его поперечное сечение значительно увеличивают, используя пространство между сегментами 6 и 4.

Так как рулон полосы после прокатки снимается с моталки, конструкция ее барабана может быть только консольного типа, т. е. с двумя опорами только на одной стороне. Для уменьшения прогиба консольного вала и барабана моталки на широкополосных станах при большом натяжении применяют отводную опору. Она подводится к свободному концу вала моталки перед наматыванием на нее полосы и отводится в сторону при снятии рулона.

Моталки подобного типа, применяемые для разматывания, устанавливают в последнее время на непрерывных станах холодной прокатки и в конце непрерывных агрегатов травления. Перед надеванием рулона на барабан такого разматывателя диаметр барабана уменьшается, а

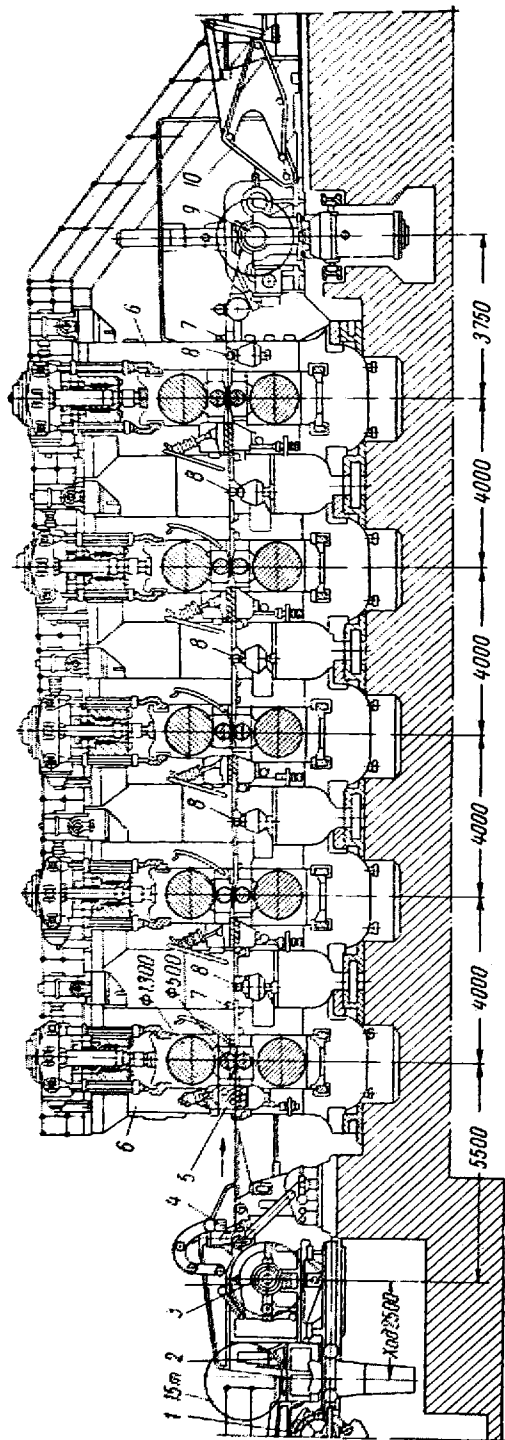


Рис. 277. Непрерывный пятиклетевой стан кварто 500/1300×1200 холодной прокатки жести конструкции УЗТМ

те 5, отжиг в колпаковых 9 или непрерывных печах 7 и 8, дрессировку на непрерывном двухклетевом стане 10, лужение на непрерывных агрегатах 11 и 12 электролитического лужения, лакировку на непрерывном агрегате 13, поперечную резку на агрегате 14 и продольную резку на агрегате 15.

Кроме того, в цехе имеются непрерывный агрегат горячего цинкования 6, агрегат 16 для непрерывного лужения карточек жести, линии упаковки 17, стан 18 для гофрирования оцинкованных листов, весы 19, передаточные тележки 20; машины 21 для сортировки карточек жести, гильотинные ножницы 22; линии перемотки и упаковки рулонов 23 и 24, пакетир-пресс 25 для отходов и т. д.

Рабочие клетки непрерывного шестиклетевого стана холодной прокатки жести имеют рабочие валки диаметром 530 мм и опорные диаметром 1350 мм, длину бочки 1200 мм. Скорость прокатки в последней клетки стана достигает 40 м/сек. Масса прокатываемого рулона достигает 27 т.

На рис. 277 представлен общий вид непрерывного пятиклетевого стана 1200, предназначенного для прокатки жести толщиной 0,15—0,60 мм и шириной до 1000 мм из горячекатаных рулонов с толщиной полосы 1,5—3,0 мм и массой до 28 т.

Стан состоит из пяти клеток кварто 6 и вспомогательного оборудования: цепного транспортера 1 для подачи рулонов, приемного подъемного стола 2, разматывателя 3 с магнитным

отгибателем конца рулона, правильно-тянущей машины $\frac{4}{2}$, проводкового стола 5, летучих микрометров 7, роликов для измерения натяжения полосы 8, моталки 9, снимателя рулонов и заправщика переднего конца полосы на барабан моталки 10.

На рис. 278 представлен общий вид рабочей линии клетки № 2 непрерывного пятиклетевого стана кварто 500/1300×1200 конструкции

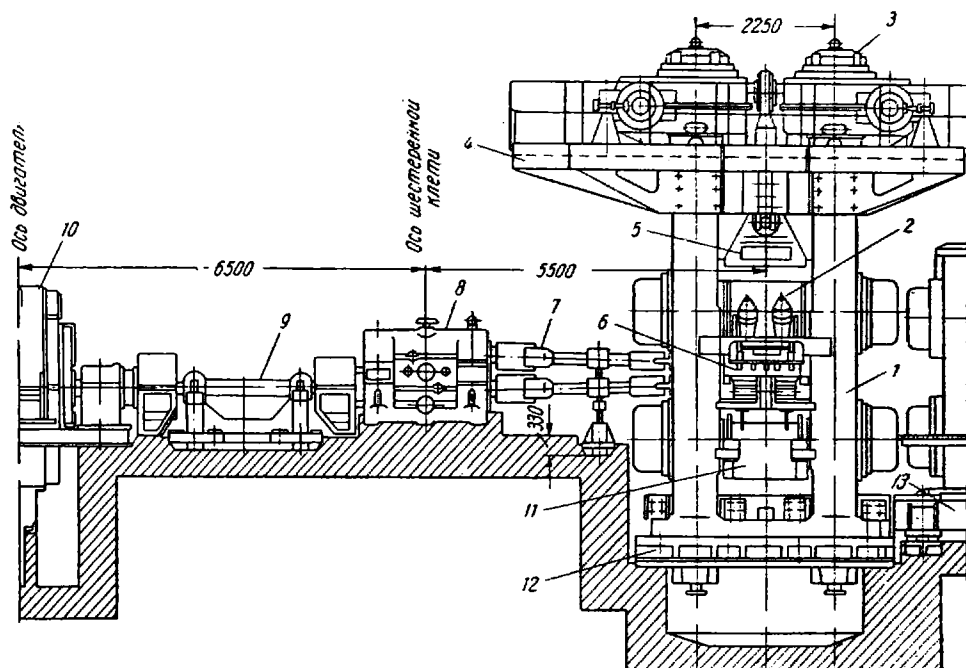


Рис. 278. Рабочая линия клетки кварто 500/1300×1200

УЗГМ для холодной прокатки жести толщиной 0,15—0,6 мм и шириной 1000 мм.

Рабочая клетка состоит из двух станин 1, рабочих и опорных валков с подушками 2, нажимного механизма 3, плоского проводкового стола 6, площадки нажимного устройства 4 и гидравлического устройства для уравновешивания верхнего опорного валка с подушками 5. Рабочие валки изготовлены из стали 9Х и установлены на роликовых подшипниках. Опорные валки изготовлены из стали ЭЗХНЗ и установлены на подшипниках жидкостного трения. Для большей устойчивости рабочие валки относительно опорных смещены на 6 мм (по направлению прокатки). Верхний рабочий валок всегда прижат к верхнему опорному валку при помощи гидравлических плунжеров в подушках рабочих валков. Нажимные винты приводятся от двух электродвигателей каждый мощностью 40 квт, соединенных электромагнитной муфтой, через две пары глобоидных червячных передач (к каждому винту) с общим передаточным числом 796, 25. Скорость перемещения нажимных винтов 7,3—14,6 мм/мин. Рабочие валки приводятся от электродвигателя 10 постоянного тока мощностью 3200 квт, 165/420 об/мин через промежуточный вал 9, шестеренную клетку 8 и универсальные шпиндели 7. Рабочая клетка 11 установлена на плитовинах 12 на фундаменте. Опорные валки заменяют комплектно при помощи тележки 13 с реечным приводом.

Для получения особо тонкой жести (0,10—0,15 мм), а также для

прокатки труднодеформируемых сталей (нержавеющей, кремнистой и др.) в цехах холодной прокатки устанавливают 20-валковые станы, которые прокатывают полосу, поступающую со станков кварто [I. 7; V. 11].

На рис. 279 показан общий вид 20-валкового реверсивного стана конструкции ВНИИМЕТМАШ и СКМЗ, предназначенного для холодной прокатки тонкой полосы из трансформаторной стали. Стан состоит из рабочей клетки и двух моталок. Массивная станина большой жесткости

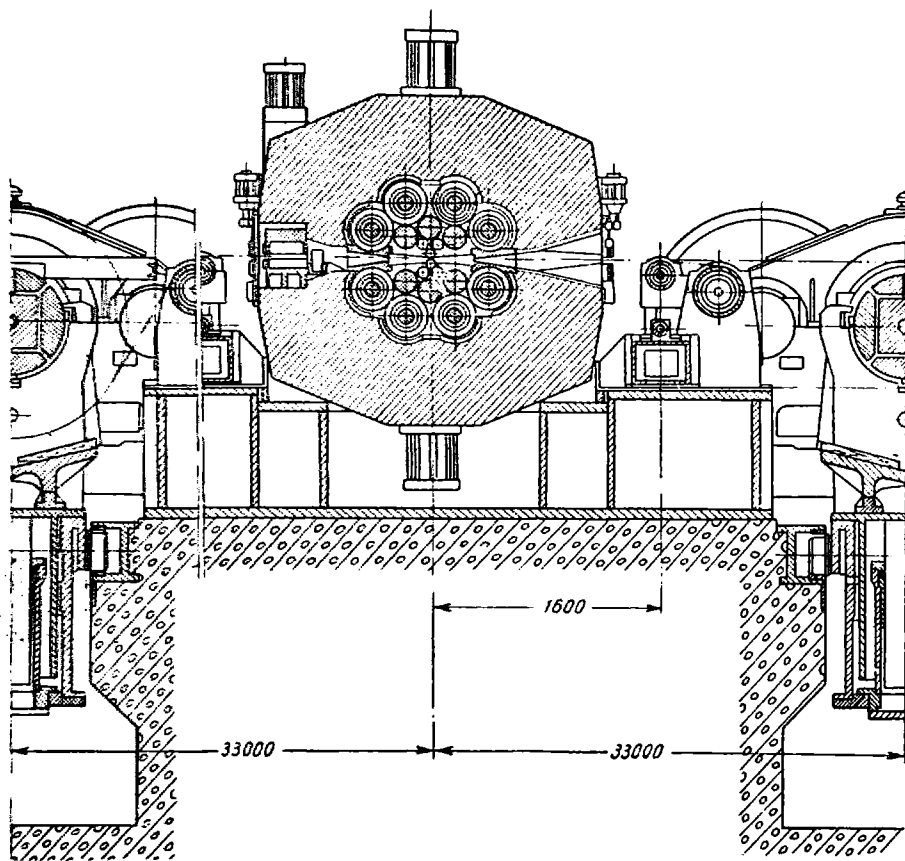


Рис. 279. Двадцативалковый стан 55×1200

отлита в виде одного моноблока из стали 35Л. В станине симметрично оси прокатки расположено 20 валков с длиной бочки 1200 мм: два рабочих неприводных валка диаметром 55 мм, изготовленных из высокопрочной хромовольфрамовой стали, твердость бочки 100—105 единиц по Шору; четыре (2×2) промежуточных опорных неприводных валка с диаметром 100 мм; шесть (2×3) промежуточных валков с диаметром 175 мм, из которых два верхних и два нижних являются приводными; 4×2=8 опорных осей, на каждой из которых шесть прецизионных роликовых подшипников диаметром 300 мм, шириной по 200 мм с четырехрядными цилиндрическими роликами (изготовлены по специальному заказу) [V. 9].

Четыре приводных промежуточных валка приводятся от двух электродвигателей постоянного тока каждый мощностью 1050 квт, 190/415 об/мин через комбинированный редуктор — шестеренную клеть и четыре универсальных шпинделя. Максимальный крутящий момент.

передаваемый одним шпинделем, равен 30 *кн·м* (3 *т·м*). Каждая моталка приводится от двух электродвигателей каждый мощностью 1000 *квт*, 190/480 *об/мин* через редуктор. Максимальное натяжение полосы равно 250 *кн* (25 *тс*). При прокатке узкой полосы с небольшим натяжением каждая моталка приводится одним двигателем (второй отключается при помощи расцепной зубчатой муфты). На стане прокатывают полосу толщиной 0,1—0,5 *мм*, шириной до 1000 *мм* из полосы толщиной 1—3,5 *мм*. Масса рулона достигает 15 *т*.

При прокатке масло подается в зону деформации металла через отверстия в проводках, а также на валки и в роликовые подшипники. Из рабочей клетки масло самотеком поступает в бак — отстойник циркуляционной системы. В качестве нажимного устройства используют привод эксцентриковых осей роликов (двух средних, верхних и двух нижних) от четырех гидравлических цилиндров (два вверху и два внизу) и зубчатых реек. Кроме того, в рабочей клетки предусмотрено устройство для регулирования профиля полосы в процессе прокатки изгибом крайней оси верхнего ряда роликов, установленной (как и все остальные оси) эксцентрично относительно своих опор. Можно также регулировать положение четырех опорных валков первого промежуточного ряда осевым перемещением этих валков (с небольшой конусностью по краям бочки). С обеих сторон рабочей клетки расположены ролики для измерения натяжения полосы. Скорость прокатки равна 3,5—7,6 *м/сек*; производительность стана составляет 10—20 *т/ч* в зависимости от толщины полосы и скорости прокатки.

Особенностью многовалковых станов холодной прокатки является применение большого натяжения полосы между моталками и рабочей клетью, поэтому мощность двигателя каждой моталки примерно достигает мощности двигателя рабочей клетки.

На многовалковых станах нержавеющей или другую труднодеформируемую сталь можно прокатывать с суммарным обжатием до 80—90% без промежуточной термической обработки. Благодаря высокой жесткости конструкции и точной регулировке зазора между валками на этих станах возможна прокатка тонких и тончайших лент толщиной до 2,0 *мм*. Прокатываемая полоса имеет точные размеры.

Двадцативалковые станы имеют меньшие размеры и массу, чем станы кварто, причем чем больше ширина прокатываемой полосы, тем больше эта разница.

**ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОДГОТОВКА
ИХ К ПРОКАТКЕ****1. СЛЯБЫ И СЛИТКИ И НАГРЕВ ИХ ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ**

Исходным материалом при прокатке листовой стали на современных металлургических заводах являются слябы, прокатываемые на слябингах и блюмингах. Листовые слитки применяют только при толстолистовой стали толщиной более 60 мм. Массу слитка в этом случае определяют исходя из размеров готового проката и расхода металла [1. 3, 7; V. 23].

Листовые слитки обычно плоские; они характеризуются отношением ширины к толщине, высоты к толщине или ширине и конусностью. При выборе толщины слитка следует принимать такое суммарное обжатие, которое обеспечивало бы получение необходимого качества листовой стали. На основании практических данных принимают минимальную толщину слитка, равную не меньше 15—20-кратной толщине готового листа. Конусность слитков должна быть минимальной.

Прокатка листовой стали из слябов более рациональна, так как при этом повышается качество листовой стали и снижаются отходы. Размеры и массу слябов при прокатке толстолистовой стали на станах линейного типа выбирают в зависимости от размера листов. Однако наиболее рациональными являются слябы, имеющие наименьшую толщину и наибольшую ширину. Благодаря этому число проходов уменьшается, что способствует значительному увеличению производительности стана. Длина слябов для прокатки на станах линейного типа часто ограничивается длиной бочки валков, так как слябы с длиной больше длины бочки валков не позволяют вести прокатку поперек для разбивки ширины листа.

Чем меньше толщина слябов, прокатываемых на непрерывных станах, тем меньше требуется клетей и, следовательно, тем меньше продолжительность прокатки. Однако одним из решающих факторов, влияющих на производительность непрерывного листового стана, является увеличение массы сляба. Последнее может быть достигнуто увеличением толщины, ширины и длины сляба.

Если разбивку ширины листа не производят, то длина сляба ограничивается допустимой температурой конца прокатки и допустимой разницей температур переднего и заднего концов полосы. На существующих непрерывных станах длина слябов может ограничиваться размерами нагревательных печей, скоростью прокатки, расстоянием между черновыми клетями и др. Наибольшая длина слябов в настоящее время достигает 10—12 м.

При выборе размеров слябов необходимо учитывать также условия работы блюминга или слябинга на данном заводе. Современные блюминги с большой высотой подъема верхнего валка прокатывают слябы

толщиной 120—300 мм и шириной до 1600 мм, а современные слябинги с валками диаметром 1150—1200 мм прокатывают слябы толщиной 120—300 мм и шириной до 2000 мм.

Слябы являются исходным материалом и при прокатке универсальной стали. Ширину слябов в этом случае принимают больше полосы на

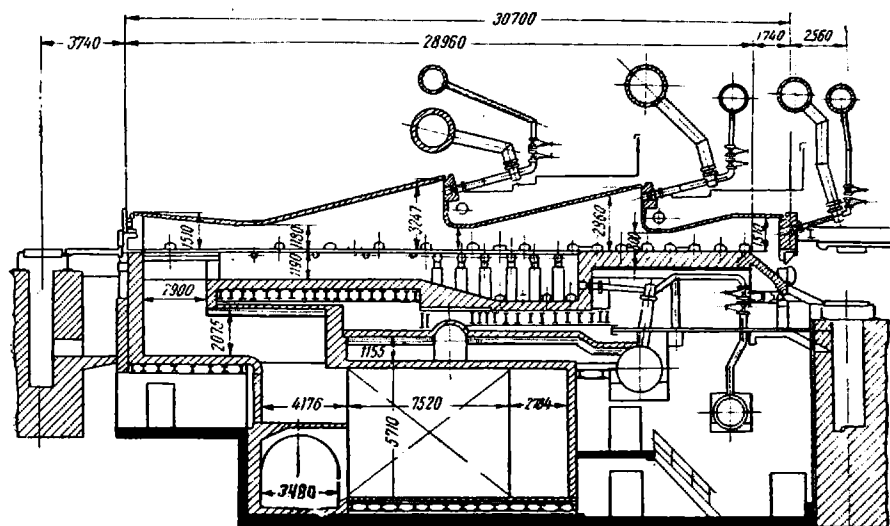


Рис. 280. Методическая печь непрерывного листового стана 1700

20—50 мм. Толщину и длину слябов определяют исходя из длины прокатываемой полосы. Так как универсальную сталь прокатывают на одно-клетевых универсальных станах, то, следовательно, чем меньше толщина сляба, тем меньше число проходов.

Нагрев слябов осуществляют в методических четырех- и пятизонных печах с торцовой посадкой и выдачей. На рис. 280 показана четырехзонная рекуперативная печь с подогревом воздуха в керамических рекуператорах до 850 °С и газа в металлических рекуператорах до 350—450 °С. Наибольшие размеры таких печей: длина до 32 м и ширина до 10 м. Топливом является смесь доменного и коксового газов или природный газ. Часовая производительность печей при холодном всаде достигает 150 т, а при горячем всаде 250 т.

Нагревательные печи для нагрева слябов оборудованы загрузочным рольгангом и речными толкателями. Нагретые слябы от печи к стану поступают по подводющему рольгангу. При горячей прокатке листовой стали происходит значительное снижение температуры. Чтобы закончить прокатку при необходимой температуре, слябы следует нагревать до максимально допустимой температуры. Лимитирующими факторами в этих случаях могут быть рост зерна, явления перегрева и пережога и окисление металла. Нагревать до возможно высокой температуры нужно потому, что при этом значительно снижается сопротивление деформации.

Температура нагрева слябов зависит от химического состава стали и составляет 1150—1280 °С. Продолжительность нагрева зависит от толщины слябов, химического состава стали и температуры при их посадке.

При прокатке листовой стали на непрерывных станах широко применяют горячий всад слябов в нагревательные печи. В этом случае сля-

бы, прошедшие машину огневой зачистки и резку на ножницах, поступают в нагревательные печи. На склад поступает небольшое количество слябов, которые после охлаждения и осмотра проходят зачистку и после этого поступают в нагревательные печи. При хорошей организации работы количество горячих слябов достигает 85%. Благодаря этому значительно сокращается площадь склада слябов, увеличивается производительность нагревательных печей и снижается расход топлива.

2. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ К ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Основными операциями технологического процесса прокатки углеродистой листовой стали являются: травление горячекатаных рулонов, холодная прокатка, отделка и термическая обработка.

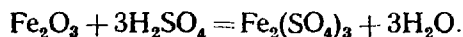
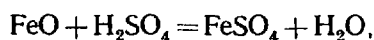
Исходным материалом для холодной прокатки углеродистой листовой стали являются горячекатаные рулоны, поступающие главным образом с непрерывных листовых станов горячей прокатки. Из цеха горячей прокатки эти рулоны подземным транспортером передают на склад травильного отделения цеха холодной прокатки.

Горячекатаные рулоны углеродистой листовой стали в цехе холодной прокатки не подвергают никакой смягчающей термической обработке. Поэтому первой операцией технологического процесса холодной прокатки этой стали является травление рулонов для очистки поверхности от окалины.

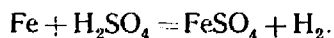
С поверхности горячекатаных рулонов окалину удаляют для того, чтобы она не вдавливалась при холодной прокатке, чтобы уменьшить износ валков и обеспечить чистую поверхность листовой стали, подвергающейся различным покрытиям (лужению, цинкованию и др.).

Окалина углеродистых сталей состоит из трех слоев. Нижний слой состоит из закиси железа FeO и является наиболее толстым; толщина его достигает 80% общей толщины слоя окалины. Промежуточный слой является более тонким и состоит из магнитной окиси железа Fe_3O_4 , а еще более тонкий наружный слой — из окисла железа Fe_2O_3 .

Травление углеродистой стали осуществляется преимущественно в растворе серной кислоты. При этом протекают следующие реакции [V. 12]:



Однако, как показывает практика травления, только часть окалины растворяется в кислоте, остальная часть ее осаждается на дно травильной ванны в виде шлама. Последнему способствует водород, выделяющийся при взаимодействии кислоты с чистым железом, находящимся в окалине, по реакции



При выделении водорода достаточно разрыхленные слои окалины механически отделяются и падают на дно травильных ванн. Кроме того, выделяющийся водород восстанавливает окислы Fe_2O_3 и Fe_3O_4 до закиси FeO и этим также помогает травлению. Скорость травления в растворе серной кислоты с повышением ее концентрации увеличивается и достигает максимальной при концентрации 25% H_2SO_4 . Однако на практике во избежание сильного разъедания металла применяют травильные растворы с концентрацией не выше 20--22% H_2SO_4 .

Скорость травления значительно возрастает с повышением температуры травильного раствора. Например, по данным практики, при повышении температуры травильного раствора серной кислоты на 15 град скорость травления увеличивается примерно в два раза. Поэтому раствор серной кислоты нагревают до 80—90 °С. Скорость травления зависит также от насыщенности травильного раствора железным купоросом, растворимость которого также увеличивается с повышением температуры травильного раствора и уменьшается с понижением концентрации кислоты в нем. Поэтому при содержании железного купороса, близком к концентрации насыщения, и понижении концентрации кислоты в рас-

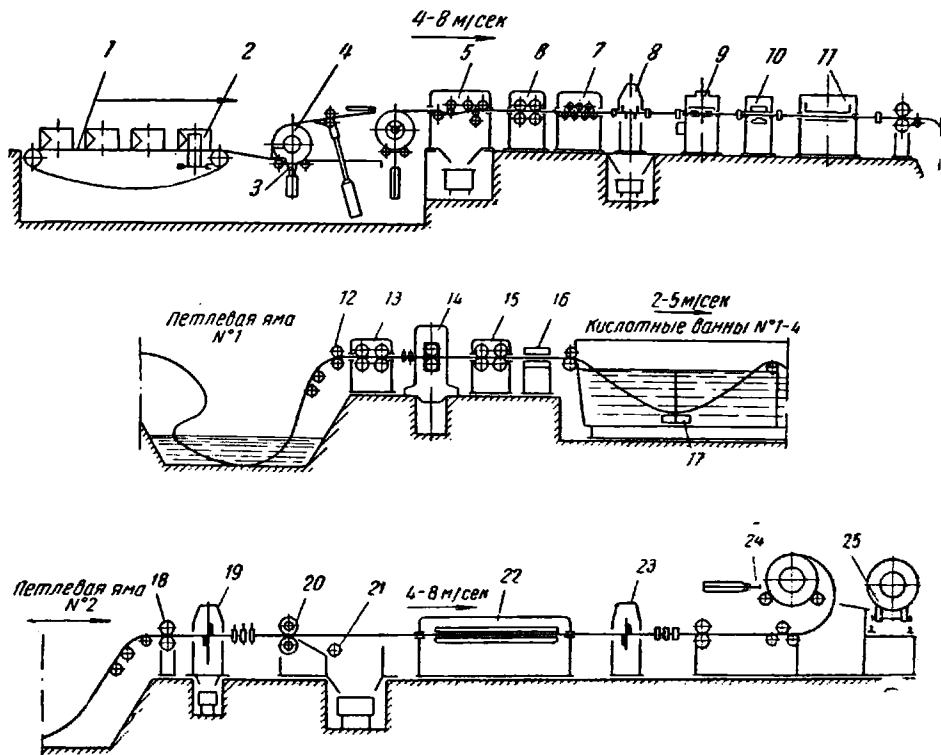


Рис. 281. Схема непрерывного травильного агрегата

творе до определенной величины раствор сливают из ванны и заменяют новым. Скорость травления зависит также от вида окалины и предварительной деформации металла, при которой происходит взрывление окалины.

Выделение водорода при травлении может происходить не только вследствие взаимодействия кислоты с чистым железом, находящимся в окалине, но и вследствие взаимодействия кислоты и металла. Этот процесс требует дополнительного расхода кислоты. При этом получают потери и неравномерное травление металла, а также травильная хрупкость вследствие диффузии в металл водорода, накопление которого под поверхностным слоем может способствовать образованию травильных пузырей.

Для уменьшения расхода кислоты и предотвращения растворения кислотой металла применяют присадки или регуляторы травления, которые незначительно влияют на растворимость окалины и замедляют

процесс растворения металла. Такое действие регуляторов травления объясняется тем, что они, адсорбируясь на поверхности металла, создают пленку, которая защищает его от растворения. Кроме того, они содержат вещества, вызывающие образование пены на поверхности травильного раствора, которая уменьшает испарение последнего и этим

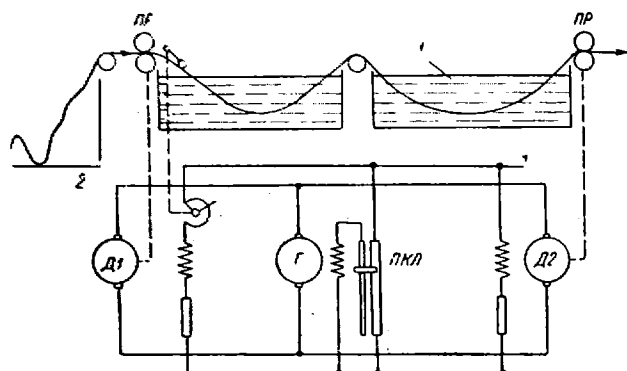


Рис. 282. Схема автоматизации непрерывных травильных агрегатов

улучшает санитарно-гигиенические условия труда в травильном отделении цеха.

Травление углеродистой листовой стали осуществляется в машинах периодического и непрерывного действия. В современных цехах холодной прокатки травление осуществляют в растворе серной кислоты в непрерывных агрегатах, установленных обычно в травильном отделении цеха.

Непрерывный способ травления листовой стали обеспечивает максимальную механизацию и автоматизацию, высокую производительность, минимальный расход кислоты и наиболее благоприятные условия труда.

На рис. 281 показана схема непрерывного травильного агрегата для травления углеродистой листовой стали. Горячекатаные рулоны со склада при помощи магнитного крана устанавливаются на транспортер 1, который подает их к кантователю 2. После кантовки очередной рулон укладывается на подъемный стол 3 двухпозиционного разматывателя 4. При помощи скребкового отгибателя передний конец на рулоне отгибается и поступает в окалиноломатель 5 и в тянущие ролики 6. Окалиноломатель осуществляет грубую ломку окалины вследствие двойного изгиба полосы вокруг роликов небольшого диаметра. В результате этого часть окалины отваливается, а в окалине, оставшейся на полосе, образуются мелкие трещины, в которые легко проникает травильный раствор. Далее полоса правится на правильной машине 7 и поступает к двоянным гильотинным ножницам 8 с нижним резом, где производится обрезка обоих концов каждого рулона (вторые ножи по движению полосы отрезают передний конец, а первые — задний конец полосы). Для обеспечения непрерывного процесса травления задний конец полосы предыдущего рулона в стыкосварочной машине 9 сваривается с передним концом полосы последующего рулона.

Электросварка концов рулонов в стык обеспечивает не только непрерывность процесса травления, но и позволяет также увеличить массу рулона, что значительно повышает производительность станов холодной

ной прокатки и отделочных агрегатов. Зачистка сварных швов осуществляется ножами гратоснимателя 10, установленного за сварочной машиной. В тех случаях, когда на стане холодной прокатки прокатывают стали, которые плохо свариваются, тогда за сварочной машиной (после гратоснимателя) устанавливают шивную машину 11 для сшивки концов полос таких сталей. Шивной шов не прокатывают. Так как шов придется вырезать, отходы металла увеличиваются.

При обрезке заднего конца предыдущего рулона и сварке его с передним концом последующего необходимо на время этих операций останавливать движение полос. Чтобы не останавливать движение полосы в травильных ваннах, перед ними предусматривают петлевую яму (с горячей водой для размягчения окалины), в которой создается необходимый запас полосы, обеспечивающий непрерывную работу этих ванн.

На новых станах величина петли полосы в ямах 2 (рис. 282) контролируется автоматически при помощи фотоэлементов и осветителей. При уменьшении числа петель в яме фотоэлементы поочередно засвечиваются осветителями; импульсы фотоэлементов дают команду на уменьшение скорости движения полосы через травильные ванны 1 и увеличение скорости разматывания рулона.

Ломка окалины перед травлением имеет большое значение, так как увеличивает производительность травильного агрегата и сокращает расход кислоты на травление. Далее полоса промывается струями горячей воды под давлением 1—1,2 Мн/м² (10—12 ат), подаваемой через сопла 12 (см. рис. 281), и тянущими роликами 13 подается в дрессировочную клеть 14 (дуо или кварто). При натяжении полосы роликами 13 и 15 и обжатию ее на 3—8% в дрессировочной клетке, выполняющей роль второго окалиноломателя, осуществляется дополнительное разрушение окалины для ускорения процесса химического травления в ваннах с раствором серной кислоты. Кроме того, дрессировочная клетка устраняет изломы полосы, образовавшиеся при разматывании рулона и прохождении через окалиноломатель, а также упрочняет полосу, что уменьшает возможность образования новых изломов при сматывании ее в рулон после травления.

Перед поступлением в травильную ванну полосу подогревают для ускорения травления в индукционной установке 16. Обычно в состав травильных агрегатов входят четыре ванны с кислотным раствором каждая длиной 20—25 м.

Чтобы не останавливать непрерывный агрегат при необходимости смены отработавшего кислотного раствора, применяют каскадный способ обновления раствора. В этом случае вместо четырех отдельных травильных ванн устанавливается одна травильная ванна длиной около 100 м, состоящая из четырех секций. Свежий раствор серной кислоты (концентрация 20—22%) непрерывно поступает в четвертую (по движению полосы) секцию. Из этой секции раствор пониженной концентрации непрерывно переливается через перегородку в третью ванну, затем из третьей во вторую и из второй в первую. Из первой секции отработавший раствор (концентрация кислоты примерно 10%) непрерывно сливают в купоросную установку для регенерации. Поступление свежего раствора автоматически регулируется в зависимости от заданной производительности агрегата.

Каскадный способ обновления кислотного раствора улучшает качество травления, повышает производительность агрегата, так как в течение всего периода травления концентрация травильного раствора остается постоянной.

Для поддержания высокой активности температура кислотного раствора достигает 90—100 °С. Для подогрева травильного раствора все больше применяют газовые горелки, устанавливаемые в специальной камере, соединенной с травильной ванной отверстиями.

Положение полосы в травильной ванне (прогиб полосы) контролируется при помощи индукционного регулятора 17 или при помощи «танцующего» ролика 3 (см. рис. 282). Рычаг этого ролика связан с ползунком реостата, изменяющего ток возбуждения двигателя Д1 подающих роликов ПР.

Перед поступлением в промывочные ванны полоса проходит через отжимные ролики, предназначенные для уменьшения уноса травильного раствора.

Из четвертой кислотной ванны полоса поступает для промывки в ванну с холодной водой и в ванну с горячей водой. При помощи сопел водой под давлением 1—1,2 Мн/м² (10—12 ат) с полосы смываются остатки кислотного раствора и окалины. С этой же целью в ванне иногда устанавливают электрозвуковые вибраторы. Во второй ванне полоса промывается в воде с температурой 85—95 °С. После промывки полоса проходит сушильное устройство, где сушится горячим воздухом, и тянущими роликами подается во вторую петлевою яму.

Из последней полоса вытягивается роликами 18 (см. рис. 281) и подается к гильотинным ножницам 19 для вырезки мест сшивки и разрезки полосы. Боковые кромки полосы обрезаются дисковыми ножницами 20 и разрезаются на мелкие куски кромкокрошителем 21. В установке электростатического промасливания 22 на полосу наносится тонкий (1—2 мкм) слой масла (для предотвращения от коррозии при хранении протравленных рулонов на складе перед станом холодной прокатки). Рядом устанавливают обычные промасливающие ролики на случай выхода установки из строя.

В моталке 24 (сверточной машине) полоса сворачивается в рулон требуемой массы (15—35 т и более), после чего разрезается ножницами 25. Рулон стелится на транспортер 25, при помощи которого рулоны поступают на склад стана холодной прокатки или в отделение горячекатаных рулонов (если оно имеется), где они могут подвергаться разделке на листы и продольной резке.

Скорость непрерывного движения полосы через травильные ванны равна 3—5 м/сек; скорость полосы на головном и хвостовом участках линий должна быть больше указанной, так как здесь необходимы периодические остановки для сварки концов двух полос, вырезки мест сшивки и разрезки полосы.

Травильные отделения современных прокатных цехов оборудованы установками для утилизации отработанных травильных растворов.

Для извлечения железного купороса из отработанного травильного раствора применяют вакуум-кристаллизаторы или холодильные установки. Процесс выделения основан на понижении растворимости железного купороса с понижением температуры и с понижением концентрации серной кислоты. В первом случае понижение температуры достигается созданием вакуума в последовательно соединенных аппаратах-кристаллизаторах. Охлаждение раствора в этих кристаллизаторах происходит за счет испарения воды. Во втором случае отработанный травильный раствор из приемника перекачивают центробежными насосами в охлаждающую систему. Последняя состоит из двух резервуаров с водяным охлаждением, оборудованных мешалками, вращающимися с большой скоростью, и двух кристаллизаторов, в которых раствор охлаждают с помощью аммиачной холодильной машины. Закристаллизовавшийся рас-

твор-пульпа подается в непрерывно действующую центрифугу, где происходит отделение железного купороса от маточного раствора.

Оборудование травильного отделения подобными установками целесообразно, так как при этом не требуется нейтрализации растворов перед сбросом их в канализационную систему.

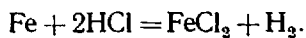
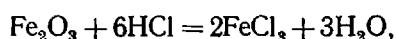
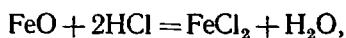
До последнего времени для травления углеродистой листовой стали раствор соляной кислоты применяли редко. Это объяснялось меньшим расходом серной кислоты и лучшей ее способностью удалять окалину. Кроме того, серная кислота производится высокой концентрации (94—96%); транспортировать ее можно в цистернах, а хранить в железных емкостях. Однако на зарубежных заводах (особенно в США) получает распространение травление углеродистой листовой стали в непрерывных агрегатах башенного типа в растворе соляной кислоты.

Первый непрерывный травильный агрегат башенного типа был построен в 1959 г. В настоящее время в эксплуатации находится значительное число таких агрегатов.

При непрерывном травлении в агрегате башенного типа полоса проходит через закрытую башню, состоящую из нескольких секций, связанных друг с другом и хорошо изолированных от атмосферы. При движении полосы по этим секциям она обрызгивается с обеих сторон соляной кислотой, которая с большой скоростью непрерывно течет по полосе и взаимодействует с окалиной. Хорошо изолированная закрытая башня позволяет работать с повышенной температурой и концентрацией кислоты, что сокращает продолжительность травления.

Вертикальное строение башни позволяет образовывать петлю непосредственно в башне вместо отдельной петлевой ямы. Механическое оборудование для транспортировки полосы при входе в агрегат и выходе из него соответствует оборудованию горизонтального непрерывного травильного агрегата.

При травлении углеродистой листовой стали в растворе соляной кислоты протекают следующие реакции:



Из общего количества отделенной окалины в соляной кислоте растворяется примерно 40%, остальное количество удаляется механически в виде шлама. Основной металл при травлении в соляной кислоте растворяется меньше, чем при травлении в серной кислоте. При травлении в соляной кислоте значительно меньше выделяется водорода. В связи с этим поглощение водорода металлом, а следовательно, и травильная хрупкость листовой стали уменьшаются до минимума.

К преимуществам травления соляной кислотой по сравнению с травлением серной кислотой следует также отнести более редкие случаи перетравливания листовой стали и более длительное сохранение травильным раствором травящей способности. Соли железа, образующиеся при травлении в соляной кислоте, растворяются в течение всего процесса травления и промывки. Все это улучшает качество поверхности полосы, что особенно важно при травлении листовой стали, подвергающейся лужению, цинкованию и другим покрытиям.

Эти преимущества травления листовой стали в растворе соляной кислоты были известны давно, но ее не применяли широко из-за высокой стоимости кислоты, выделения паров кислоты в атмосферу цеха и отсутствия возможности регенерации кислоты.

В настоящее время осуществляется полная регенерация соляной кислоты. Совместная работа непрерывного травильного агрегата башенного типа с установкой регенерации обеспечивает замкнутый кругоборот кислоты.

Хлористое железо, образующееся в процессе травления, при регенерации разлагается на окись железа и соляную кислоту. Причем соляная кислота, свободная от окиси железа, поступает в кругоборот кислоты. Образующаяся при регенерации окись железа может быть использована. Концентрация и температура кислоты постоянные, что обеспечивает одинаковые условия травления. Расход кислоты уменьшается до минимума. Полная регенерация раствора позволяет уменьшить стоимость внецеховых сооружений по обезвреживанию и обработке кислотных стоков. В связи с намеченным увеличением производства соляной кислоты в ближайшие годы ее стоимость будет снижена, а стоимость травления в ней по сравнению со стоимостью травления в серной кислоте будет ниже.

В последние годы применяют механическое удаление окалины с поверхности горячекатаной листовой стали при помощи дробеметных и дробеструйных установок. Процесс механического удаления заключается в том, что на поверхность металла выбрасывается дробь, под ударами которой окалина разрыхляется и отваливается.

Для очистки горячекатаной листовой стали применяют дробь из чугуна, стального литья и стальной проволоки. Окружная скорость дробеметных колес с лопастями составляет 60—75 м/сек. Дробь к колесам поступает из бункера; при ходе с лопастей колеса дробь обладает высокой кинетической энергией. Ударяясь в полосу, дробь разрыхляет и разбивает окалину. Упавшая на дно камеры дробь возвращается ковшевым транспортером в бункер.

Механическую очистку применяют вместо травления горячекатаной листовой стали. Эта очистка может быть предусмотрена в агрегате разделки рулонов и в агрегате травления при очистке сталей, окалина которых имеет высокую твердость.

Превыми операциями технологического процесса производства холоднокатаной нержавеющей листовой стали являются смягчающая термическая обработка и травление горячекатаных рулонов. Горячекатаные рулоны нержавеющей стали мартенситного, ферритного и мартенсито-ферритного классов подвергают отжигу обычно в колпаковых печах.

Горячекатаные рулоны нержавеющей стали аустенитного и аустенито-мартенситного классов подвергают закалке. В современных цехах холодной прокатки закалка этих сталей осуществляется в одном непрерывном закалочном-травильном агрегате, что позволяет уменьшить стоимость оборудования для размотки и смотки рулонов, уменьшить число рабочих, обслуживающих агрегаты, и др.

На рис. 283 показана схема закалочного-травильного агрегата. Горячекатаный рулон поступает к разматывателю конусного типа. После установки рулона на конусах разматывателя конец его отгибается и задается в роликковую правильную машину. Так как нержавеющая сталь аустенитного класса немагнитна, отгибание конца рулона и задача его в правильную машину осуществляется устройством, оборудованным скребком или пневматическим захватом.

После правки полоса проходит окалиноломатель, затем передний конец ее обрезается на ножницах и сваривается на сварочной машине с задним концом предыдущего рулона. Далее полоса проходит устройство для очистки от грязи и масла и поступает в проходную нагревательную печь для нагрева перед закалкой до температуры в пределах 1050—1150 °С. Нагрев полосы ведется в окислительной атмосфере для получения равномерного слоя окалины и легкого ее стравливания.

По выходе из печи полоса закаливается водой, что обеспечивает полное растворение карбидов в аустените и получение гомогенного

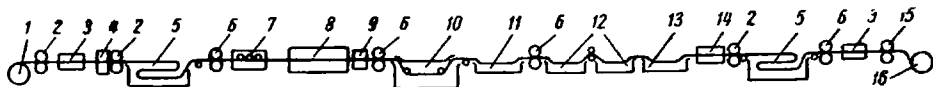


Рис. 283. Схема непрерывного закалочного-травильного агрегата:

1 — размотчик; 2 — правильная машина; 3 — ролик; 4 — ножницы и сварочная машина; 5 — петлевые ямы; 6 — тянущие ролики; 7 — устройство для чистки полосы; 8 — нагревательная печь; 9 — камера охлаждения; 10 — ванна-печь щелочного или гидридного травления; 11 — устройство для промывки; 12 — ванны кислотного травления; 13 — устройство для холодной и горячей промывки; 14 — сушильное устройство; 15 — натяжное устройство; 16 — моталка

твердого раствора аустенита. После закалки полоса проходит травление на оборудовании, установленном за проходной печью.

Удаление окалины с поверхности нержавеющей листовой стали осуществляют кислотным, щелочно-кислотным, гидридным и электролитическим травлением. Наличие в окалине окиси хрома Cr_2O_3 и шпинели $FeO \cdot Cr_2O_3$ требует применения более концентрированных растворов, чем для травления углеродистой стали.

Для травления горячекатаных рулонов нержавеющей стали в непрерывных травильных агрегатах применяют раствор серной кислоты с добавкой поваренной соли и натриевой селитры. В отбеливающей ванне раствор состоит из азотной и серной кислоты.

Известны также и другие способы кислотного травления нержавеющей стали. Однако все способы кислотного травления имеют небольшую производительность и не обеспечивают равномерного удаления окалины и получения чистой поверхности металла. Все это приводит к значительным потерям металла и к высокому расходу кислоты.

Способ удаления окалины с поверхности нержавеющей стали щелочно-кислотным травлением широко распространен. При этом способе полоса сначала проходит щелочное травление, а затем кислотное. Щелочное травление происходит в расплаве 75—80% $NaOH$ и 20—25% $NaNO_3$ при 450—550 °С. В этом случае окись хрома Cr_2O_3 и шпинель $FeO \cdot Cr_2O_3$, реагируя со щелочью и селитрой, образуют легко растворимый хромат натрия Na_2CrO_4 , который поглощается щелочной ванной, а также частично переносится с металлом в воду, где растворяется. Низшие окислы железа удаляются в расплаве селитрой до высших окислов, которые легче удаляются. Таким образом, находящаяся в расплаве окалина вследствие объемных и структурных изменений разрушается и частично отскакивает, оседая в виде шлама на дно ванны.

После обработки в расплаве щелочи полоса поступает в ванну для промывки водой. На выходе полосы из щелочной ванны устроена щель, при прохождении через которую полоса обдувается воздухом, нагретым до температуры примерно 400 °С. Далее установлен обогреваемый электродом ролик.

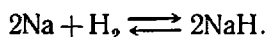
Обогрев полосы на выходе из ванны предназначен для повышения жидкотекучести расплава щелочи, оставшейся на полосе, который стекает в ванну и этим уменьшает унос расплава из ванны.

После промывки полосы в ванне с горячей водой на полосе остается черный или коричневый налет, представляющий собой в основном окислы железа и никеля, которые не растворяются в щелочном расплаве, но легко растворимы в кислотах, применяемых после щелочного травления. Поэтому после промывки полосы водой она поступает в ванну для травления в растворе серной кислоты с добавкой поваренной соли, где и растворяются окислы железа и никеля, оставшиеся на полосе после щелочного травления. Кислотный раствор подогревают до 80—90 °С.

Из кислотной ванны полоса поступает в ванну для промывки водой, в которой установлены щетки для чистки и мойки, а затем поступает в ванну, где происходит отбеливание и пассивирование в 6—8%-ном растворе HNO_3 , подогретом до 45—50 °С. После этого полоса проходит моечно-сушильное устройство.

Скорость прохождения полосы в непрерывном закалочно-травильном агрегате зависит от толщины полосы и обычно выбирается, исходя из продолжительности пребывания ее в нагревательной печи, которая является узким местом в работе агрегата. На заводах с большим объемом производства нержавеющей листовой стали устанавливают отдельные агрегаты для обработки горячекатаных и холоднокатаных рулонов, что позволяет применять специальные методы травления.

Обработка полосы в щелочи может осуществляться также гидридным методом травления. Этот метод заключается в восстановлении окалины с помощью гидрида натрия, обладающего сильной восстановительной способностью и легко растворяющегося в расплавленной щелочи. Гидрид натрия образуется в результате непосредственного взаимодействия металлического натрия и газообразного водорода по реакции



Реакция происходит в ванне с расплавленным едким натром при 370—450 °С. В ванне с расплавом, состоящим из 76—78% NaOH и 1,5—2% NaH , окислы окалины восстанавливаются до металла или в случае кислотных окислов до более низкого окисла. Восстановленная окалина слабо держится на поверхности полосы и легко удаляется в растворах кислот.

Как и при щелочном травлении, полоса после гидридного травления промывается водой, травится в растворе серной кислоты, а затем поступает в ванну с азотной и плавиковой кислотой. Далее полоса промывается струями воды, сушится и сматывается в рулон.

Одним из преимуществ гидридного метода травления являются значительно меньшие потери металла, так как гидрид натрия не разрушает металл, а реагирует только с окалиной. Недостатком этого метода является дороговизна и дефицитность металлического натрия, а также опасность работы с водородом.

В состав непрерывного закалочно-травильного агрегата входят дисковые ножницы с кромкокрошителями для обрезки боковых кромок рулонов, имеющих трещины. Если эти кромки не обрезать, то при холодной прокатке трещины могут углубиться, что приведет к увеличению обреза.

К подготовительным операциям перед холодной прокаткой нержавеющей стали относят обрезку боковых кромок и шлифовку горячекатаных рулонов. Обрезать боковые кромки можно также на дисковых нож-

ницах, установленных в линии специального агрегата, в состав которого входит электросварочная машина для сварки концов рулонов с целью увеличения их массы. В состав такого агрегата входят также разматывающие и сматывающие устройства. Если холодная прокатка нержавеющей стали осуществляется на реверсивных одноклетевых станах, то электросварочная машина этого агрегата используется для приварки к концам рулонов полос длиной 4—5 м, которые не участвуют в процессе прокатки. После прокатки эти полосы (концы) отрезают и используют для других рулонов.

Горячекатаные рулоны шлифуют для удаления поверхностных дефектов: плен, риск и т. п. Шлифовку осуществляют на агрегатах, в состав которых входят специальные шлифовальные станки, устройства для контроля и устройства для разматывания и сматывания рулонов.

**РЕЖИМЫ ОБЖАТИЙ, ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА
НА ВАЛКИ И МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ**

1. РЕЖИМЫ ОБЖАТИЙ

Исходным материалом при горячей прокатке листовой стали на станах линейного типа в основном являются слябы и только при прокатке листов больших размеров — слитки.

Схема обжатий листовой стали на станах линейного типа должна обеспечивать прокатку за минимальное число проходов. В большинстве случаев обжатие за проход ограничивается прочностью валков и лишь в отдельных случаях приходится учитывать ограничивающее влияние других факторов. Например, пластичность стали приходится учитывать только в первых проходах при прокатке листов из слитков легированной стали.

В первых проходах обжатие может быть ограничено углом захвата. Так, при прокатке листов на станах трио Лаута угол захвата для чугунных валков обычно не превышает 14—16°.

В черновой дуо-реверсивной клетки двухклетевого стана обжатие за проход при прокатке в этой клетки может быть большим, так как возможно снижение скорости прокатки при захвате. На основании практических данных угол захвата при прокатке в такой клетки на стальных валках достигает 25°, а обжатие за проход 40—80 мм. Все это позволяет вести прокатку подката в этих клетях за меньшее число проходов по сравнению с прокаткой в клетях трио Лаута.

Обжатие в черновых дуо-реверсивных клетях в первых проходах может ограничиваться мощностью двигателя, а в последних — прочностью валков. Обжатие за проход определяется из усилия, допускаемого прочностью валков, которое может быть определено по формуле [V. 23]

$$P = \frac{0,8D^2R_b}{2a - b},$$

где D — диаметр валка;

$a = L + l$ — длина бочки и шейки валка;

b — ширина прокатываемого листа;

R_b — допускаемое напряжение на изгиб.

Если черновой клетью на стане является клеть кварто, то усилие, допускаемое прочностью опорного валка, определяется по формуле (рис. 284).

$$P = \frac{0,8D_{оп}^2R_b}{2a - L},$$

где $D_{оп}$ — диаметр опорного валка;

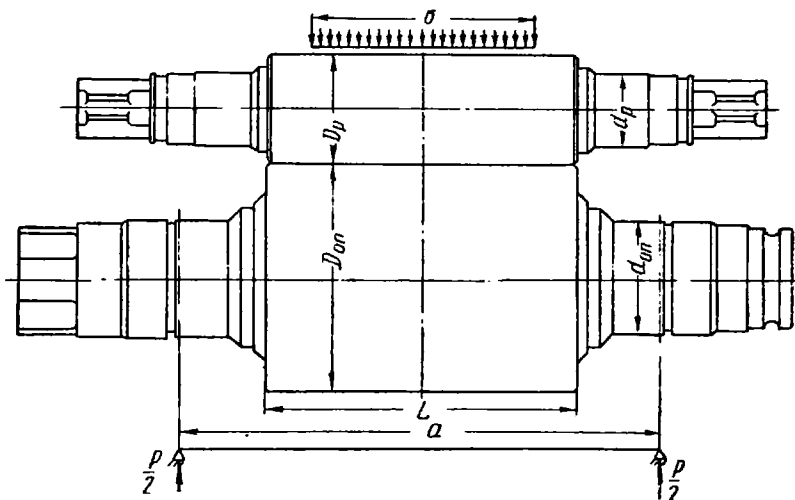
L — длина бочки опорного валка;

a — расстояние между осями нажимных винтов.

В зависимости от материала валков и способа их изготовления можно принимать следующие значения допускаемых напряжений на изгиб, Mn/m^2 ($кгс/мм^2$):

Чугунные	70—80	(7—8)
Чугунные легированные	80—90	(8—9)
Литые стальные	100—120	(10—12)
Кованые стальные	120—140	(12—14)
Кованые из легированной стали	140—160	(14—16)

Эти значения допускаемых напряжений учитывают не только изгиб, но и кручение. Однако для создания большого запаса прочности валков можно пользоваться нижними пределами этих напряжений.



Р и с. 284. Схема действия усилий на валки при прокатке в клетке кварто

В чистовых клетях кварто обжатие за проход часто ограничивается прочностью шейки опорных валков. Поэтому обжатие за проход, определенное в зависимости от прочности бочки опорного валка, необходимо проверить по прочности шейки.

Усилие на валки, допускаемое прочностью шейки опорного валка, можно определить по формуле

$$P = \frac{0,4d_{оп}^3 R_B}{l_{ш}}$$

где $d_{оп}$ и $l_{ш}$ — диаметр и длина шейки.

Давление металла на валки в каждом проходе не должно превышать усилия, допускаемого прочностью валков, и может быть определено по формуле [I. 7; V. 23]

$$P = \rho_{ср} b l = \rho_{ср} b \sqrt{R \Delta h}$$

где R — радиус валка;

Δh — обжатие за данный проход;

$\rho_{ср}$ — среднее удельное давление металла на валки.

Из этой формулы следует, что обжатие за проход

$$\Delta h = \frac{1}{R} \left(\frac{P}{\rho_{ср} b} \right)^2$$

Задаваясь средним удельным давлением металла на валки, исходя из практических данных определяют обжатие полосы за данный проход.

В некоторых случаях обжатие за проход в чистовых клетях двухклетевых станов может ограничиваться мощностью двигателя.

Основным фактором, ограничивающим обжатие за проход в черновых клетях непрерывного стана горячей прокатки листовой стали, является угол захвата. В этом случае максимальное обжатие за проход определяют по формуле

$$\Delta h_{\text{макс}} = \frac{D_p}{2} \alpha^2,$$

где D_p — диаметр рабочих валков с учетом переточек;

α — допускаемый угол захвата, *рад*; рабочие валки черновой группы изготовляют из чугуна и бочки их шлифуют, поэтому допускаемый угол захвата обычно не превышает 16—17°.

После определения обжатия за проход определяют удельное и полное давления металла на валки. Полученное полное давление металла на валки сравнивают с усилием, допускаемым прочностью валков. Затем определяют необходимые моменты прокатки, которые должны соответствовать мощности двигателей стана. По полученным моментам прокатки необходимо также проверить прочность шейки рабочих валков.

При расчете режима обжатий в чистовой группе клетей непрерывного стана горячей прокатки листовой стали обжатие за проход определяют из усилия, допускаемого прочностью бочки опорных валков. Затем проверяют полученное обжатие по прочности шейки опорного валка. После этого рассчитывают моменты прокатки и мощность двигателей чистовой группы клетей.

На современных станах холодной прокатки листовую сталь прокатывают с общим обжатием до 70—80% и более. В некоторых случаях суммарное обжатие ограничивается прочностью валков и мощностью двигателя стана или пластичностью металла (при прокатке малопластичных сталей). Однако во многих случаях холодной прокатки пластичность металла не используется и суммарное обжатие определяется наклепом. С увеличением наклепа сопротивление деформации возрастает и может достигнуть такой величины, что дальнейшая холодная прокатка становится затруднительной и нецелесообразной. В этих случаях следует применять промежуточную термическую обработку.

Суммарное обжатие может быть также ограничено твердостью валков. При недостаточной твердости валков прокатка сильно наклепанной полосы будет сопровождаться смятием валков. Суммарное обжатие зависит также от применяемой смазки, натяжения полосы при прокатке и др.

При данной прочности и твердости валков обжатие за проход зависит от многих факторов: химического состава, определяющего механические свойства прокатываемой стали, натяжения полосы, предшествующего наклепа, смазки и др.

На практике обжатие за проход обычно не превышает 45—50%. Это объясняется тем, что давление металла на валки при больших обжатиях вызывает значительные упругие деформации всей клетки и обусловленную ими разнотолщинность по ширине и форму полосы — волнистую по краям или в середине. При прокатке мягкой стали толщиной 0,5 мм и более на непрерывных станах обжатие в первых клетях составляет 25—45%, а в последней клетки 8—25%.

Если исходить из прочности валков, то обжатие за проход будет уменьшаться от первого прохода к последнему. Это объясняется тем, что

сопротивление деформации увеличивается не только вследствие наклепа, но и в связи с уменьшением толщины полосы.

2. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ

При прокатке широких листов и полос уширение металла незначительно и при определении давления металла на валки им можно пренебречь, т. е. принять, что деформация является плоской и равномерной (горизонтальные скорости металла по высоте любого сечения в зоне деформации постоянны). Кроме того, можно не учитывать зоны прилипания при горячей прокатке листовой стали, протяженность которой незначительна по сравнению с общей длиной дуги захвата, и принять, что по всей контактной поверхности имеется трение скольжения. Согласно закону Кулона [I. 6, 8, 9]

$$\tau_x = f\rho_x,$$

где f — коэффициент контактного трения.

При указанных допущениях среднее давление металла на валки при прокатке широких листов и полос можно определять по формуле А. А. Королева [I. 7; II. 10, 11]:

$$\rho_{\text{ср}} = k \frac{2}{\varepsilon \delta} \left[\left(\frac{1}{1-\varepsilon} \right)^{\frac{\delta-1}{2}} - \left(1 - \frac{\varepsilon}{2} \right) \right], \quad (\text{XIII.1})$$

где

$$k = 1,15\sigma_{\text{сф}}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}; \quad \delta = 2 \frac{f}{\alpha}; \quad \alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}.$$

При горячей прокатке фактический предел текучести прокатываемого металла $\sigma_{\text{сф}}$ определяется по кривым (рис. 76—78).

При холодной прокатке скорость деформации на давление влияет незначительно, однако при этом надо учитывать другой фактор — упрочнение металла в процессе деформации (наклеп). Согласно экспериментальным исследованиям, приращение напряжения в результате деформационного упрочнения пропорционально относительному обжатию ε (при $\varepsilon < 0,40$) согласно уравнению

$$\sigma_{\text{сф}} = \sigma_s + a\varepsilon, \quad (\text{XIII.2})$$

где a — коэффициент (модуль упрочнения), равный тангенсу угла наклона прямой упрочнения к горизонтальной линии;

σ_s — предел текучести металла до деформации.

Так как при обжатии металла в валках степень деформации ε изменяется с нуля (сечение входа металла в валки) до максимума, равного $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$ (сечение выхода металла из валков), то при пользовании формулой (XIII.2) надо принимать усредненное значение относительного обжатия, равное $\frac{2}{3} \frac{\Delta h}{h_0}$.

На рис. 285 приведена прямая деформационного упрочнения металла, построенная по экспериментальным данным; при этом небольшая выпуклость кривой (штриховая) для значений $\varepsilon < 0,40$, получающаяся по этим данным, для упрощения графика не принята во внимание. Согласно рис. 285 значения коэффициента a для разных сталей в уравнении (XIII.2) следующие, Мн/м^2 (кгс/мм^2):

Сталь	0,1—0,2%С	0,3—0,45%С	65Г	У10А	Х18Н9Т
a	250—300 (25—30)	400—500 (40—50)	550—600 (55—60)	700—800 (70—80)	1500—1700 (150—170)

Холодная прокатка полосы осуществляется с натяжением полосы металками. Известно, что натяжение полосы уменьшает давление металла на валки при прокатке, причем заднее натяжение в большей степени снижает давление, чем переднее. Для практических расчетов можно принимать, что их влияние одинаково, поэтому среднее давление металла

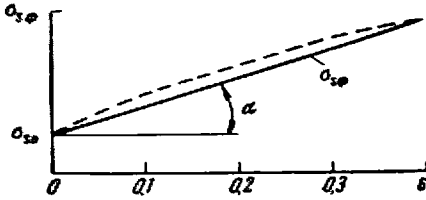


Рис. 285. Зависимость предела текучести металлов от степени деформационного упрочнения

на валки при прокатке полосы с натяжением $p_{\text{ср}}^{\text{н}}$ можно определять по формуле

$$p_{\text{ср}}^{\text{н}} = p_{\text{ср}} \left(1 - \frac{\sigma_{\text{ср}}}{k} \right), \quad (\text{XIII.3})$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее давление при прокатке без натяжения, определяемое по формуле (XIII.1);

$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2}$ — среднее внешнее натяжение полосы, равное полусумме заднего σ_0 и переднего σ_1 натяжений.

Полное давление (усилие) металла на валки

$$P = p_{\text{ср}} l b, \quad (\text{XIII.4})$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее по дуге захвата давление при прокатке без натяжения или с натяжением [формулы (XIII.1) и (XIII.3)];

l — длина зоны деформации;

b — ширина листа или полосы.

При горячей прокатке листов и полосы толщиной более 2 мм, когда упругое сплющивание валков незначительно и им можно пренебречь, длину зоны деформации определяют по формуле

$$l = \sqrt{R\Delta h} \approx R\alpha. \quad (\text{XIII.5})$$

При холодной прокатке (а также при горячей прокатке листов и полос толщиной менее 2 мм) вследствие упругого сплющивания при больших контактных давлениях дуга захвата (дуга окружности) искажается и длину зоны контакта можно определять по формуле Хичкока. При выводе этой формулы использована контактная задача Герца о сжатии двух цилиндров (рис. 286):

$$l_c = x_1 + \sqrt{R\Delta h + x_1^2}, \quad (\text{XIII.6})$$

где x_1 — приращение длины контакта за геометрической осью валков.

$$x_1 = CRp_{\text{ср}}, \quad (\text{XIII.7})$$

$C = 8 \frac{1 - \mu_{\text{п}}^2}{\pi E}$ — константа упругости, характеризующая коэффициентом Пуассона $\mu_{\text{п}}$ и модулем упругости E материала валков (чем больше E , тем меньше C).

Для валков из термически обработанной хромистой стали (закалка с отпуском) $\mu_{\text{п}} \approx 0,29$ и $E = 210 \text{ Гн/м}^2$ ($2,1 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$), поэтому $C = 1,1 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{Мн}$ ($1,1 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{кгс}$).

Из рассмотрения формул (XIII.1) и (XIII.6) следует, что для определения x_1 и l_c надо знать p_{cp} , а для определения p_{cp} надо знать l_c , так как при учете упругого сплющивания валков в формуле (XIII.1) $\delta = 2 \frac{\mu}{\alpha_c} = 2f \frac{l_c}{\Delta h}$.

Таким образом, имеются два уравнения с двумя неизвестными. Совместное точное решение этих уравнений весьма сложно, но при некоторых допустимых упрощениях получаем

$$l_c = \frac{2}{3} \frac{h_{cp}}{f} \frac{a}{1-a} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3}{ab} (1-a)} \right], \quad (\text{XIII.8})$$

где

$$b = (k_{cp} - \sigma_{cp}) C \frac{2-\epsilon}{f\epsilon}; \quad a = \frac{3}{4} b m^2;$$

$$m = f \frac{l}{h_{cp}}; \quad h_{cp} = \frac{h_0 + h_1}{2}.$$

Из рассмотрения формулы (XIII.8) следует, что длина контакта увеличивается с ростом радиуса валков и уменьшением их модуля упругости (т. е. с увеличением константы C).

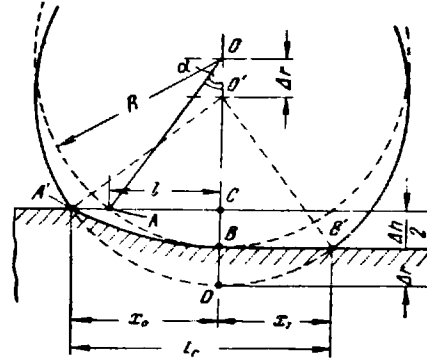


Рис. 286. Увеличение длины зоны деформации при упругом сплющивании валков

Практикой установлено, что при холодной прокатке тонкой стальной полосы может наступить такой момент, когда дальнейшее ее обжатие становится невозможным ввиду того, что упругое радиальное сжатие (сплющивание) валков будет больше толщины полосы. Теоретически этот момент наступает тогда, когда длина упругого контакта l_c становится равной $2x_1$ (см. рис. 286), т. е. $l = \sqrt{RD\Delta h} = 0$.

Приравняв правые части уравнений (XIII.6) и (XIII.8) при учете формулы (XIII.7), получаем минимальную толщину, обжатие которой при данных параметрах процесса прокатки становится невозможным:

$$h_{мин} = h_{cp} \approx 1,6C (k_{cp} - \sigma_{cp}) f D, \quad (\text{XIII.9})$$

где f — коэффициент контактного трения.

Из рассмотрения формулы (XV.9) следует, что для понижения «предела прокатываемости», т. е. уменьшения $h_{мин}$, необходимо применять большие натяжения полосы, хорошую смазку, минимальный диаметр валков и повышенный модуль упругости материала валков (т. е. меньшее значение константы C).

Пример 3. При прокатке тонкой жести на стальных валках $k_{cp} - \sigma_{cp} = 500 \text{ Мн/м}^2$ (50 кгс/мм^2); $f = 0,05$; $D = 500 \text{ мм}$ и $C = 1,1 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{Мн}$ ($1,1 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{кгс}$) получаем $h_{мин} = 0,2 \text{ мм}$. Для возможно-

сти прокатки жести еще меньшей толщины (например, 0,15 мм) необходимо улучшить качество смазки (применять пальмовое масло или ее равноценный заменитель так, чтобы $\mu = 0,03 \div 0,04$), увеличить натяжные полосы при прокатке или уменьшить диаметр валков (например, осуществлять прокатку на 20-валковом стане).

Пример 4. При прокатке тонкой ленты из легированной стали или бериллиевой бронзы на 20-валковом стане с диаметром валков 30 мм, изготовленных из твердого сплава (карбида вольфрама), модуль упругости которого E в три раза больше, чем стальных валков [$C = 0,35 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{Мн}$ ($0,35 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{кгс}$)], при $k_{\text{ср}} - \sigma_{\text{ср}} = 500 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ($50 \text{ кгс}/\text{мм}^2$) и $f = 0,03$ можно получить минимальную толщину ленты $h_{\text{мин}} \approx 2,5 \text{ мкм}$.

3. НАПРАВЛЕНИЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВАЛКИ ПРИ ПРОКАТКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ, И МОМЕНТЫ ПРОКАТКИ

При холодной прокатке полосы в рулонах для уменьшения давления металла на валки и более устойчивого ведения процесса прокатки применяют переднее (со стороны выхода металла из валков) и заднее (со стороны входа металла в валки) натяжения полосы с помощью моталок. При прокатке на непрерывных станах натяжения полосы создают валками последующей и предыдущей клетей за счет большей разности скоростей вращения валков, чем это необходимо при прокатке без натяжения [II. 10, 11].

Предположим, что на прокатываемый металл действуют внешние растягивающие силы T_0 на входе в валки и T_1 на выходе из них. Остальные условия такие же, как и при простом процессе прокатки. Рассмотрим три случая прокатки [I. 9; II. 25, 26, 27].

Первый случай: $T_0 > T_1$, т. е. заднее натяжение больше переднего (рис. 287, а). При равномерном движении металла условием равновесия всех действующих на металл внешних сил является равенство нулю суммы проекций этих сил на ось x . Так как деформация металла, возникающая от верхнего приводного валка, равна деформации от нижнего приводного валка, очевидно, что равнодействующие давления верхнего и нижнего валков на металл равны и их направление симметрично относительно оси x .

Обозначим проекцию каждой равнодействующей на ось x через X , тогда сумма проекций от двух равнодействующих P будет равна $2X$. В результате натяжений T_0 и T_1 влево по оси x будет действовать сила, равная разности натяжений, т. е. $T_0 - T_1$ (так как T_0 и T_1 направлены в разные стороны). Из условия равновесия и рис. 287, а следует, что

$$2X - (T_0 - T_1) = 0.$$

Отсюда

$$X = \frac{T_0 - T_1}{2}. \quad (\text{XIII. 10})$$

Так как по условию $T_0 > T_1$, то силы X будут положительными, т. е. направлены вправо, что возможно только тогда, когда равнодействующие давления валков на металл также направлены вправо. Поскольку действие равно противодействию, со стороны металла на валки (рис. 287, б) будут действовать такие же силы P , но направленные в обратные стороны. Таким образом, при прокатке с натяжением, когда $T_0 > T_1$, равнодействующие давления металла на валки будут направлены под углом против направления прокатки.

Приложим к центру каждого валка по две силы, равные и параллельные силе P и противоположно направленные; при этом условия равновесия действующих на валки сил не нарушаются. Разложив одну из сил P на вертикальную Y и горизонтальную X составляющие, замечаем, что при прокатке с натяжением $T_0 > T_1$ на подшипники валков и станину со стороны каждого валка против направления прокатки будут действовать боковые силы X , которые стремятся опрокинуть рабочую клетку в сторону заднего натяжения.

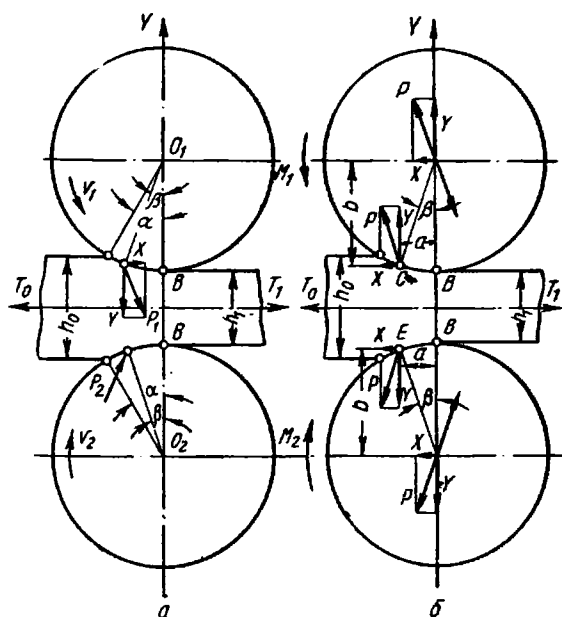


Рис. 287. Направление сил при прокатке полосы с натяжением; заднее натяжение больше переднего ($T_0 > T_1$):

a — действие валков на металл; b — действие металла на валки

Второй случай: $T_0 = T_1$, т. е. заднее натяжение равно переднему. В этом случае горизонтальная составляющая равнодействующей равна нулю, т. е. $X = 0$. Это означает, что равнодействующие P направлены вертикально, как и в случае простого процесса прокатки. Из рис. 287, a также следует, что боковое усилие на подшипники отсутствует и полное вертикальное давление P передается на станину, в этом случае на рабочую клетку не будут действовать опрокидывающие моменты.

Третий случай: $T_1 > T_0$, т. е. переднее натяжение больше заднего (рис. 288). В этом случае горизонтальные силы X будут отрицательными, т. е. равнодействующие давления валков на металл будут направлены в другую сторону, чем в первом случае (рис. 288, a), когда заднее натяжение больше переднего.

Рассматривая рис. 288, b , замечаем, что когда переднее натяжение больше заднего, равнодействующие давления металла на валки будут направлены под углом по направлению прокатки. Подшипники валков и станины будут испытывать боковое давление силами X , и на рабочую клетку в сторону прокатки будут действовать опрокидывающие моменты.

Определим моменты, которые необходимо приложить к валкам для их вращения.

Первый случай: $T_0 > T_1$ (см. рис. 287). Со стороны металла на валки действуют силы P , приложенные в точках C и E , составляющих углы β с осью валков. Раскладываем силы P на горизонтальную X и вертикальную Y составляющие; сумма моментов этих сил относительно оси вращения равна моменту прокатки, который необходимо приложить к обоим валкам:

$$2Ya + 2Xb = M_1 + M_2 = M_{\text{пр.}}$$

Из рис. 287 следует, что плечи a и b приложения сил Y и X определяются уравнениями:

$$a = R \sin \beta = \frac{D}{2} \sin \beta,$$

$$b = R \cos \beta = \frac{D}{2} \cos \beta.$$

Тогда

$$M_{\text{пр}} = (Y \sin \beta + X \cos \beta) D. \quad (\text{XIII.11})$$

В формуле (XV.11) ввиду небольшой величины угла отклонения равнодействующей P от вертикали можно принимать, что $Y \approx P$.

Второй случай: $T_0 = T_1$. В этом случае горизонтальные силы равны нулю, т. е. $X = 0$, и равнодействующие направлены вертикально. Из формулы (XIII.11) получаем

$$M_{\text{пр}} = YD \sin \beta, \quad (\text{XIII.12})$$

т. е. формулу, аналогичную формуле для простого процесса прокатки.

Третий случай: $T_1 > T_0$. Согласно рис. 288, б, горизонтальные силы X относительно осей вращения валков будут создавать моменты, действующие в том же направлении, в каком действуют моменты от привода валков. Следовательно, момент силы X в этом случае будет складываться с моментом привода. Момент привода обоих валков

$$M_{\text{пр}} = (Y \sin \beta - X \cos \beta) D, \quad (\text{XIII.13})$$

где

$$X = \frac{T_1 - T_0}{2}.$$

Рассматривая эти уравнения, приходим к выводу, что чем больше переднее натяжение T_1 , тем меньший момент для прокатки требуется от двигателя стана, и, наоборот, чем больше заднее натяжение, тем больше должен быть этот момент.

Предположим, что прокатка ведется со значительным передним натяжением и наступил момент, когда выражение в скобках в формуле (XIII.13) стало равно нулю, т. е.

$$Y \sin \beta - X \cos \beta = 0,$$

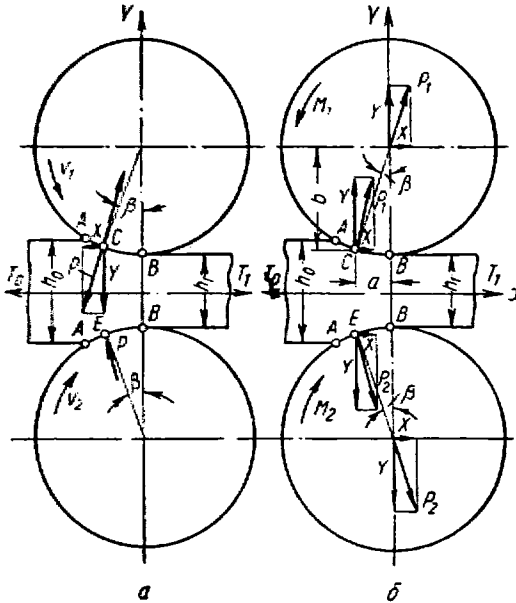


Рис. 288. Направление сил при прокатке полосы с натяжением; переднее натяжение больше заднего ($T_1 > T_0$):

а — действие валков на металл; б — действие металла на валки

или

$$Y \sin \beta = X \cos \beta = \frac{T_1 - T_0}{2} \cos \beta.$$

При этом условии оказывается, что момент привода, прилагаемый к валкам, становится равным нулю, т. е. $M_{пр} = 0$, а это означает, что равнодействующие P давления металла на валки проходят через центры валков. В этом случае прокатка будет происходить не за счет вращения валков от привода (шпинделя при этом могут быть отсоединены), а только за счет натяжения, причем очевидно, что переднее натяжение должно быть всегда больше заднего. В данном случае получается не процесс прокатки, а процесс протяжки (волочения) полосы между двумя холостыми валками. Следует отметить, что этот процесс не получил широкого применения, так как практически работать по этой схеме можно с очень небольшими обжатиями, повысить которые не позволяет прочность полосы при растягивании ее большим передним натяжением.

Давление металла на валки в зависимости от натяжения в этом случае можно определить по формуле

$$X = \frac{T_1 - T_0}{2} = P \sin \beta$$

Отсюда

$$P = \frac{T_1 - T_0}{2} \frac{1}{\sin \beta}. \quad (\text{XIII.14})$$

При определении по формулам (XIII.11) и (XIII.13) крутящих моментов, необходимых для прокатки, надо знать угол β , т. е. угол приложения равнодействующих давления металла на валки.

Для более устойчивого процесса прокатки (без пробуксовки) обычно переднее удельное натяжение полосы σ_1 принимают больше заднего σ_0 . Так как $h_0 > h_1$, а $\sigma_0 < \sigma_1$, можно считать, что общие натяжения равны между собой, т. е.

$$T_0 = bh_0\sigma_0 \approx T_1 = bh_1\sigma_1.$$

Таким образом, горизонтальные силы X будут равны нулю, а $Y = P$, что аналогично простому процессу прокатки, для которого

$$M_{пр} = 2PR \sin \beta = 2Pa = 2P\psi l, \quad (\text{XIII.15})$$

где $\psi = \frac{a}{l}$ — коэффициент плеча приложения равнодействующей P .

При горячей прокатке листов и полос, когда упругим сплющиванием валков можно пренебречь, коэффициент ψ определяют по формуле [I. 9; II. 1, 13]

$$\psi = \frac{1}{2} \left[1 - \varepsilon \frac{1+m}{2+m} \right]. \quad (\text{XIII.16})$$

где $m = \frac{l}{h_{ср}}$; $l = \sqrt{R\Delta h}$; $h_{ср} = \frac{h_0 + h_1}{2}$. Так как обычно $m = 0,5 \div 1$, коэффициент $\psi < 0,5$. Для средних обжатий $\varepsilon = 0,2 \div 0,4$ получаем $\psi = 0,35 \div 0,45$.

При холодной прокатке вследствие упругого сплющивания валков сечение выхода смещается вправо и проходит через точку B' (см. рис. 286). Так как упругая деформация является обратимой, работа, затрачиваемая на другую деформацию валков равна нулю. Этот вывод

следует также из рассмотрения рис. 289. За счет упругого сплющивания валков площадь эпюры контактных давлений увеличилась как слева, так и справа от геометрической оси валков, проходящей через точку *B*. Моменты этих дополнительных площадей относительно оси валков равны между собой и различны по знаку.

Таким образом, работа, затрачиваемая на пластическую деформацию полосы (прокатку), не зависит от того, есть упругое сплющивание валков или его нет, т. е. справедливо равенство (для одного валка) [I. 7]

$$M_1 = Pa = P_c a_c,$$

или

$$M_1 = P\psi l = P_c \psi_c l.$$

Отсюда

$$\frac{\psi_c}{\psi} = \frac{P}{P_c} = \left(\frac{\rho_{cp}}{\rho_{cp,c}} \right) \frac{l}{l_c} \quad (\text{XIII.17})$$

где $\psi_c = \frac{a_c}{l}$ — плечо приложения силы P_c (с учетом упругого сплющивания валков).

Теоретический анализ показывает, что для обжатия $\epsilon = 0,2 \div 0,4$ отношение

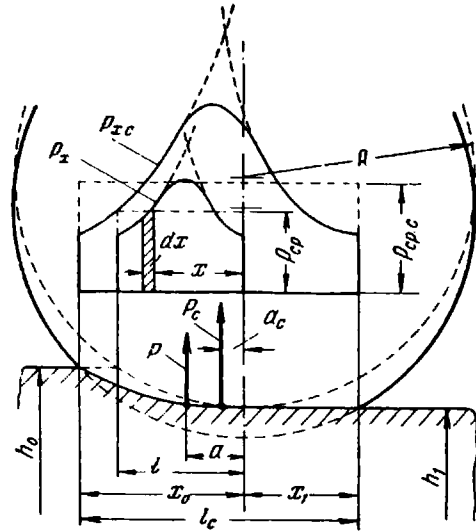


Рис. 289. Схема к определению плеча приложения равнодействующей давления металла на валки без учета (*a*) и с учетом (*a_c*) упругого сплющивания валков

$$\frac{\psi_c}{\psi} = 0,42 \div 0,72. \quad (\text{XIII.18})$$

Отсюда

$$\psi_c = (0,42 \div 0,72) \psi = (0,42 \div 0,72) (0,35 \div 0,45) = 0,12 \div 0,32.$$

Это значение ψ_c следует подставлять в формулу (XIII.15) при определении момента прокатки, учитывая при этом, что большему обжатию соответствует меньшее значение ψ_c [если при этом в формулу (XIII.15) подставляются значения P и l с учетом упругого сплющивания валков, т. е. P_c и l_c].

4. РАСХОД ЭНЕРГИИ, МОМЕНТ И МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

Расход работы (энергии) при пластической деформации (осадке) металла осуществляется по формуле [I. 4; II. 2, 3, 13]

$$A = \rho_{cp} V \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (\text{XIII.19})$$

где $V \ln \frac{h_0}{h_1} = V_{см}$ — смещенный объем металла;

V — объем деформируемого металла.

Таким образом, работа деформации пропорциональна среднему удельному давлению и смещенному объему металла. Так как $1 < \ln \frac{h_0}{h_1} < 1$, очевидно, что смещенный объем может быть больше или меньше объема деформируемого металла (частицы которого при осадке изменяют свое положение непрерывно). Так, при $\frac{h_0}{h_1} = 1,5$ имеем $V_{см} = 0,4 V$, а при $\frac{h_0}{h_1} = 3$ получаем $V_{см} = 1,1 V$.

Процесс прокатки можно представить как процесс осадки металла между наклонными плитами-штампами, поэтому формула осадки (XIII. 19) будет справедлива и для случая прокатки. Объем прокатываемого металла (при ширине полосы $b=1$) можно выразить так:

$$V = h_0 v_0 t = h_1 v_1 t,$$

где v_0 и v_1 — скорости входа металла в валки и выхода из них;
 t — длительность прокатки.

Кроме того

$$v_1 = v(1 + s),$$

где s — опережение металла при прокатке;
 v — окружная скорость валков.

Используя эти зависимости и уравнение (XV. 19), формулу для момента прокатки получаем в следующем виде:

$$M_{пр} = \frac{A}{\omega t} = \frac{A}{t} \cdot \frac{R}{v},$$

$$M_{пр} = \rho_{ср} \ln \frac{h_0}{h_1} h_1 R (1 + s), \quad (\text{XIII. 20})$$

где $\rho_{ср}$ — среднее давление без учета упругого сплющивания валков. С достаточной точностью можно принимать (при $\varepsilon < 0,3$)

$$\ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{1}{1 + \varepsilon} \approx \varepsilon \left(1 + \frac{\varepsilon}{2} \right).$$

Таким образом, при прокатке полосы прямоугольного сечения без натяжения или тогда, когда заднее натяжение равно переднему, момент прокатки можно определить по давлению металла на валки [формула (XIII. 15)] или по расходу энергии [формула (XIII. 20)].

Следует отметить, что формула (XIII. 20) дает завышенное значение $M_{пр}$, так как она получена на основе формулы работы при осадке металла (XIII. 19), неточно учитывающей наличие зоны опережения при прокатке. Достоинством формулы (XIII. 20) является то, что для определения момента прокатки не требуется знать плечо приложения равнодействующей. Однако определить значение коэффициента плеча приложения равнодействующей для этого случая прокатки не представляет затруднений при совместном решении уравнений (XIII. 15) и (XIII. 20):

$$\psi = \frac{a}{l} = \frac{1}{2} \frac{\ln \frac{h_0}{h_1} h_1 R (1 + s)}{l^2}. \quad (\text{XIII. 21})$$

Для горячей прокатки, когда нет сплющивания валков:

$$l^2 = R \Delta h = R \varepsilon h_0.$$

Подставляя значения

$$h_1 = h_0(1 - \varepsilon) \quad \text{и} \quad \ln \frac{h_0}{h_1} \approx \varepsilon \left(1 + \frac{\varepsilon}{2} \right).$$

получаем

$$\psi = \frac{a}{l} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon}{2} \right) (1 + s). \quad (\text{XIII.22})$$

При обжатии $\varepsilon = 0,15 \div 0,3$ и $s = 0,03 \div 0,05$ получаем $\psi \approx 0,5 \div 0,45$, что соответствует указанным ранее значениям [см. формулу (XIII.16)].

При холодной прокатке полосы коэффициент плеча приложения равнодействующей следует определять по формуле (XIII.18).

Изложенные выводы справедливы для простого процесса прокатки без натяжения и при холодной прокатке с натяжением, если заднее натяжение равно переднему. В обоих этих случаях равнодействующая P направлена вертикально.

При холодной прокатке, когда заднее натяжение полосы не равно переднему, момент прокатки можно определить следующим образом. Допустим, что общий расход энергии (работы) на деформацию металла объемом V с толщины h_0 до толщины h_1 (при ширине $b = 1 = \text{const}$) не зависит от того, с натяжением или без натяжения осуществляется деформация. В данном случае работу деформации A совершают валки с передним и задним натяжениями (см. рис. 287 и 288):

$$A = A_b + A_1 - A_0. \quad (\text{XIII.23})$$

Работа заднего натяжения A_0 взята со знаком минус, так как его влияние на момент прокатки противоположно влиянию переднего натяжения.

Очевидно, что

$$T_1 = \sigma_1 h_1 \quad \text{и} \quad A_1 = T_1 v_1 t_1 = T_1 \frac{V}{h_1} = \sigma_1 V;$$

$$T_0 = \sigma_0 h_0 \quad \text{и} \quad A_0 = T_0 v_0 t_0 = T_0 \frac{V}{h_0} = \sigma_0 V,$$

где $V = v_0 h_0 t_0 = v_1 h_1 t_1$.

Работа деформации, совершаемая валками:

$$A_b = A - A_1 + A_0,$$

или

$$A_b = \left(p_{cp} \ln \frac{h_0}{h_1} - \sigma_1 + \sigma_0 \right) V. \quad (\text{XIII.24})$$

Момент прокатки, прикладываемый к валкам, согласно уравнению

$$M = \frac{A}{\omega t} = \frac{AR}{v t}$$

имеет вид (при $b = 1$, формула А. И. Целикова):

$$M_{np} = \left(p_{cp} \ln \frac{h_0}{h_1} - \sigma_1 + \sigma_0 \right) h_1 R (1 + s), \quad (\text{XIII.25})$$

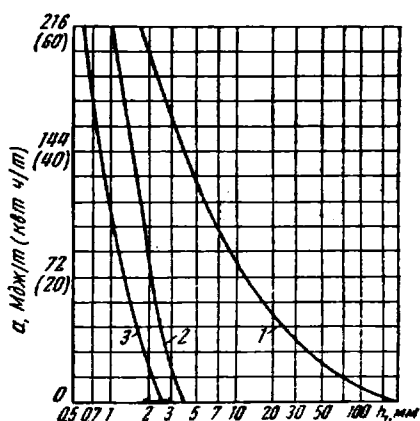
где p_{cp} — среднее удельное давление при прокатке без натяжения и без учета упругого сплющивания валков [см. формулу (XIII.1)].

Очевидно, что заднее натяжение увеличивает, а переднее уменьшает момент прокатки на валки. Достоинством формулы (XIII. 25) является то, что для определения момента прокатки на валках не требуется знать точку приложения и угол наклона равнодействующей к вертикальной линии [сравнить с формулой (XIII. 10)].

Следует отметить, что более точный анализ показывает, что переднее и заднее натяжения уменьшают влияние контактных сил трения на общую работу деформации. Поэтому [а также с учетом недостатков формулы Финка (XIII. 19) для случая прокатки] момент прокатки в действительности будет меньше момента, определяемого по формуле (XIII. 25).

По расходу энергии при прокатке металлов на разных станах накоплен большой экспериментальный материал. Эти данные могут быть использованы при проектировании новых станков и при выборе типа

Рис. 290. Кривые удельного расхода энергии при горячей и холодной прокатке листов и полосы:
1 — непрерывный широкополосный стан кварто 1700 для горячей прокатки полосы; 2 — непрерывный трехклетевой стан кварто 1700 для холодной прокатки полосы из низкоуглеродистой стали; 3 — пятиклетевой непрерывный стан кварто 1200 для холодной прокатки жести



и мощности двигателя для них. При этом надо иметь в виду, что практические данные по расходу энергии относятся к действующим станам определенной конструкции и получены при прокатке листов, характеризующихся определенными начальными и конечными размерами. Если проектируемый стан по характеристике, конструкции и сортаменту проката незначительно отличается от действующих станков, для которых имеются практические данные по расходу энергии при прокатке, то при расчете мощности привода проектируемого стана можно пользоваться указанными данными по расходу энергии. Эти данные особенно полезны для определения момента на валках при прокатке сортовых профилей в калибрах, так как в этом случае подсчет момента прокатки по давлению на валки затруднителен ввиду сложности определения контактной площади и среднего удельного давления.

Практические кривые расхода энергии при прокатке листов обычно имеют вид, показанный на рис. 290. По оси ординат откладывают удельный расход энергии, т. е. работу, затраченную на прокатку металла массой 1 т, а по оси абсцисс — толщину листа или полосы.

Так как зависимость расхода энергии от удлинения выражается некоторой сложной кривой, для удобства эту зависимость строят по оси абсцисс в логарифмической шкале, что улучшает масштаб кривой и приближает ее к прямой линии.

Расход энергии за данный проход металла через валки определяется по кривой как разность двух ординат ($a_{n+1} - a_n$), где a_{n+1} и

a_n — удельные расходы энергии при последующем и предыдущем проходах при обжатии металла с толщины h_0 до толщины h_1

Если массу прокатываемого металла обозначить через m в t , а удельный расход энергии выразить в $\text{дж/т(квт}\cdot\text{ч/т)}$, то общий расход энергии за проход составит

$$A = (a_{n+1} - a_n) m \text{ дж(квт}\cdot\text{ч)}, \quad (\text{XIII.26})$$

или

$$A \approx 367 (a_{n+1} - a_n) G \cdot t \text{с}\cdot\text{м}, \quad (\text{XIII.27})$$

где G — вес прокатываемого металла ($t\text{с}$), численно равный массе (t).

Расход энергии при прокатке измеряют по показаниям электрических измерительных приборов, установленных в электромашинном зале стана. Поэтому в полученные при измерении данные входит и расход энергии на трение в подшипниках валков и передаточных механизмов главной линии стана.

Однако при построении кривых удельного расхода из полученных при измерении данных по расходу энергии исключается измеренная в то же время работа холостого хода стана. Это необходимо для того, чтобы кривыми с большим приближением можно было пользоваться при расчете мощности двигателей подобных станов, конструкция которых может отличаться от конструкции стана, на котором получены данные по расходу энергии при прокатке.

Если нужно ориентировочно определить по кривым расхода энергии мощность, затрачиваемую на прокатку $N_{\text{пр}}$, потери мощности на трение в подшипниках валков $N_{\text{тр}}$ при данном проходе металла через валки, при котором удельный расход энергии по кривой равен $a_{n+1} - a_n$ (см. рис. 290), то можно воспользоваться формулой

$$N_{\text{пр}} + N_{\text{тр}} = \frac{A}{t} = \frac{(a_{n+1} - a_n) G}{t} \text{квт}, \quad (\text{XIII.28})$$

где t — длительность прохода металла через валки.

При измерении расхода энергии во время холодной прокатки полосы с натяжением в общий расход энергии входит также и энергия, затрачиваемая на создание переднего натяжения полосы, и исключена рекуперативная энергия заднего натяжения, что необходимо иметь в виду при пользовании существующими кривыми удельного расхода энергии. В этом случае формула (XIII.28) имеет вид:

$$N_{\text{пр}} + N_{\text{тр}} = N_{\text{кл}} + N_1 - N_2, \quad (\text{XIII.29})$$

где $N_{\text{кл}}$ — мощность, потребляемая в рабочей клетке стана;

N_1 — мощность, потребляемая передней моталкой стана;

N_2 — мощность, отдаваемая в сеть двигателем задней моталки, работающим в генераторном режиме при создании заднего натяжения полосы.

Мощность электродвигателя для привода валков и крутящий момент на его валу состоят из трех частей:

$$\begin{aligned} N &= N_{\text{пр}} + N_{\text{тр}} \pm N_{\text{дин}} = N_{\text{стат}} \pm N_{\text{дин}}, \\ M_{\text{дв}} &= M'_{\text{пр}} + M'_{\text{тр}} \pm M'_{\text{дин}} = M'_{\text{стат}} \pm M'_{\text{дин}}, \end{aligned} \quad (\text{XIII.30})$$

где $N_{\text{пр}}$ и $M'_{\text{пр}}$ — мощность прокатки и приведенный к валу двигателя момент прокатки, необходимые для совершения работы деформации (обжатия) металла валками;

$N_{тр}$ и $M'_{тр}$ — мощность трения и приведенный к валу двигателя момент сил трения, возникающих в подшипниках валков ($M_{тр1}$) и в передаточных механизмах: шестеренной клетки, редукторах, шпинделях и муфтах ($M_{тр2}$);
 $N_{дин}$ и $M'_{дин}$ — мощность и приведенный к валу двигателя динамический момент, необходимые для преодоления инерции всех вращающихся от двигателя частей главной линии стана: валков, шпинделей, шестерен, муфт (в период разгона со знаком плюс, а в период замедления со знаком минус).

Первые две величины ($N_{пр} + N_{тр}$) или ($M'_{пр} + M'_{тр}$) являются постоянными в течение прохода металла через валки; их называют статической нагрузкой двигателя.

Динамическая нагрузка двигателя $N_{дин}$ или $M'_{дин}$ возникает только в станах с регулируемой в течение процесса прокатки скоростью (например, толстолистовых и непрерывных широкополосных).

Определим отдельные составляющие нагрузки двигателя. Момент прокатки, приведенный к валу двигателя $M'_{пр}$, легко определить, зная момент прокатки $M_{пр}$ и передаточное число i привода валков от электродвигателя, т. е.

$$M'_{пр} = \frac{M_{пр}}{i}. \quad (XIII.31)$$

Момент прокатки определяем по давлению металла на валки [формула (XIII.14)] или по расходу энергии при прокатке [формулы (XIII.20, XIII.25 и XIII.28)].

Момент трения, приведенный к валу двигателя, складывается из момента трения в подшипниках валков и момента трения в передаточных механизмах:

$$M'_{тр} = M'_{тр1} + M'_{тр2} = \frac{M_{тр1}}{i} + \frac{M_{тр2}}{i}.$$

При прокатке металла на стане дуо момент трения, возникающий в четырех подшипниках двух валков:

$$M_{тр1} = 4 \frac{P}{2} f_n r_n = P f_n d_n, \quad (XIII.32)$$

где P — полное давление на валок;

f_n — коэффициент трения в подшипниках валков;

d_n — диаметр шейки валка для текстолитовых подшипников скольжения; диаметр баббитовой втулки подшипника жидкостного трения или средний диаметр роликов для подшипников качения.

При прокатке металла на стане кварто давление металла на рабочие валки передается на неприводные опорные валки, поэтому потери на трение возникают только в подшипниках опорных валков. Момент трения в этих подшипниках, приведенный к оси вращения приводных рабочих валков:

$$M_{тр1} = P f_n d_n \left(\frac{D_{раб}}{D_{оп}} \right), \quad (XIII.33)$$

где f_n и d_n — коэффициент трения и диаметр трения в подшипниках опорных валков;

$D_{раб}$ и $D_{оп}$ — диаметры рабочих и опорных валков.

Для подшипников валков рекомендуется принимать следующие значения коэффициента трения:

С коническими роликами	0,004
Жидкостного трения	0,003
Скольжения с металлическими (бронзовыми) вкладышами	0,07—0,10
С текстолитовыми вкладышами при скорости скольжения 3—1 м/сек	0,01—0,02

Потери на трение в передаче от двигателя к валкам $M_{тр2}$ учитывают коэффициентом полезного действия передачи η . Тогда, не вычисляя $M_{тр2}$, можно определить статическую нагрузку двигателя

$$M'_{ст} = \frac{M_{пр} + M_{тр1}}{\eta^i} \quad (XIII.34)$$

К. п. д. передачи можно представить как произведение к. п. д. шестеренной клетки ($\eta_{ш} = 0,92 \div 0,95$), редуктора ($\eta_p = 0,95 \div 0,98$ для каждой ступени) и шпинделей с муфтами ($\eta_m = 0,99$). Таким образом, получаем $\eta = \eta_{ш}\eta_p\eta_m = 0,85 \div 0,94$.

Коэффициентом полезного действия стана называют отношение приведенного момента прокатки к приведенному статическому моменту:

$$\eta_{ст} = \frac{M'_{пр}}{M'_{ст}} = \frac{M_{пр}}{M_{пр} + M_{тр1}} \eta = \frac{1}{1 + \frac{M_{тр1}}{M_{пр}}} \eta \quad (XIII.35)$$

В зависимости от конструкции подшипников валков момент трения составляет 5—8% момента прокатки, поэтому к. п. д. стана $\eta_{ст} = 0,80 \div 0,90$.

Динамический момент возникает только при изменении скорости прокатки в течение прохода металла через валки. Динамический момент, приведенный к валу двигателя, подсчитывают по формуле [1.4; II. 2, 26]

$$M'_{дин} = \frac{GD^2_{прив}}{375} \frac{dn}{dt} \text{ н} \cdot \text{м} (10^{-1} \text{ кгс} \cdot \text{м}), \quad (XIII.36)$$

где $\frac{dn}{dt} = \epsilon$ — угловое ускорение или замедление данной детали, вращающейся в линии привода валков;

$GD^2_{прив}$ — приведенный маховой момент от веса всех вращающихся частей привода (якоря двигателя, моторной главной муфты, шестерен редуктора, валков шестеренной клетки, шпинделей и валков рабочей клетки) в н·м, определяемый по уравнению

$$GD^2_{прив} = GD^2_{я} + GD^2_{м} + (GD^2_{ред} + GD^2_{ш.кл} + GD^2_{шп} + GD^2_{в}) \frac{1}{\alpha^2},$$

где G_i — вес вращающейся детали, н (кгс);

D_i — диаметр инерции детали, м.

После определения $M'_{ст}$ и $M'_{дин}$ можно приступить к определению мощности главного электродвигателя.

Двигатель выбирают в зависимости от назначения стана.

Станы с постоянной скоростью прокатки (нереверсивные). Максимальную мощность двигателя определяют по максимальной статической нагрузке ($M_{\text{дин}} = 0$)

$$N = M'_{\text{ст.макс}} \cdot \omega \frac{\text{кн} \cdot \text{м}}{\text{сек}} \quad \text{или} \quad N = \frac{\pi}{30} M'_{\text{ст.макс}} \cdot n \text{ квт}$$

или

$$N = \frac{M'_{\text{ст.макс}} n_{\text{дв}}}{0,975} \text{ квт}, \quad (\text{XIII.37})$$

где $M'_{\text{ст.макс}}$ — статический момент, тс.м;

$n_{\text{дв}}$ — скорость вращения якоря двигателя при данной нагрузке. об/мин.

Электродвигатели при длительном режиме работы допускают перегрузку $k = 1,5 \div 2,5$, указываемую в каталогах. Поэтому номинальная мощность двигателя [VII. 6, 9]

$$N_{\text{н}} \leq \frac{N_{\text{макс}}}{k}$$

Во многих случаях указываемое в каталогах номинальное число оборотов в минуту двигателя $n_{\text{н}}$, выбранного по мощности, больше, чем число оборотов в минуту валков $n_{\text{в}}$, определяемое заданной скоростью прокатки v и диаметром валков D . Исходя из этого определяется необходимость в установке редуктора в линии привода стана с передаточным числом

$$i = \frac{n_{\text{н.дв}}}{n_{\text{в}}}$$

Станы с регулируемой скоростью прокатки (реверсивные). На этих станах (толстолистовых и др.) металл прокатывают с регулированием скорости вращения валков в течение каждого прохода.

Прежде чем определить мощность двигателя, необходимо построить нагрузочные диаграммы для всех прокатываемых профилей. На рис. 291 приведена нагрузочная диаграмма для одного прохода металла через валки при реверсивной прокатке. Диаграмма показывает, что скорость валков в течение каждого прохода изменяется по трапеции, а моменты двигателя — в виде ступенчатых прямоугольников. Время прокатки состоит из трех периодов: разгона, установившейся скорости и торможения. Обычно захват металла валками происходит в период разгона двигателя, а выброс металла из валков в период торможения двигателя (чтобы уменьшить время, необходимое для реверса).

В периоды разгона (ускорения) и торможения нагрузка двигателя складывается из статического и динамического моментов, приведенных к валу двигателя.

При ускорении привода без металла в валках

$$M_{\text{I}} = M'_{\text{ст}} + M'_{\text{дин}} = M_{\text{х.х}} + M_{\text{дин}}, \quad (\text{XIII.38})$$

где $M_{\text{х.х}}$ — приведенный момент холостого хода стана во время паузы между проходами, который можно подсчитать исходя из формулы

$$M_{\text{х.х}} = \sum \frac{G_i i d_i}{2i}. \quad (\text{XIII.39})$$

Здесь G_i — нагрузка на подшипник от одной вращающейся детали в линии привода (валков, шестерен и т. д.);

f_i и d_i — коэффициент трения и диаметр трения в подшипниках данной детали.

Обычно момент холостого хода составляет 2—5% номинального момента двигателя.

Угловое ускорение на толстолистовых станах принимают при ускорении $\varepsilon = 30 \div 80 \frac{\text{об/мин}}{\text{сек}}$ и при торможении $\varepsilon = 40 \div 100 \frac{\text{об/мин}}{\text{сек}}$.

При ускорении привода с металлом в валках

$$M_2 = M'_{ст2} + M'_{дин2} = \frac{M_{пр} + M_{гр1}}{i\eta} + M_{дин2}, \quad (\text{XIII.40})$$

где $M_{дин2}$ — приведенный динамический момент с учетом махового момента металла (полагая, что масса металла G находится на окружности вала диаметром D).

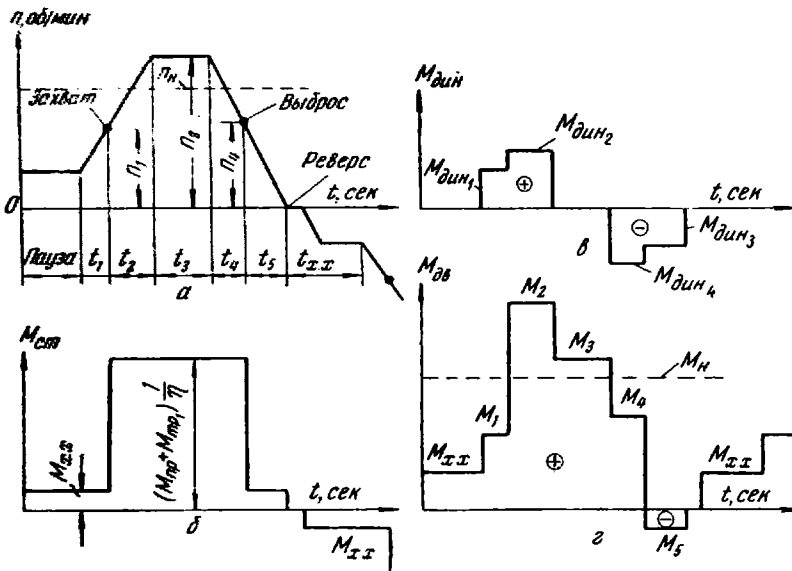


Рис. 291. Нагрузочная диаграмма главного электродвигателя при реверсивной прокатке толстых листов:

а — график изменения угловой скорости двигателя; б — статическая нагрузка двигателя; в — динамическая нагрузка двигателя; г — результирующий график нагрузки двигателя за один проход

При торможении привода с металлом в валках

$$M_4 = M'_{ст4} - M'_{дин4} = \frac{M_{пр} + M_{гр1}}{i\eta} - M_{дин4}, \quad (\text{XIII.41})$$

где $M_{дин4} = M_{дин2}$.

При прокатке с постоянной (установившейся) скоростью

$$M_3 = M'_{ст3} = \frac{M_{пр} + M_{гр1}}{i\eta}. \quad (\text{XIII.42})$$

После построения нагрузочной диаграммы для всех проходов металла через валки определяют номинальный момент двигателя из двух условий: 1) недопущения перегрева двигателя при протекании большого тока в обмотке его якоря при больших нагрузках; 2) допустимой кратковременной перегрузки двигателя, не вызывающей пробой изоляции его обмотки.

Так как ток в обмотке якоря электродвигателя пропорционален моменту, проверку по току заменяют проверкой по моменту.

Проверка на нагрев по моменту заключается в определении эквивалентного (среднеквадратичного) момента за все проходы металла через валки по формуле

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + M_4^2 t_4 + M_5^2 t_5 + M_{x,x}^2 t_{x,x}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_{x,x}}} \leq M_n, \quad (\text{XIII.43})$$

где $t_1 + \dots + t_{x,x} = t_{\text{ц}}$ — время цикла прокатки одного слитка.

Проверка на допустимую перегрузку осуществляется по формуле

$$M_n > \frac{M_{\text{дв. макс}}}{k}, \quad (\text{XIII.44})$$

где $M_{\text{дв. макс}}$ — максимальный момент двигателя по нагрузочной диаграмме;

k — коэффициент перегрузки; для реверсивных двигателей постоянного тока $k \approx 2,5$.

Таким образом, в обоих случаях номинальный момент двигателя должен быть больше моментов по нагреву и перегрузке.

Пример 5. Определить давление металла на валки, момент прокатки и мощность электродвигателя при прокатке толстых листов на реверсивном стане кварто 800/1400×2800. Исходные данные: $h_0 = 45$ мм, $h_1 = 30$ мм, $\Delta h = 15$ мм, $\varepsilon = 0,33$, $l = \sqrt{R\Delta h} = 77$ мм, $h_{\text{ср}} = 37,5$ мм, $\frac{l}{h_{\text{ср}}} = 2,06$, $f = 0,4$, $m = f \frac{l}{h_{\text{ср}}} = 0,82$, $\alpha \approx \frac{\Delta h}{l} = 0,194$ ($\approx 11^\circ 7'$), $\delta = 2 \frac{f}{\alpha} = 4,1$. скорость прокатки $v = 4$ м/сек, средняя скорость деформации металла $u = \alpha \frac{v}{h_0} = 17,4$ сек⁻¹, предел текучести прокатываемой стали при температуре 1000 °С $\sigma_s = 60$ Мн/м² (6 кгс/мм²), фактический предел текучести с учетом скорости и степени деформации $\sigma_{\text{сф}} = 110$ Мн/м² (11 кгс/мм²) [см. рис. 78], $k = 1,15$, $\sigma_{\text{сф}} = 126$ Мн/м² (12,6 кгс/мм²).

1. Среднее по дуге захвата контактное давление металла на валки по формуле (XIII. 1)

$$\begin{aligned} p_{\text{ср}} &= 12,6 \frac{2}{0,33 \cdot 4,1} \left[\left(\frac{1}{1-0,33} \right)^{4,1-1} - \left(1 - \frac{0,33}{2} \right) \right] = \\ &= 194 \text{ Мн/м}^2 \text{ (19,4 кгс/мм}^2\text{)}. \end{aligned}$$

2. Полное давление металла на валки на 1 мм ширины полосы по формуле (XIII. 4)

$$P' = p_{\text{ср}} l = 194 \cdot 77 = 15 \text{ кН/мм (1,5 тс/мм)}.$$

3. Коэффициент плеча приложения равнодействующей по формуле (XIII. 16)

$$\psi = \frac{1}{2} \left[1 - 0,33 \frac{1 + 0,82}{2 + 0,82} \right] = 0,385.$$

4. Момент прокатки на 1 мм ширины полосы по формуле (XIII. 15)

$$M'_{\text{пр}} = 2 \cdot 15 \cdot 0,385 \cdot 0,077 = 0,89 \text{ кН} \cdot \text{м/мм (0,089 тс} \cdot \text{м/мм)}.$$

Рабочая клеть стана (валки, подшипники, станины) рассчитаны на общее давление металла на валки при прокатке 30000 кН (3000 тс). Тогда для стали с указанными выше механическими свойствами можно прокатать толстые листы шириной

$$b = \frac{P}{P'} = 30000 : 15 = 2000 \text{ мм}.$$

При необходимости прокатывать толстый лист шириной более 2000 мм необходимо уменьшить обжатие или скорость прокатки.

5. Полный момент прокатки при ширине листа 2000 мм

$$M_{\text{пр}} = 2000 \cdot 0,89 = 1780 \text{ кн} \cdot \text{м} \text{ (178 тс} \cdot \text{м)}.$$

6. Момент трения в подшипниках роликовых опорных валков, приведенный к оси рабочих валков, принимая $f_{\text{п}} = 0,004$ и $d_{\text{п}} = 1000$ мм, по формуле (XIII. 33)

$$M_{\text{тр}} = 30000 \cdot 0,004 \cdot 1 \left(\frac{800}{1400} \right) \approx 68,6 \text{ кн} \cdot \text{м} \text{ (6,86 тс} \cdot \text{м)}.$$

7. Реверсивный толстолистовой стан работает с ускорением (после захвата металла валками) $\varepsilon = 30 \frac{\text{об/мин}}{\text{сек}}$.

Приведенный к валу двигателя маховой момент всех вращающихся деталей линии привода равен $1500 \text{ кн} \cdot \text{м}^2$. По формуле (XIII. 36)

$$M_{\text{двн}} = \frac{1500}{375} 30 = 120 \text{ кн} \cdot \text{м} \text{ (12 тс} \cdot \text{м)}.$$

8. Максимальный момент электродвигателя при разгоне в процессе прокатки (при $i = 1$ и $\eta = 0,94$) по формуле (XIII. 34)

$$M_{\text{макс}} = \frac{1780 + 68,6}{0,94} + 120 = 2080 \text{ кн} \cdot \text{м} \text{ (208 тс} \cdot \text{м)}.$$

Для привода валков стана (через шестеренную клеть) установлен электродвигатель постоянного тока мощностью 5000 кВт, $n = 0-60-120$ об/мин, имеющий номинальный момент $M_{\text{н}} = 800 \text{ кн} \cdot \text{м}$ (80 тс·м) и допускающий кратковременную перегрузку $k = 2,6$, при которой $M_{\text{дв. макс}} = 80 \cdot 2,6 = 2080 \text{ кн} \cdot \text{м}$ (208 тс·м). Таким образом, двигатель работает на пределе допустимой перегрузки.

Пример 6. Определить давление металла на валки и момент прокатки при прокатке тонкой стальной жести в третьей клетки непрерывного пятиклетевого стана. Исходные данные: $h_0 = 0,8$ мм, $h_1 = 0,5$ мм, $\Delta h = 0,3$ мм, $\alpha = 0,375$, диаметр рабочих валков $D = 500$ мм, длина зоны деформации без учета упругого сплющивания валков $l = \sqrt{R \Delta h} = 8,66$ мм, $h_{\text{ср}} = 0,65$, $\frac{l}{h_{\text{ср}}} = 13,3$, $f = 0,06$ (при смазке эмульсией пальмового масла), $m = fl/h_{\text{ср}} = 0,8$, $\alpha = \frac{\Delta h}{l} = 0,035$ ($\sim 2^\circ$), $\sigma_{\text{ср}} = 500 \text{ Мн/м}^2$ (50 кгс/мм²) (после упрочнения за два предыдущих пропуска), ширина полосы $b = 1000$ мм, $\delta = 2 \frac{f}{\alpha} = 3,43$.

1. Фактический предел текучести при среднем обжатии за проход $\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{2}{3} \varepsilon = 0,25$ по формуле (XIII. 2) при модуле упрочнения $a = 300 \text{ Мн/м}^2$ (30 кгс/мм²) [см. рис. 285], $\sigma_{\text{ср. ф}} = 500 + 300 \cdot 0,25 = 575 \text{ Мн/м}^2$ (57,5 кгс/мм²), $k_{\text{ср}} = 1,15$, $\sigma_{\text{ср. ф}} = 660 \text{ Мн/м}^2$ (66,0 кгс/мм²).

2. Среднее и полное давление без учета упругого сплющивания валков при прокатке по формуле (XIII. 1)

$$\rho_{\text{ср}} = 660 \frac{2}{0,375 \cdot 3,43} \left[\left(\frac{1}{1 - 0,375} \right)^{\frac{3,43-1}{2}} - \left(1 - \frac{0,375}{2} \right) \right] = 970 \text{ Мн/м}^2 \text{ (97 кгс/мм}^2\text{)},$$

$$P = 970 \cdot 0,00866 \cdot 1,0 = 8,4 \text{ Мн} \text{ (840 тс)}.$$

3. При прокатке применяют натяжения полосы: $\sigma_0 = 200 \text{ Мн/м}^2$ (20 кгс/мм^2) и $\sigma_1 = 300 \text{ Мн/м}^2$ (30 кгс/мм^2), $\sigma_{\text{ср}} = 250 \text{ Мн/м}^2$ (25 кгс/мм^2). Среднее и полное давление на валки с учетом натяжения полосы по формуле (XIII. 3)

$$p_{\text{ср}} = 970 \left(1 - \frac{250}{660} \right) = 600 \text{ Мн/м}^2 \text{ (60 кгс/мм}^2\text{)},$$

$$P = 600 \cdot 0,00866 \cdot 1,0 = 5,19 \text{ Мн (519 тс)}.$$

Таким образом, за счет применения среднего натяжения полосы, равного $0,38 k$, давление уменьшилось также на 38%; среднее давление за счет приложения растягивающих напряжений стало почти равным пределу текучести металла.

4. Длина зоны деформации с учетом упругого сплющивания валков и без учета натяжения полосы по формуле (XIII. 8)

$$b = 660 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \frac{2 - 0,375}{0,06 \cdot 0,375} = 0,52;$$

$$a = \frac{3}{4} \cdot 0,52 \cdot 0,8^2 = 0,25;$$

$$l_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,65}{0,06} \cdot \frac{0,25}{0,75} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 0,75}{0,25 \cdot 0,52}} \right] = 13,3 \text{ мм}.$$

5. Длина зоны деформации с учетом упругого сплющивания валков и натяжения по формуле (XIII. 8)

$$b = 0,52 \frac{410}{660} = 0,32;$$

$$a = \frac{3}{4} \cdot 0,32 \cdot 0,8^2 = 0,15;$$

$$l_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,65}{0,06} \cdot \frac{0,15}{0,85} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 0,85}{0,15 \cdot 0,32}} \right] = 10,6 \text{ мм}.$$

По сравнению с $l = 8,66 \text{ мм}$ длина зоны деформации увеличилась с учетом упругого сплющивания валков до $l_c = 13,3 \text{ мм}$, т. е. в 1,52 раза; применение натяжения уменьшило l_c до $10,6 \text{ мм}$, т. е. на 20%.

6. Давление на валки с учетом увеличения длины контакта при упругом сплющивании валков по формуле (XIII. 1)

$$\delta_c = 2f \frac{l_c}{\Delta h} = 2 \cdot 0,06 \frac{13,3}{0,3} = 5,3;$$

$$p_{\text{ср}} = 660 \frac{2}{0,375 \cdot 5,3} \left[\left(\frac{1}{1 - 0,375} \right)^{\frac{5,3-1}{2}} - \left(1 - \frac{0,375}{2} \right) \right] =$$

$$= 1320 \text{ Мн/м}^2 \text{ (132 кгс/мм}^2\text{)};$$

$$P = 1320 \cdot 0,0133 \cdot 1,0 = 17,5 \text{ Мн (1750 тс)}.$$

7. То же, с учетом натяжения полосы

$$\delta = 2 \cdot 0,06 \frac{10,6}{0,3} = 4,25;$$

$$p_{\text{ср}} = (66 - 25) \frac{2}{0,375 \cdot 4,25} \left[\left(\frac{1}{1 - 0,375} \right)^{\frac{4,25-1}{2}} - \left(1 - \frac{0,375}{2} \right) \right] =$$

$$= 730 \text{ Мн/м}^2 \text{ (73 кгс/мм}^2\text{)};$$

$$P = 730 \cdot 0,0106 \cdot 1,0 = 7,7 \text{ Мн (770 тс)}.$$

Таким образом, при учете упругого сплющивания валков давление увеличилось: $p_{\text{ср}}$ в 1,34 раза и P в 2,1 раза. Применение натяжения полосы уменьшило $p_{\text{ср}}$ на 45% и P на 56%.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о необходимости учета влияния упругого сплющивания валков и натяжения полосы при прокатке. Так как задний конец полосы в рулоне прокатывается на стане без натяжения, для расчета деталей рабочей клетки (валков, подшипников, станин, нажимных винтов) на прочность надо исходить из значения P , подсчитанного без учета натяжения полосы, но с учетом упругого сплющивания валков, т. е. в данном случае $P = 17,5 \text{ Мн}$ (1750 тс).

8. Коэффициент плеча приложения равнодействующей P по формуле (XIII. 16) без учета упругого сплющивания валков при

$$m = f \frac{l_c}{h_{\text{ср}}} = 0,06 \frac{13,3}{0,65} = 1,22;$$

$$\psi = \frac{1}{2} \left(1 - 0,375 \frac{1 + 1,22}{2 + 1,22} \right) = 0,37,$$

а с учетом упругого сплющивания валков по формуле (XIII. 17)

$$\psi_c = 0,37 \frac{60}{132} \cdot \frac{8,66}{13,3} = 0,115.$$

9. Как указано выше, момент прокатки не зависит от влияния упругого сплющивания валков, что очевидно из следующего расчета:

$$M_{\text{пр}} = 2P\psi l = 2 \cdot 8,4 \cdot 0,37 \cdot 0,00866 = 0,054 \text{ Мн} \cdot \text{м} (5,4 \text{ тс} \cdot \text{м});$$

$$M_{\text{пр.с}} = 2P_c \psi_c l_c = 2 \cdot 17,5 \cdot 0,115 \cdot 13,3 = 0,054 \text{ Мн} \cdot \text{м} (5,4 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

10. Момент трения в подшипниках типа ПЖТ при $f_{\text{п}} = 0,003$ и $d_{\text{п}} = 900 \text{ мм}$ по формуле (XIII. 33)

$$M_{\text{тр}} = 17,5 \cdot 0,003 \cdot 0,9 \left(\frac{500}{1300} \right) = 11 \text{ кн} \cdot \text{м} (1,1 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

11. Суммарный момент на валках при прокатке заднего конца полосы без натяжения

$$M_{\text{в}} = 54 + 11 = 65 \text{ кн} \cdot \text{м} (6,5 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

12. Мощность прокатки (на валках) при прокатке заднего конца полосы со скоростью 10 м/сек при угловой скорости вращения валков

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{10}{0,25} = 40 \text{ сек}^{-1},$$

$$N_{\text{в}} = 65 \cdot 40 = 2600 \text{ квт}.$$

13. Потребная мощность электродвигателя при к. п. д. главной линии $\eta = 0,92$

$$N_{\text{дв}} = \frac{2600}{0,92} = 2800 \text{ квт}.$$

14. Момент прокатки по формуле (XIII. 20) при

$$\gamma \approx \frac{a}{2} \left(1 - \frac{a}{2\mu} \right) = \frac{0,035}{2} \left(1 - \frac{0,035}{2 \cdot 0,06} \right) = 0,012,$$

$$s = \frac{R}{h_1} \gamma^2 = \frac{250}{0,5} (0,012)^2 = 0,07,$$

$$\ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{0,8}{0,5} = 0,47;$$

$$M_{\text{пр}} = 970 \cdot 0,47 \cdot 0,005 \cdot 0,25 (1 + 0,07) = 0,062 \text{ Мн} \cdot \text{м} (6,2 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

По сравнению с фактическим моментом прокатки 54 *кн·м* момент по формуле (XIII. 20) завышен в 1,15 раза, т. е. на 15%.

15. Коэффициент плеча приложения равнодействующей по формуле (XIII. 21)

$$\psi = \frac{1}{2} \cdot 0,47 \cdot 0,5 \cdot 250 (1 + 0,07) \frac{1}{8,66^2} = 0,41,$$

т. е. имеет завышенное значение по сравнению с $\psi=0,37$ по формуле (XIII. 16).

Таким образом, при пользовании формулами (XIII. 20), (XIII. 21) и (XIII. 22) следует иметь в виду, что они дают завышенные результаты (на 10—15%).

ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

1. ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ

Исходным материалом являются слябы, прокатанные на слябингах и блюмингах или полученные методом непрерывной разливки. На современных непрерывных листовых станах первой клетью является клеть с вертикальными валками, предназначенная для обработки боковых кромок слябов и для взрыхления окалины на их поверхности. Если ширина сляба больше ширины листа, то первой операцией является прокатка в этой клетии с обжатием по ширине сляба до 50—60 мм [1.6, 16; V. 16, 23].

Следующей операцией является удаление окалины в черновом окатиноломателе, установленном перед черновой группой клетей. Обжатие

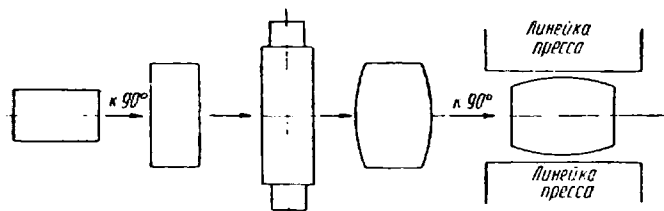


Рис. 292. Схема прокатки сляба в уширительной клетии

в черновом окатиноломателе составляет 5—20%, достаточное для раздробления окалины, которую затем сбивают водой под давлением до 12 Мн/м² (120 ат).

Если ширина слябов меньше ширины прокатываемых листов, то следующей операцией является прокатка сляба поперек в уширительной клетии для получения необходимой ширины листа. Чтобы получить необходимую ширину листа, сляб перед прокаткой в этой клетии специальным приспособлением поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости и специальным толкателем задают в валки уширительной клетии (рис. 292). После прохода через уширительную клетии раскат снова поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости и в таком положении прокатывают его до получения готового листа.

Как правило, необходимую ширину листа получают при прокатке сляба поперек в уширительной клетии за один проход. Поэтому обжатие в уширительной клетии зависит от требуемой ширины листа и достигает 50%. Абсолютное обжатие в уширительной клетии может быть определено (пренебрегая незначительным уширением) по формуле

$$\Delta h = h_0 - h_1 = h_0 - \frac{h_0 b_0}{b_1} = \frac{h_0 (b_1 - b_0)}{b_1}.$$

а относительное обжатие — по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% = \frac{b_1 - b_0}{b_1} 100\%,$$

где h_0 и b_0 — толщина и ширина сляба до прокатки в уширительной клетки;

h_1 и b_1 — толщина и ширина раската после прокатки в уширительной клетки.

Обжатие в уширительной клетки может ограничиваться углом захвата. Для увеличения обжатия в этой клетки, особенно при прокатке листов из сравнительно узких слябов, диаметр рабочих валков увеличивают по сравнению с диаметром валков остальных черновых клетей. С той же целью рабочие валки уширительных клетей некоторых непрерывных станов изготовлены из стали.

После прокатки в уширительной клетки раскат получается с выпуклыми концами, которые после второго поворота на 90° становятся боками (рис. 292). Для выравнивания боковых кромок за этой клетью обычно устанавливают пресс с линейками для обжатия раската. Получение раската с одинаковой шириной по длине облегчает работу вертикальных валков черновых клетей.

В настоящее время современные слябинги прокатывают слябы шириной до 2000 мм, что позволяет прокатывать листовую сталь «на прямую», т. е. без разбивки ширины сляба.

Прокатку в черновых клетях из-за высокой температуры и большой толщины следует вести с максимальными обжатиями в каждой клетке.

Длина бочки валков всех черновых клетей одинакова. Диаметр рабочих валков первых клетей (для увеличения обжатия) больше, чем последних.

В вертикальных валках черновых клетей применяют небольшие обжатия, примерно равные уширению полосы при прокатке ее в горизонтальных валках. Такое обжатие достаточно, чтобы ширина полосы была одинакова по всей длине, а на боковых кромках ее не образовывались трещины. В последнее время, особенно на станах, имеющих уширительную клетку, вертикальные валки черновых клетей позволяют отказаться от установки за уширительной клетью прессы для обжатия боковых кромок.

Максимальное обжатие за проход в черновых клетях составляет примерно 40—45%.

Толщина подката, выходящего из черновой группы стана, зависит от толщины прокатываемых листов и числа клетей в чистовой группе клетей и обычно равна 15—36 мм. По выходе из черновой группы клетей раскат проходит под струями воды высокого давления, что способствует удалению окалины.

Для сохранения постоянного температурного режима прокатки в чистовой группе клетей необходимо, чтобы раскат поступал в эту группу с постоянной температурой. Если температура раската выше, чем это требуется, то для снижения температуры на промежуточном рольганге между группами клетей имеет воздушное охлаждающее устройство.

В чистовом окатиломателе полосу прокатывают с обжатием 5—10%, достаточным для раздробления окалины, образовавшейся во время прокатки в черновой группе клетей.

Суммарное обжатие в чистовой группе клетей непрерывных станов составляет 15—30% суммарного обжатия во всех клетях стана. Обжатие в каждой клетке чистовой группы определяется мощностью двигателя и прочностью валков. Однако для обеспечения наименьшей разно-

толщинности по ширине обжатие в предчистовой клетке снижается до 20—25%, а в чистовой до 10—15%.

Необходимым условием прокатки в чистовой группе является постоянство секундного объема металла в каждой клетке, определяемое из выражения (для группы, состоящей из шести клеток)

$$F_1v_1 = F_2v_2 = F_3v_3 = F_4v_4 = F_5v_5 = F_6v_6,$$

где F_i — площадь поперечного сечения полосы, выходящей из данной клетки;

v_i — скорость прокатки в данной клетке.

Ширина полосы во всех клетках чистовой группы практически одинакова, тогда уравнение постоянства секундного объема металла в каждой клетке можно выразить в виде следующего равенства:

$$h_1v_1 = h_2v_2 = h_3v_3 = h_4v_4 = h_5v_5 = h_6v_6,$$

где h_i — толщина полосы, выходящей из данной клетки.

При расчете режима обжатий непрерывных листовых станов необходимо учитывать обеспечение максимальной производительности стана, удовлетворение требований по размерам и допускам, структуре, прочностным свойствам и качеству поверхности листовой стали. Режим обжатий должен также обеспечить простоту настройки стана.

Максимальное обжатие за проход в чистовых клетках составляет примерно 45—50%.

В табл. 30 приведена схема обжатий при прокатке листовой стали толщиной 2,5 мм и шириной 1500 мм.

Таблица 30

Схема обжатий при прокатке листовой стали толщиной 2,5 мм и шириной 1500 мм из слэбов толщиной 180 мм, шириной 1550 мм, длиной 8000 мм и массой 17,3 т (по данным М. Л. Зарощинского)

Номер прохода	Толщина мм	Обжатия		Угол захвата	Скорость прокатки м/сек	Номер прохода	Толщина мм	Обжатия		Угол захвата	Скорость прокатки м/сек
		мм	%					мм	%		
Черновая группа клеток ($D_{\text{раб}} = 1100$ мм)						Чистовая группа клеток ($D_{\text{раб}} = 700$ мм)					
1	152	28	15,6	12°57'	1,2	7	20,6	0,4	1,9	1°56'	1,4
2	117	35	23,0	14°30'	1,2	8	12,5	8,1	39,3	8°43'	2,3
3	84	33	28,2	14°04'	1,9	9	8,1	4,4	35,2	6°25'	3,55
4	57	27	32,2	12°43'	2,5	10	5,4	2,7	33,3	5°02'	5,32
5	35	22	38,6	11°29'	2,7	11	3,9	1,5	27,8	3°45'	7,37
6	21	14	40,0	9°09'	3,0	12	3,0	0,9	23,1	2°54'	9,58
						13	2,5	0,5	16,7	2°10'	11,50

Листы прокатывают с минусовыми допусками по толщине, предусмотренными ГОСТами и техническими условиями.

Прокатанные листы имеют обычно неодинаковую толщину по ширине (разнотолщинность по ширине). Толщина листа посередине обычно больше, чем по краям, т. е. лист имеет выпуклую форму поперечного сечения.

Разнотолщинность полосы зависит от многих факторов, главными из которых являются прогиб, разница теплового расширения по длине валка и износ (выработка) валков. Чем больше прогиб и выработка валков, тем больше разнотолщинность листа по ширине.

Для уменьшения разнотолщинности из-за прогиба и выработки валков осуществляют профилировку бочки на шлифовальных станках. Профиль бочки должен быть симметричным (выпуклым или вогнутым) относительно середины валка.

Профиль валков при прокатке зависит от начального профиля холодных валков при их установке в рабочую клеть, теплового расширения, прогиба и сплющивания валков, а также от износа бочек. Профилировку валков рабочих клетей непрерывных станов обычно выбирают в зависимости от режима работы стана и сортамента листовой стали [V. 11, 15; II. 34, 35].

В процессе прокатки бочка рабочего валка нагревается вследствие контакта с горячей полосой и за счет тепла, выделяющегося при деформации и скольжении металла по валку. Одновременно рабочие валки охлаждаются водой, а также за счет контакта с опорными валками и отвода тепла через шейки. В результате бочка рабочего валка имеет неодинаковую по длине температуру.

Неравномерный нагрев рабочих валков вызывает разнотолщинность листа по ширине. Если середина бочки валка нагревается больше, чем края, то, следовательно, диаметр валка посередине увеличивается больше, чем по краям. В этом случае середина листа будет обжиматься сильнее и получится тоньше, чем края, и лист будет иметь вогнутую форму поперечного сечения. Устранить такую форму сечения листа можно тепловой регулировкой профиля валков, что достигается охлаждением отдельных мест бочки валков. Особенно удобно для этого предусмотреть на стане раздельное охлаждение краев и середины бочки валков.

На разнотолщинность по ширине влияют характер и степень износа поверхности бочки валков. При разработке профилировки валков нужно стремиться к достижению равномерности износа по длине бочки. Как правило, износ бочки верхних валков несколько больше износа бочки нижних валков. Кроме того, участки бочки валков, на которых деформируется металл кромок листа, подвержены большему износу, что объясняется более низкой температурой металла кромок и сравнительно большим скольжением его относительно поверхности бочки вследствие некоторого уширения, развивающегося вблизи кромок. Следует также указать на то, что на этих участках возникают более высокие давления на единицу длины бочки. Износ рабочих валков в значительной степени зависит от состояния поверхности опорных валков.

Износ бочки нижних опорных валков больше износа бочки верхних опорных валков. Износ опорных валков связан с проскальзыванием бочек опорных и рабочих валков по площади контакта вследствие разницы в окружных скоростях отдельных сопряженных участков. Износ опорных валков может быть также вследствие износа рабочих валков. Износ бочки опорных валков протекает более энергично в первый период работы стана. В дальнейшем износ изменяется незначительно, что, по-видимому, можно объяснить тем, что в результате износа поверхности бочки опорных валков профиль ее становится наиболее благоприятным для полного контакта с бочкой рабочего валка.

Рабочие валки уширительных клетей непрерывных станов изготавливают с цилиндрической или вогнутой бочкой. В первом случае опорные валки изготавливают также с цилиндрической бочкой, а во втором — с выпуклой. Обычно вогнутость рабочих валков и выпуклость опорных валков примерно равны 1 мм [II. 18; V. 5].

Опорные валки черновых клетей непрерывных станов изготавливают с цилиндрической бочкой. Верхние рабочие валки этих клетей имеют бочку с небольшой выпуклостью, а нижние рабочие валки изготавливают с цилиндрической бочкой. Устойчивость раската обеспечивается линейками и постоянным направлением прокатки.

Рабочие валки чистовых клетей непрерывных станов изготавливают с цилиндрической бочкой, а затем верхний рабочий валок изготавливают с

бочкой, имеющей выпуклость до 0,15 мм. Опорные валки чистовых клетей изготовляют с цилиндрической бочкой. На некоторых станах для первых трех клетей рабочие валки изготовляют с вогнутостью до 0,07 мм.

Рабочие валки черновых клетей непрерывных станов изготовляют из чугуна с отбеленным рабочим слоем твердостью 58—65 единиц по Шору. В некоторых случаях для повышения захватывающей способности валков рабочие валки черновых клетей изготовляют из стали.

Рабочие валки чистовых клетей непрерывных станов изготовляют из чугуна, легированного молибденом и с отбеленным рабочим слоем толщиной до 25 мм. Твердость таких валков также находится в пределах 58—65 единиц по Шору.

Опорные валки непрерывных станов часто изготовляют коваными из стали 9ХФ. Широкое применение начинают получать литые опорные валки из заэвтектоидной стали, которые в нормализованном состоянии имеют твердость 55—65 единиц по Шору. Такие валки значительно дешевле, чем кованные.

В последние годы начали применять составные опорные валки; ось изготовляют из кованой углеродистой или легированной стали, обеспечивающей высокую прочность, а бандаж толщиной 200—250 мм из твердого чугуна с отбеленным рабочим слоем, обеспечивающим высокую стойкость. Бандаж насаживают на ось в горячем состоянии.

Кроме поперечной разнотолщинности, при горячей прокатке листовой стали наблюдается продольная разнотолщинность. Одной из причин продольной разнотолщинности является неодинаковая температура по длине полосы. Так, в результате непрерывного охлаждения полосы при транспортировке по рольгангу от черновой группы к чистовой и во время прокатки в чистовой группе температура прокатки заднего конца полосы оказывается ниже температуры прокатки переднего конца полосы примерно на 50—60 град. Это снижение температуры увеличивает сопротивление деформации.

Продольная разнотолщинность может быть вызвана неодинаковой температурой металла по длине сляба. При нагреве слябов в методических печах их перемещают к глиссажным трубам, охлаждаемым водой. Участки слябов, опирающиеся на глиссажные трубы, имеют температуру ниже, чем остальная часть сляба. В томильной зоне, где слябы скользят по балкам, не подвергаемым охлаждению, температура металла выравнивается, но неполностью, что приводит к утолщениям на горячекатаных полосах.

Причиной разнотолщинности по длине может быть также недопустимое натяжение полосы между клетями чистовой группы. Усилие натяжения должно находиться в допускаемых пределах.

На продольную разнотолщинность оказывают также влияние скорость прокатки, биение подшипников качения опорных валков и др.

Температура конца прокатки на непрерывных станах зависит от температуры и толщины подката, поступающего в чистовую группу клетей, от скорости прокатки и толщины полосы, выходящей из последней клетки чистовой группы. Обычно температура подката, поступающего в чистовую группу, не превышает 1100 °С. Поэтому при прокатке листовой стали толщиной менее 3 мм температура конца может снижаться до 700 °С. При таких температурах конца прокатки металл получает значительный наклеп и должен подвергаться термической обработке. От температуры конца прокатки зависит также получение соответствующей и равномерной структуры листовой стали.

Нормальной температурой конца прокатки, обеспечивающей мелкозернистую структуру и не приводящей к наклепу, можно считать темпе-

ратуру 800—900 °С; она не должна превышать 950°, выше которой увеличивается зерно, ухудшаются механические и пластические свойства стали. На некоторых заводах для получения равномерной структуры металла после прокатки листов на непрерывном стане при температуре выше критической (при отсутствии нормализации и отжига) применяют быстрое охлаждение водой под давлением 1,0—1,2 Мн/м² (10—12 ат) из специального устройства; последнее установлено на отводящем рольганге за чистовой группой клетей.

Для уменьшения обрезки кромок полосы желательно, чтобы ширина на сляба соответствовала заданной ширине полосы при определенной ее

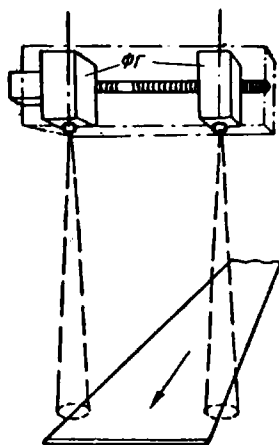


Рис. 293. Схема автоматического измерения ширины горячей полосы

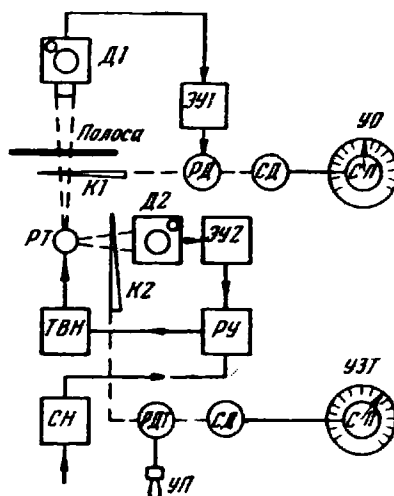


Рис. 294. Схема автоматического измерения толщины горячей полосы

толщине. Если из сляба полоса получается более широкой, чем требуется для ее последующей резки на готовый лист, то необходимо уменьшить ширину сляба при прокатке в уширительной клетке.

Для непрерывного контроля ширины полосы за последней чистовой клетью стана над рольгангом устанавливают фотоэлектрический измеритель (рис. 293). На две фотоэлектрические головки ФГ проектируются через оптические линзы края горячей полосы. При изменении ширины полосы изменится интенсивность освещения головок. При этом на указывающем или регистрирующем приборе на пульте оператора будет видно отклонение ширины полосы (в мм) от заданного размера.

Для измерения толщины движущейся горячекатаной полосы используют принцип поглощения ею рентгеновских лучей. Это поглощение пропорционально толщине полосы [11. 1, 3, 4, 5].

Рентгеновская трубка РТ (рис. 294) создает два перпендикулярных луча: один вверх на полосу через клин К1, другой вправо на эталонный клин К2. Трубку питают переменным током, и поэтому ее лучи являются пульсирующими. За клином К2 расположена головка Д2 с флуоресцирующим экраном. В головке помещена газоразрядная лампа, свет которой также пульсирует и является эталоном. Если яркость флуоресцирующего экрана при пульсации правого луча рентгеновской трубки равна эталонной яркости газоразрядной лампы, то на фотоэлемент, находящийся в головке Д2, падает световой поток, не имеющий переменной составляющей, и на усилителе ЭУ2 напряжение равно нулю. Если имеется

разность свечения, то напряжение $\mathcal{E}У2$ воздействует на чувствительное электронное регулирующее устройство $PУ$, которое уменьшит напряжение на высоковольтном трансформаторе $TВН$ настолько, насколько это необходимо для уравнивания яркостей экрана и лампы. Вследствие того, что лампа является эталоном, $PУ$ поддерживает постоянной мощность излучения рентгеновской трубки $PТ$. Головка $Д1$ подобна головке $Д2$; если толщина полосы равна толщине клина $K1$, то на электронном усилителе $\mathcal{E}У1$ напряжение будет равно нулю. Если появится напряжение на $\mathcal{E}У1$, то сработает реверсивный двигатель $PД$; он выдвинет клин $K1$ и уравнивает яркость свечения экрана и лампы в головке $Д1$. При этом суммарная толщина полосы клина $K1$ будет равна толщине клина $K2$.

Таким образом, толщина полосы равна разности толщин $K2$ и $K1$. Положение клина $K1$ сельсин-датчиком $СД$ передается на сельсин-приемник $СП$ со шкалой, градуированной в единицах отклонения толщины полосы от заданной. Такая же передача имеется и в механизме привода эталонного клина $K2$; на шкале $УЗТ$ оператором устанавливается заранее деление, соответствующее номинальной толщине полосы. Если стрелка на другой шкале $УО$ стоит на нуле, то толщина прокатываемой полосы равна заданной.

Отклонение стрелки $УО$ от нулевого положения соответствует отклонению толщины от ее заданного значения. К сельсин-приемнику $СП$ можно подключить регистрирующий прибор и записывать отклонения толщины полосы при прокатке. Для стабилизации показаний приборов питание установки осуществляется от стабилизатора $СН$. Рентгеновскую трубку устанавливают над рольгангом в жестком кожухе, охлаждаемом водой.

2. ПРОКАТКА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ НА СТАНАХ ЛИНЕЙНОГО ТИПА

Толстые листы на станах линейного типа можно прокатывать различными способами. Последние зависят от ширины слябов, из которых прокатывают листы. В тех случаях, когда ширина сляба равна ширине

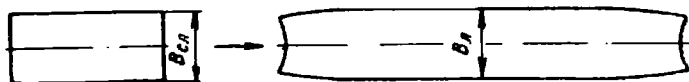


Рис. 295. Схема прокатки толстых листов из слябов (ширина сляба примерно равна ширине листа)

листа с необрезанными боковыми кромками, сляб прокатывают вдоль до необходимой толщины и длины листа с припусками для обрезки переднего и заднего концов (рис. 295).

Часто толстолистовую сталь прокатывают на станах линейного типа из слябов, ширина которых меньше ширины листов. В таких случаях процесс прокатки состоит из трех стадий.

В первой стадии (рис. 296, а) слябы прокатывают вдоль для выравнивания толщины, которая вследствие смятия концов при резке на ножницах слябинга и блюминга неодинакова. Кроме того, прокатка сляба вдоль уменьшает сужение концов листа. Последнее будет тем меньше, чем больше вытяжка при прокатке сляба вдоль в первых проходах и чем больше ширина сляба.

Во второй стадии (рис. 296, б) слябы прокатывают поперек для получения необходимой ширины листа. Эту стадию процесса прокатки обычно называют разбивкой ширины листа. Для этого сляб после первых 2—4 проходов поворачивают на 90° и прокатывают поперек его

длины. После получения необходимой ширины начинается третья стадия прокатки — получение необходимой длины. Для этого раскат снова поворачивают на 90° и прокатывают его вдоль (рис. 296, в).

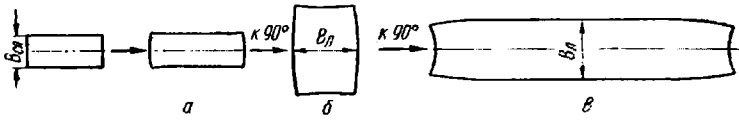


Рис. 296. Схема прокатки толстых листов из слябов (ширина сляба меньше ширины листа):

а — прокатка сляба вдоль; б — прокатка раската поперек для получения необходимой ширины листа; в — прокатка раската вдоль для получения толщины и длины листа

При прокатке толстых листов из слябов с шириной меньше ширины листа разбивка ширины листа может и не производиться, если ширина его будет получаться из длины сляба, а длина — из ширины сляба. Это достигается прокаткой сляба в поперечном направлении (рис. 297). Та-



Рис. 297. Схема прокатки толстых листов из слябов (ширина сляба меньше ширины листа, а длина сляба примерно равна ширине листа)

кой способ прокатки уменьшает анизотропность и улучшает механические и технологические свойства образцов, вырезанных из листа в поперечном направлении. Однако прокатку в поперечном направлении широко не применяют, так как при недостаточной обрезки на слябинге может наблюдаться образование большого количества расслоений по боковым кромкам листа. Кроме того, этот способ может быть применен только при прокатке листов из слябов, а главное — длина сляба ограничивается длиной бочки вала, что ведет к значительному снижению массы сляба и, следовательно, производительности стана.

Ширина слитков, применяемых для прокатки листовой стали, всегда меньше ширины листов. Поэтому процесс прокатки толстых листов из слитков также состоит из трех стадий: прокатки слитка вдоль для снятия конусности и выравнивания толщины по длине, прокатки поперек для получения необходимой ширины листа и прокатки в продольном направлении для получения необходимой длины листа. На старых станах линейного типа прокатку слитка или сляба для получения необходимой ширины листа часто ведут с задачей не по длине, а на угол (рис. 298, а и б).

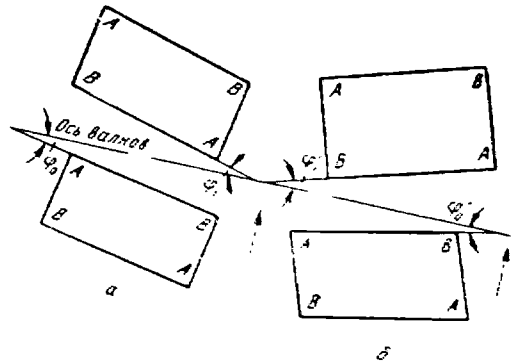


Рис. 298. Прокатка на угол:

а — задача раската углом А; б — задача раската углом В

В этом случае в первых проходах слиток прокатывают вдоль для снятия конусности и обеспечения одинаковой толщины по длине, после чего производят прокатку на угол. Для получения раската прямоугольной формы при прокатке на угол его задают в валки то одним углом (рис. 298, а), то другим (рис. 298, б).

При прокатке на угол увеличиваются длина и ширина раската, причем это увеличение зависит от угла задачи φ_0 ; чем больше угол задачи, тем меньше увеличивается ширина раската. Для ускорения разбивки ширины угол задачи обычно принимают в пределах $10\text{--}20^\circ$.

Ширина раската при прокатке на угол может быть определена по формуле И. М. Павлова

$$b_1 = \frac{b_0 \mu}{\sqrt{1 + \sin^2 \varphi_0 (\mu^2 - 1)}},$$

где b_0 и b_1 — ширина раската до прохода и после него;
 μ — коэффициент вытяжки.

Преимуществом прокатки на угол при разбивке ширины листа является постепенное увеличение давления металла на валки в период захвата. Задача раската длинной стороной параллельно оси валков вызывает ударную нагрузку на валки, но сокращает продолжительность прокатки и уменьшает количество отходов при обрезке боковых кромок, переднего и заднего концов листа. Поэтому на современных станах линейного типа, оборудованных манипуляторами и кантователями и прокатывающих листы из сравнительно широких слябов, прокатку на угол при разбивке ширины листа не применяют.

На двухклетевых листовых станах линейного типа около 80% обжата осуществляется в черновой клетке и лишь около 20% — в чистовой, что обеспечивает одинаковую загрузку этих клеток по времени. В зависимости от толщины листа и сляба толщина подката, поступающего в чистовую клетку, различна. Например, при прокатке на этих станах листов толщиной 4—25 мм толщина подката составляет 15—50 мм.

Прокатка в черновых клетках двухклетевых листовых станов осуществляется при высоких температурах. Температура начала прокатки в этих клетках ограничивается допустимой температурой нагрева слябов и находится в пределах $1150\text{--}1200^\circ\text{C}$. Температура конца прокатки в этих клетках зависит от толщины слябов, толщины подката, числа проходов и времени прокатки и практически составляет $1000\text{--}1100^\circ\text{C}$. При таком снижении температуры прокатки режимы обжатов в черновых клетках могут быть одинаковыми для всех прокатываемых сталей, так как сопротивление деформации последних при данных температурах отличается незначительно. Уменьшение температуры после каждого прохода можно определить по формуле В. А. Тягунова [V. 29]

$$\Delta t = \frac{t - 400}{16} \cdot \frac{z}{h},$$

где t — температура прокатываемой полосы в предыдущем проходе, $^\circ\text{C}$;
 h — толщина прокатываемой полосы в предыдущем проходе, мм;
 z — время прохода и последующей паузы, сек.

Температура начала прокатки листов в чистовой клетке двухклетевых станов обычно не ниже 950°C . Нормальной температурой конца прокатки, обеспечивающей мелкозернистую структуру и не приводящей к наклепу, можно считать температуру в пределах $800\text{--}900^\circ\text{C}$.

Для получения удовлетворительной структуры металла после прокатки листы охлаждают на рольганге холодильника с ребристыми роликами, установленными за чистовой клеткой стана. Над роликами и внизу между ними находятся коллекторы с форсунками, присоединенными к

цевовым магистралям воды и воздуха. Горячие листы, находящиеся на рольганге, охлаждаются водяной пылью из форсунок до 600—700 °С.

В табл. 31 приведена схема обжатий при прокатке листовой стали на двухклетевом стане 2800 (см. рис. 253).

Таблица 31

Схема обжатий при прокатке листовой стали толщиной 14 мм шириной 2070 мм из слябов толщиной 200 мм и шириной 1600 мм (по данным М. Л. Зарощинского)

Номер прохода	Клеть	Размеры раската			Обжатие	
		толщина мм	ширина мм	длина м	мм	%
1	С вертикальными валками	200	1580	2,47	20	1,3
2	Черновая дуо	182	1735	2,47	18	9,0
3	» »	152	2080	2,47	30	16,5
4	С вертикальными валками	152	2070	2,48	10	0,5
5	То же	152	2060	2,49	10	0,5
6	Черновая дуо	112	2065	3,37	40	26,3
7	» »	82	2070	4,60	30	26,8
8	» »	60	2070	6,28	22	26,8
9	Чистовая кварто	44	2070	8,56	16	26,7
10	» »	32	2070	11,77	12	27,5
11	» »	24	2070	15,70	8	25,0
12	» »	19	2070	19,83	5	20,8
13	» »	16	2070	23,55	3	15,8
14	» »	14,5	2070	26,00	1,5	9,4
15	» »	14,0	2070	26,91	0,5	3,5

Бочки валков черновой дуо-реверсивной клетки выполняют обычно цилиндрическими. Это объясняется тем, что валки во время работы охлаждаются водой и таким образом сохраняют цилиндрическую форму. Некоторый прогиб валков во время прохода полосы, в результате которо-



Рис. 299. Изгиб валков при прокатке полосы

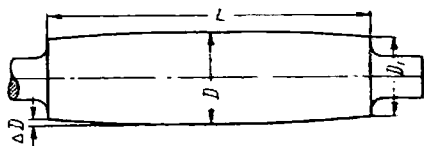


Рис. 300. Профиль бочки среднего валка клетки трио Лаута

го образуется овальная щель между валками (рис. 299), только способствует устойчивому положению полосы в валках и позволяет избежать «забрасывания» полосы на станину рабочей клетки [II. 29].

Верхний и нижний валки чистовых клетей трио Лаута изготавливают с цилиндрической бочкой; уменьшение разнотолщинности из-за прогиба и износа валков достигается профилировкой бочки среднего валка. Последний изготавливают с цилиндрической бочкой или с небольшой выпуклостью (рис. 300). По мере выработки валков разнотолщинность по ширине листа увеличивается, и, когда она станет равной максимальной допускаемой величине, средний валок заменяют другим с большей выпуклостью. Когда выпуклость бочки среднего валка достигнет 2—2,5 мм, меняют весь комплект валков. Бочки верхнего и нижнего валков чистовых клетей трио Лаута могут быть изготовлены также с небольшой выпуклостью. В этом случае бочку среднего валка изготавливают с не-

большой вогнутостью. По мере выработки валков средний валок также заменяют другим сначала с меньшей вогнутостью, затем с цилиндрической бочкой и, наконец, валком с выпуклостью до 2 мм. Это мероприятие не только обеспечивает возможность прокатки листовой стали с допускаемой разнотолщинностью, но также увеличивает срок службы валков и уменьшает простои из-за их перевалки.

Опорные валки чистовых клетей кварто изготавливают с цилиндрической бочкой, верхний рабочий валок изготавливают с небольшой выпуклостью бочки, а нижний валок с цилиндрической бочкой. В некоторых случаях бочки рабочих валков чистовых клетей кварто изготавливают с небольшой вогнутостью, что обеспечивает лучшее удержание листа в валках от осевого перемещения, но увеличивает разнотолщинность полосы.

Для уменьшения разнотолщинности на новых валках следует прокатывать сначала широкие и тонкие листы, а по мере выработки валков постепенно уменьшать ширину и увеличивать толщину листов.

Разнотолщинность по ширине зависит также от температуры прокатки и обжата в последних проходах. Для уменьшения разнотолщинности следует заканчивать прокатку при оптимальных температурах и обжатах в последних проходах.

При прокатке широких листов толщиной менее 10 мм разнотолщинность по ширине может сопровождаться образованием волнистости по краям листа при вогнутом профиле валков в момент прокатки и посредине при выпуклом профиле, что объясняется неравномерным обжатием по ширине листа. Для устранения этой волнистости, уменьшения разнотолщинности и получения точных размеров листа применяют проглаживание, которое заключается в дополнительном проходе листа между валками при том же зазоре или несколько большем, чем при последнем проходе.

Валки черновых дуо-реверсивных клетей двухклетевых станов линейного типа изготавливают из ковanej стали 50ХН—60ХН и 60ХГ, чугуна, а также из магниевого и никельмагниевого чугуна.

Все валки чистовых клетей трио Лаута и рабочие валки чистовых клетей кварто двухклетевых станов изготавливают из чугуна с отбеленным рабочим слоем или из легированного чугуна. Так как износ среднего валка больше, чем крайних валков, то целесообразно средние валки клетей трио Лаута изготавливать с большей глубиной отбеленного рабочего слоя. Опорные валки чистовых клетей кварто обычно изготавливают из стали.

В последнее время на некоторых заводах осуществляют наплавку стальных валков электродной проволокой из стали 3Х2В8 под слоем флюса. Метод наплавки разработан институтом сварки АН УССР им. Патона. Твердость наплавленного слоя достигает 500 НВ. Стойкость наплавленных валков значительно увеличивается. Для увеличения стойкости валков применяют также поверхностную закалку бочки токами промышленной частоты.

При горячей прокатке листовой стали возникает необходимость удаления окалины с поверхности прокатываемой полосы. На непрерывных станах перед каждой группой устанавливают специальные клетки — окатиноломатели, где полоса получает небольшое обжатие, достаточное для дробления окалины, которая затем сбивается водой под давлением до 10—12 Мн/м² (100—120 ат).

В настоящее время удаление окалины при помощи сбива водой под давлением широко применяют и на станах линейного типа для горячей прокатки толстолистовой стали.

На рис. 301 показано устройство для сбива водой окалины на черновой клети двухклетевого стана 2800. Гипрометз рекомендует пользоваться следующими данными при разработке конструкции подобных устройств: давление воды у сопел не менее 10 Мн/м^2 (100 ат), сила удара струи в пределах $1,3\text{—}1,95 \text{ кн/м}$ (кгс/см) для углеродистых и низколегированных сталей и $1,6\text{—}2,7 \text{ кн/м}$ (кгс/см) для высоколегированных

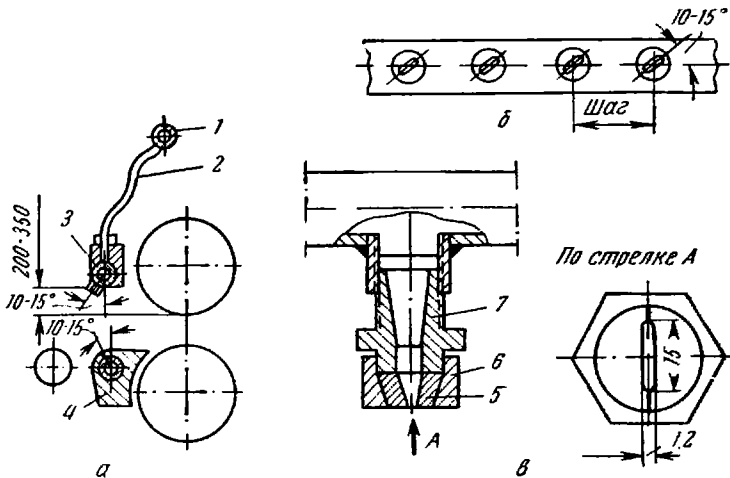


Рис. 301. Устройство для сбива водой окалины с поверхности полосы при прокатке в черновой дуо-реверсивной клети двухклетевого стана 2800:

а — вертикальный разрез; *б* — положение сопел в плане; *в* — сечение сопла; 1 — трубопровод; 2 — гибкий шланг; 3 — верхний коллектор; 4 — нижний коллектор; 5 — насадка; 6 — накидная гайка; 7 — корпус сопла

сталей; сечение выходного отверстия сопла $1,2 \times 15 \text{ мм}$; угол наклона сопел 10° ; угол поворота сопла в плане 15° ; перекрытие двух соседних струй 15 мм ; шаг сопел 100 мм ; расстояние от сопла до поверхности прокатываемой полосы $200\text{—}300 \text{ мм}$. Эти устройства устанавливают сверху и снизу обычно с задней стороны клети [II. 17].

На старых толстолистовых станах окалину обычно удаляют с помощью влажного хвороста — березовых веток, которые забрасывают на поверхность прокатываемых листов. Эти ветки при прокатке быстро сгорают, что приводит к выделению большого количества газов в замкнутом пространстве контактной зоны. Газы проникают в относительно рыхлый слой окалины и разрывают его. Сорванную окалину сметают метлами или смывают водой.

При нагреве сталей, содержащих никель и медь, образуется «липкая» и прочно связанная с основным металлом окалина. Эту окалину удаляют водой под давлением с одновременным забрасыванием влажных березовых веток или поваренной соли.

На одном из наших заводов для улучшения удаления окалины на валках чернового окалиноломателя непрерывного листового стана 1700 сделаны лунки длиной 46 мм , шириной 23 мм и глубиной $6\text{—}7 \text{ мм}$ с углом уклона $27\text{—}30^\circ$. Лунки сделаны в шахматном порядке с расчетом обеспечить перекрытие прокатываемой полосы.

При прокатке в таких валках основным фактором, приводящим к разрушению окалины, является паровзрывной эффект. Вода, подаваемая на валки, попадает в лунки, в результате чего в очаге деформации

образуется перегретый пар, способствующий срыву печной окалины, которая далее удаляется гидросбивом.

Как показала практика работы на этом стане, применение паровзрывного удаления окалины значительно снизило отсортировку холоднокатаной листовой стали по окалине.

Валки с лунками применяют также в черновых клетях двухклетевых станов линейного типа.

Недостатками лунчатых валков является большая вибрация при прокатке в них и более интенсивный износ подшипников. В последнее время лунчатые валки заменяют рифлеными валками при прокатке в черновой клети. Такие валки изготовляют наплавкой. Они обеспечивают хорошее удаление окалины и лучшее качество поверхности листовой стали в сочетании с хорошей стойкостью валков.

3. ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ НА СТАНАХ С МОТАЛКАМИ В ПЕЧАХ

На одном из наших заводов имеется стан 1200 с моталками в печах, состоящий из черновой универсальной клети и чистой клети кварто с моталками в печах. Стан предназначен для прокатки трансформаторной стали из литых слябов, получаемых с установки непрерывной разливки стали. Литые слябы трансформаторной стали размерами $150 \div 160 \times 800 \times 4100 \div 4300$ мм после осмотра и удаления поверхностных дефектов нагревают в методических печах до $1240-1260^\circ\text{C}$ и подают к черновой универсальной клети стана [I. 7; II. 11].

Режим прокатки трансформаторной стали в этой клети приведен в табл. 32. Прокатку производят за семь проходов. Суммарное обжатие составляет 92,4%. Температура конца прокатки в этой клети равна $990-1020^\circ\text{C}$.

После прокатки в черновой универсальной клети и обрезки концов полоса передается в чистовую клеть кварто с моталками в печах, где прокатывается до толщины 2,5 мм за три прохода. Режим обжатий в чистой клети приведен в табл. 32.

Трансформаторная сталь — высоколегированная сталь, обладающая рядом особенностей. Недостаточная пластичность и склонность к наклепу затрудняют холодную прокатку этой стали. Пластичность трансформаторной стали является функцией многих

параметров горячей прокатки, важнейшим из которых является температурный режим.

Высокую пластичность трансформаторной стали определяет также режим охлаждения после горячей прокатки этой стали, который обеспечивает равномерную мелкозернистую структуру. Температура конца прокатки в этом случае должна быть несколько выше температуры критических превращений, т. е. примерно $860-880^\circ\text{C}$. Охлаждение после горячей прокатки должно быть быстрым, а смотку в рулоны следует вести при температуре примерно 650°C . Окончание прокатки при этих условиях обеспечивает получение равномерной мелкозернистой структуры, а

Таблица 32

Схема прокатки трансформаторной стали

Номер прохода	Толщина, мм		Обжатие	
	до прохода	после прохода	мм	%
<i>Черновая универсальная клеть дуо</i>				
1	150	128	22	14,66
2	128	95	33	25,8
3	95	70	25	26,3
4	70	45	25	35,0
5	45	29	16	35,5
6	29	18	11	38,0
7	18	12,5	5,5	30,56
<i>Чистовая клеть кварто</i>				
1	12,5	6,5	6,0	48,0
2	6,5	3,5	3,0	45,0
3	3,5	2,5	1,0	28,5

при быстром охлаждении структурно свободный цементит не успевает выделяться. Последний резко снижает пластичность стали.

Процесс прокатки на реверсивном стане с моталками в печах существенно отличается от прокатки на непрерывных и полунепрерывных тонколистовых станах горячей прокатки. Одним из недостатков прокатки полос на реверсивном стане с моталками в печах является неравномерное охлаждение полосы по длине, причем наиболее сильно охлаждается головная и хвостовая части полосы.

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

К отделочным операциям при горячей прокатке листовой стали относят правку, охлаждение, резку, термическую обработку, удаление поверхностных дефектов и др. В зависимости от типа стана и программы прокатки отделочные операции выполняют на оборудовании, установленном в потоке технологического процесса или на складе готового проката [11. 10, 23, 24].

Правку листовой стали производят для придания ей ровной поверхности. Толстолистовую сталь, прокатанную на станах линейного типа, правят в горячем состоянии, так как при этом требуются меньшие усилия и уменьшаются остаточные напряжения. Чтобы обеспечить правку при высокой температуре, правильную машину устанавливают на продолжении рольганга за чистовой клетью, обычно на расстоянии не более 60 м от нее. Горячую правку листов не следует производить при температуре синеломкости, так как она ухудшает качество металла. Холодную правку листов на станах линейного типа применяют только для листов, не выправленных при горячей правке. На непрерывных станах правку листовой стали производят в холодном состоянии. Для правки листовой стали применяют многороликовые правильные машины.

Точность правки, кроме шага роликов, обуславливается также числом роликов в одной машине: чем больше роликов, тем выше качество правки. Обычно для правки листовой стали толщиной более 4 мм принимают 9—11 роликов, тонколистовой стали 13—17 роликов и в некоторых случаях 19—23. Шаг роликов принимают в зависимости от толщины листов, подвергаемых правке на данной машине. Диаметр роликов обычно принимают примерно 0,9 шага роликов. Длина бочки роликов определяется шириной выправляемых листов [11. 25].

Скорость правки зависит от требуемой производительности машины и принимается обычно равной 1—5 м/сек.

Ролики правильной машины должны быть установлены так, чтобы металл получал наибольшую деформацию между первыми роликами, а из последних роликов выходил совершенно ровным.

Охлаждение толстолистовой стали на современных листовых станах происходит при транспортировке по рольгангам, роликовым цепным транспортерам и стеллажам-холодильникам. Транспортеры представляют собой ряд бесконечных цепей с роликами, по которым катятся листы. Такие транспортеры устанавливают между правильной машиной и ножницами. Скорость движения цепей 0,2—0,5 м/сек.

Стеллаж-холодильник для охлаждения листов состоит из настила плит, цепного шлеппера с приводом, подводящего и отводящего рольгангов. После охлаждения листы осматривают с обеих сторон на инспекторском столе, оборудованном кантователем для кантовки листов на 180°.

После охлаждения и инспекторского осмотра производят резку листов. Для обрезки боковых кромок холодного листа (и горячего из высо-

копрочной стали) и его разрезки вдоль на несколько узких полос (если требуется) применяют дисковые ножницы, которые по назначению и конструктивному выполнению можно разделить на две группы: двухпарные и многопарные.

Двухпарные ножницы предназначены только для обрезки боковых кромок движущихся листов, а многопарные — для обрезки боковых кромок и резки листов вдоль на узкие полосы.

При резке листа на дисковых ножницах отрезаемые боковые кромки (отходы) удаляют от ножниц двумя способами: 1) наматыванием

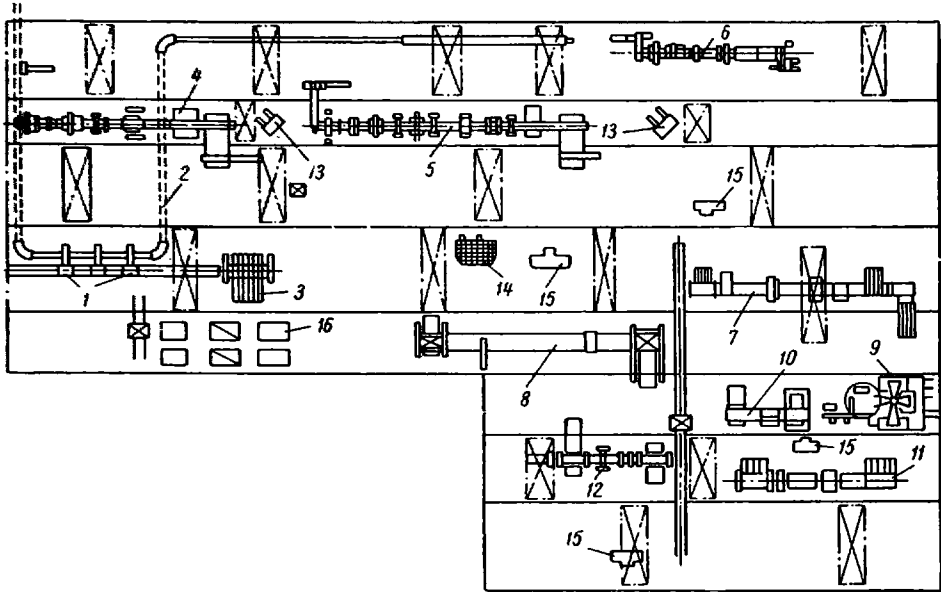


Рис. 302. Схема расположения оборудования для отделки листовой стали на непрерывных станах:

1 — моталки; 2 — конвейер для горячекатаных рулонов; 3 — укладчик листов; 4 — агрегат поперечной резки рулонов полосы 10×2350 мм; 5 — агрегат поперечной резки рулонной полосы 6×2350 мм; 6 — агрегат продольной резки рулонной полосы 8×2350 мм; 7 — агрегат резки листов толщиной 1.5—6 мм; 8 — агрегат нормализации и отжига листов; 9 — машина периодического травления; 10 — моечно-сушильный агрегат; 11 — агрегат продольной резки листов; 12 — дрессировочный стан; 13 — гильотинные ножницы с полем гусиных шеек; 14 — гильотинные ножницы; 15 — весы; 16 — колпаковые печи

на барабаны специальных моталок; 2) резкой на куски непосредственно за ножницами с последующей подачей их в установленный внизу корб.

Толщина листовой стали, разрезаемой на дисковых ножницах, обычно не превышает 30 мм.

Для поперечной резки листов на мерные длины применяют ножницы с верхним наклонным ножом или гильотинные ножницы. По конструкции эти ножницы закрытого типа, имеют две станины, в просвете между которыми установлен суппорт с ножами. Угол наклона верхнего ножа обычно принимают $1^{\circ}30'$ — 6° . При резке толстых листов иногда применяют угол наклона верхнего ножа до 8 — 12° .

На ножницах с наклонным верхним ножом сопротивление резанию оказывает не вся площадь сечения разрезаемого листа, а только некоторая небольшая часть его в виде треугольника. Благодаря наклону ножа усилие резания значительно уменьшается.

Усилие резания металлов на ножницах с наклонным ножом можно определять по формуле [II. 11]

$$P = \epsilon_n \frac{s^2}{\operatorname{tg} \alpha} \sigma_b$$

где σ_b — предел прочности разрезаемого металла;

s — толщина разрезаемых листов;

α — угол наклона ножа;

ϵ_n — относительная глубина надреза.

Как правило, ножницы имеют перекрытие ножей при полном их растворе, т. е. край одного наклона ножа всегда находится в соприкосновении с другим.

На рис. 302 представлена схема расположения оборудования для отделки листовой стали, прокатываемой на современных непрерывных станах. Листовую сталь сматывают в рулоны на моталках, установ-

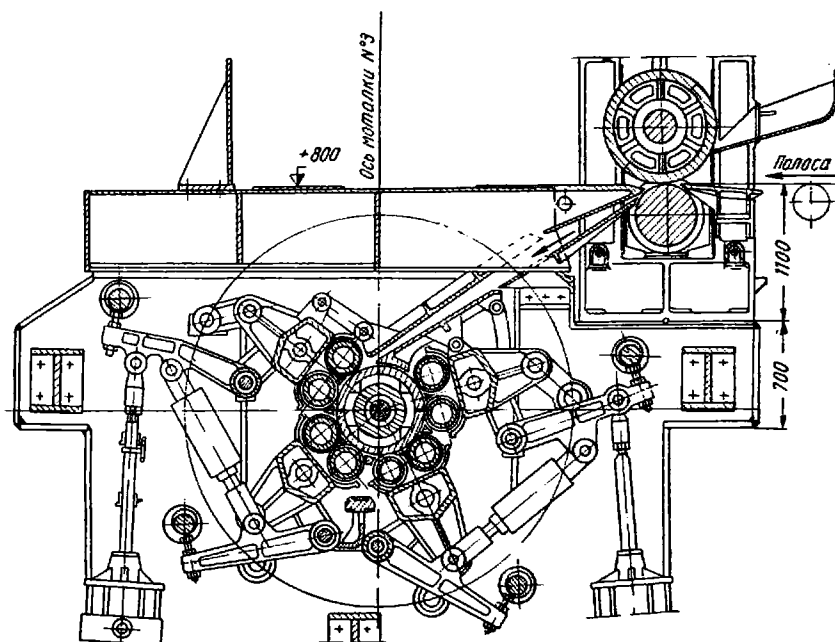


Рис. 303. Моталка для сматывания горячей полосы на непрерывном листовом стане 1700

ленных на продолжении отводящего рольганга стана на расстоянии 150—200 м от последней клетки (обычно три моталки в соответствии с производительностью стана).

На рис. 303 представлен общий вид моталки конструкции НКМЗ для сматывания горячей полосы в рулон массой до 8,5 т, прокатанной на непрерывном листовом стане 1700. Толщина полосы 2—10 мм, ширина 800—1500 мм, скорость сматывания 6,25—12,5 м/сек. Внутренний диаметр рулона 700 мм, максимальный наружный диаметр 1300 мм. Моталка расположена ниже уровня пола цеха.

Восемь формирующих роликов диаметром 300 мм попарно перемещаются (ход 350 мм) при помощи рычажной системы, приводимой двумя пневматическими цилиндрами; каждая пара роликов снабжена индивидуальным приводом от электродвигателя.

Натяжной центральный барабан диаметром 700 мм с длиной бочки 2050 мм приводится от электродвигателя мощность 180 квт через редуктор.

Сматывание полосы в рулон осуществляется следующим образом (рис. 304). Передний конец полосы 1 подающими 2 и направляющими 3 роликами по наклонному желобу направляется на вращающийся барабан моталки 4 и прижимается к нему восемью вращающимися

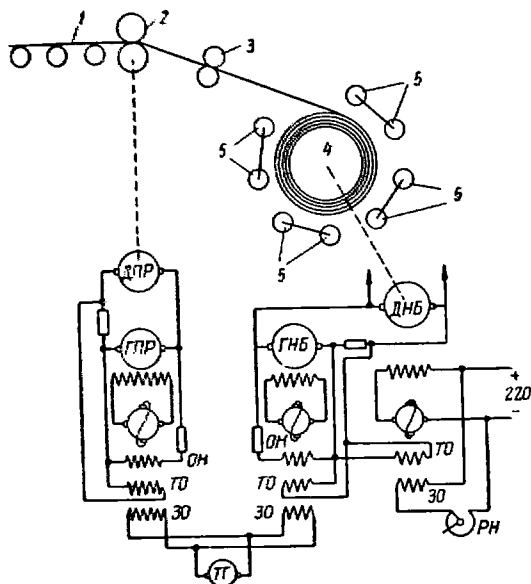


Рис. 304. Схема автоматизации моталки при сматывании горячей полосы

роликами 5. Первые плотные витки на барабане моталки формируются этими роликами, после чего барабан работает как тянущий; благодаря тянущему усилию, создаваемому барабаном, и формирующе-тянущему действию периферийных роликов достигается большая плотность витков полосы в рулоне. С увеличением диаметра рулона все периферийные ролики синхронно расходятся в радиальном направлении. После окончания сматывания полосы в рулон диаметр барабана уменьшается и рулон свободно стелкивается в осевом направлении на кантователь, который кантует его (поворачивает в вертикальное положение) и устанавливает на

расположенный рядом конвейер для рулонов.

Согласование скоростей производится следующим образом. Задающая обмотка 30 включена на якорь тахогенератора ТГ последней клетки стана, а обмотка напряжений ОН включена на якорь генератора ГПР; последний питает двигатель ДПР подающих роликов. Характеристики обмоток приводов устанавливают с таким расчетом, чтобы при холостом вращении барабана моталки его скорость была бы выше скорости подающих роликов, поэтому в начале наматывания полосы происходит ее натяжение для получения первых плотных витков; при этом двигатель ДПР нагружается. Регулирование натяжения полосы осуществляется токовой обмоткой ТО и в цепи двигателя наматывающего барабана моталки ДНБ.

Наряду с готовым прокатом непрерывные станы прокатывают листовую сталь, предназначенную для цеха холодной прокатки, находящегося обычно на том же заводе. В этом случае листовую сталь не подвергают отделке. Смотанные рулоны ст моталок передают подземным конвейером на склад, расположенный в травильном отделении цеха холодной прокатки.

Часть листовой стали, прокатываемой на современных непрерывных станах, отправляют потребителям в рулонах также без отделки. В этом случае рулоны от моталок поступают на транспортер, на котором установлена вязальная машина для вязки рулонов, после чего они поступают на склад для отправки потребителям.

Остальная часть листовой стали подвергается отделке, объем ко-

торой зависит от предъявляемых требований. В этом случае рулоны от моталок передают на склад горячекатаных рулонов, оборудованный различными отделочными агрегатами. К этим агрегатам относят агрегаты поперечной и продольной резки, печи для нормализации и отжига, травильную машину, дрессировочный стан и другое оборудование, необходимое для дополнительной отделки, взвешивания и упаковки листовой стали.

В соответствии с техническими условиями, а также по требованию заказчика рулоны, поступившие на склад, могут подвергаться разделке на листы и на более узкие полосы, т. е. подвергаться поперечной и продольной резке. Эти операции осуществляются с максимальной механизацией и автоматизацией на специальных разделочных агрегатах.

На агрегатах поперечной резки производят резку рулонов толщиной 1,2—10 мм на листы длиной 1,5—12 м. Кроме этой операции, на этих агрегатах осуществляют также обрезку боковых кромок, правку, сортировку, маркировку, промасливание, укладку в стопы, взвешивание и упаковку листов в пачки. Все эти операции осуществляют в следующем порядке. Передний конец рулона, уставовленного в разматывателе, задают в роликковую правильную машину, предназначенную для предварительной правки полосы, для обеспечения правильной обрезки кромок на дисковых ножницах. После этого на гильотинных ножницах отрезают передний конец и полоса поступает на дисковые ножницы с кромкокрошителями, затем в роликковую правильную машину, где производится окончательная правка, и далее на летучие ножницы для резки на мерные длины. От летучих ножниц листы по транспортеру поступают на сортировку по толщине и отбраковку, где имеются листоукладчики (один предназначен для укладки бракованных листов, а другой — годных листов). Перед укладкой листов в стопы их маркируют и промасливают. Стопы листов по цепному транспортеру подают к весам для взвешивания, после чего передают к упаковочной машине для упаковки в пачки массой до 15 т.

В последнее время в линии агрегата поперечной резки устанавливают дрессировочную клеть, оборудованную летучими микрометрами командного типа для управления нажимными винтами этой клетки, что должно уменьшать разнотолщинность листов.

Резку рулонов на более узкие полосы осуществляют на агрегатах продольной резки, состоящих из разматывателя, правильной машины, гильотинных ножниц, дисковых ножниц с кромкокрошителями, машины для промасливания, моталки, весов и машины для упаковки.

В современных листопрокатных цехах очистка поверхности полос от окалины производится травлением. Кроме того, в них устанавливают агрегаты, включающие правку, очистку поверхности полос от окалины, резку, смазку и упаковку. Очистка поверхности полос от окалины в таком агрегате производится посредством дробеструйного устройства. В последнее время начали применять огневое травление толстых листов, т. е. удаление окалины с поверхности листов с помощью газового пламени. Такой способ удаления окалины основан на разности коэффициентов теплового расширения окалины и металла; окалина трескается, отделяется от металла и механически удаляется с поверхности с помощью вращающихся металлических щеток.

В современных листопрокатных цехах, выпускающих качественную углеродистую и легированную листовую сталь, широко применяют термическую обработку. Наиболее распространенным видом термической обработки углеродистой и низколегированной листовой стали является нормализация, которая производится для снятия наклепа, получающего-

ся при низкой температуре конца прокатки, улучшения пластических свойств и получения мелкозернистой структуры.

Закалку с отпуском можно применять вместо нормализации при прокатке углеродистой и низколегированной листовой стали толщиной обычно более 15 мм. В этом случае закалка с отпуском является целесообразной и более надежной термической обработкой для повышения прочностных характеристик листовой стали.

Отпуску при 680—700 °С подвергают конструкционную качественную углеродистую (более 0,5% С) листовую сталь. Отпуск улучшает пластические свойства и вязкость стали, обеспечивая хорошую штампуемость и механическую обработку.

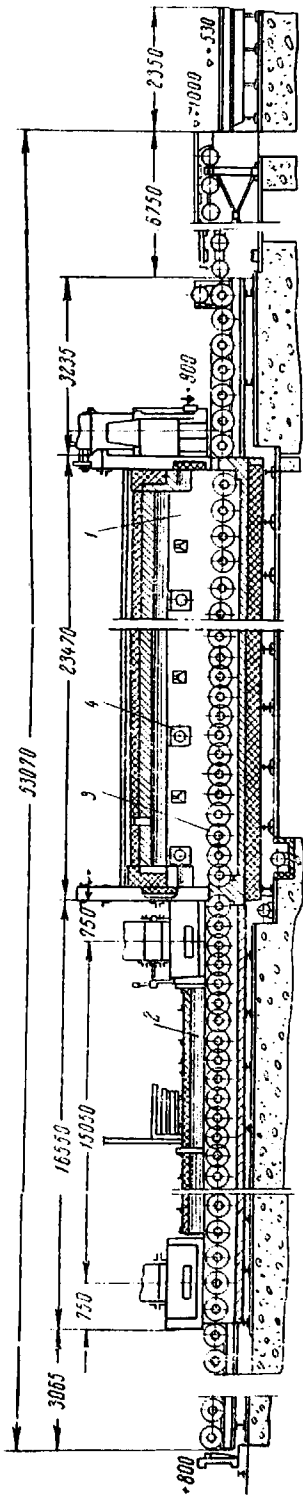
На некоторых листовых станах линейного типа печи для нормализации горячекатаной толстолистовой стали установлены непосредственно за станом в основном потоке технологического процесса. Нормализационная печь в этом случае расположена параллельно с рольгангом за роликковой правильной машиной. Листы подают к печи при помощи шлепперов. Нормализационная печь длиной 32 м имеет роликковый под с окружной скоростью роликов 0,2 м/сек. После выхода из печи листы проходят правку на роликковой правильной машине, установленной за печью, и далее поступают в общий поток. По данным завода, эта печь используется для высокого отпуска с целью снять наклеп, получающийся вследствие низкой температуры конца прокатки листовой стали толщиной 4—5 мм и более (особенно легированных и твердых углеродистых сталей). Эту печь используют также для подогрева листовой стали толщиной 4—5 мм перед повторной правкой в роликковой правильной машине, установленной за этой печью. Эта правка производится для устранения волнистости листов. Для нагрева листов в этой печи до температуры нормализации предусмотрен периодический режим работы ее, при котором листы после задачи выдерживают некоторое время при помощи качательного движения роликов; в этом случае печь является узким местом стана.

На большинстве станов нормализационные печи установлены вне основного технологического потока. В этом случае их используют не только для проведения нормализации и отпуска, но также для проведения закалки с отпуском. Наибольшее распространение для проведения этих операций термической обработки получили проходные печи с роликковым подом.

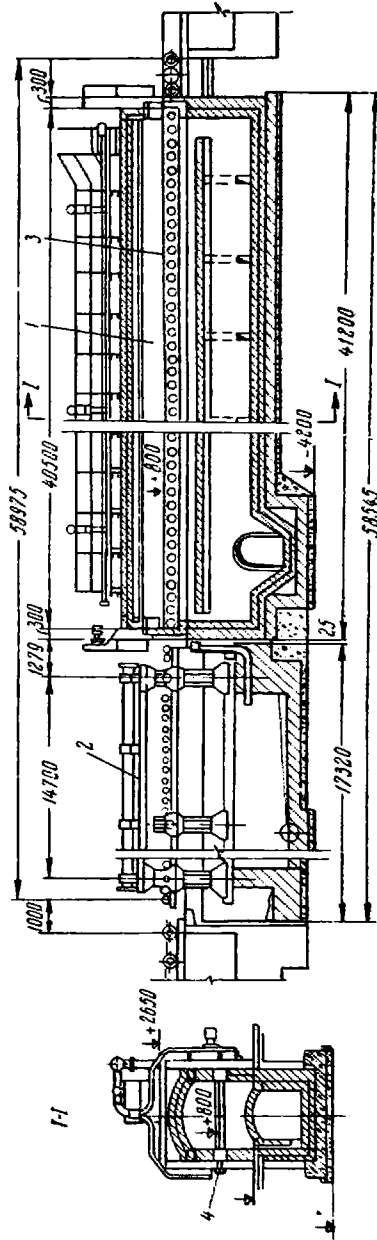
На рис. 305 представлен общий вид нормализационной печи для нормализации горячекатаной листовой стали толщиной 1,5—6 мм и шириной до 1500 мм конструкции Стальпроекта. Печь с роликковым подом имеет камеру нагрева 1 и камеру охлаждения 2. Применение роликов 3 с дисками позволяет уменьшить шаг их и обеспечить свободные проходы для обогревающих газов под листами. Ролики изготовлены из жаропрочной хромоникелевой стали; максимальная окружная скорость роликов 0,25 м/сек.

Печи такого же типа устанавливают для нормализации листовой стали толщиной 6—25 мм. Для нагрева толстых листов печи оборудованы горелками 4 не только сверху роликов, но и под ними, что обеспечивает дополнительную нижний обогрев листов и увеличивает производительность печи. В этом случае ролики пода применяют гладкими, изготовление которых проще.

В современных прокатных цехах, в которых прокатывают листовую сталь различного химического состава и назначения, одну и ту же проходную печь с роликковым подом используют для нормализации и для нагрева под закалку. В этом случае агрегат нормализации состоит из



Р и с. 305. Печь с роликовым подом для нормализации тонколистовой стали



Р и с. 306. Печь с роликовым подом для закалки и нормализации толстолистовой стали:
1 — камера нагрева; 2 — закаточная машина; 3 — роликовый под; 4 — инжекционные горелки

загрузочного устройства, проходной печи с роликовым подом, закалочного пресса, правильной машины и листоукладчика. На рис. 306 показана печь с роликовым подом конструкции Стальпроекта, предназначенная для нормализации листов толщиной 6—25 мм и нагрева под закалку листов толщиной 12—25 мм.

В случае нормализации листы из этой печи выдают на рольганг, по которому они поступают к правильной машине. После правки листы передают на стеллажи для охлаждения; затем их укладывают в столы и передают мостовым краном на склад. Если же в этой печи производят нагрев листов под закалку, то по выходе из печи лист быстро подают в закалочный пресс, зажимают его между неподвижной верхней и подвижной нижней плитами пресса и подают воду на обе стороны листа из большого количества сопел, близко расположенных друг к другу. Применение пресса позволяет предотвратить коробление листов при закалке. Листы после закалки, как правило, не требуют никакой правки. После закалки листы проходят отпуск, который может производиться в такой же печи, но имеющей две системы отопления, одну для нагрева листов при проведении нормализации или закалки, вторую для нагрева до температуры отпуска. Кроме того, отпуск можно производить в отдельной печи, установленной за печью для нормализации и закалки.

В печах такого же типа производят нагрев под закалку листов из нержавеющей аустенитной стали. В этом случае листы нагревают до 1100—1150 °С, после чего производят закалку в воде. Такая термическая обработка улучшает пластические и антикоррозионные свойства стали, так как при указанных температурах карбиды хрома переходят в твердый раствор аустенита, равномерно распределяясь в нем.

Отжиг листовой стали в современных листопрокатных цехах горячей прокатки производят обычно в колпаковых печах. Отжигу подвергают легированные и инструментальные стали для изменения механических свойств (увеличения относительного удлинения и снижения предела прочности и твердости).

В последнее время на заводах устанавливают колпаковые печи в цехе холодной прокатки листовой стали. В этих печах производят и отжиг горячекатаной листовой стали.

Часть горячекатаной листовой стали подвергают травлению, которое обычно производится в травильных машинах периодического действия. Часть горячекатаной тонколистовой стали подвергают дрессировке. Дрессировку производят после термической обработки и травления горячекатаной листовой стали для устранения линий скольжения, незначительной волнистости и коробоватости, уменьшения разнотолщинности и обеспечения хорошей поверхности.

На некоторых металлургических заводах применяют упрочняющую термическую обработку толстых листов (12—25 мм) из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей. После нагрева в печах листы при 900—920 °С охлаждают в воде на закалочном прессе (для предотвращения коробления). В результате такой термической обработки прочность листов повышается на 20—25% при сохранении достаточного уровня пластичности.

Хорошие результаты получены при упрочняющей термической обработке листов из стали Ст.Зпс, что позволяет применять их вместо листов из более дорогой низколегированной стали.

К основным дефектам горячекатаной листовой стали следует отнести неточность размеров, волнистость, коробоватость, поверхностные дефекты, неудовлетворительные механические свойства и др.

При прокатке толстых листов на станах линейного типа листы могут получаться короткими вследствие больших плюсовых допусков по толщине или большой разнотолщинности по ширине. В этом случае масса сляба, рассчитанная без запаса, может оказаться недостаточной для получения необходимой длины листа.

Листы могут получиться короткими и при неправильной разбивке ширины, когда допущен чрезмерный припуск на обрезку кромок, в результате чего может оказаться недостаточно металла для получения необходимой длины. Причиной получения коротких толстых листов может быть недостаточная масса слябов и неправильная форма раската, поступающего из черновой клетки (ромбичность, сильно вытянутые края).

При прокатке тонких листов пакетами на станах дуо линейного типа короткие листы получаются из-за несовпадения концов листов в пакете, что происходит из-за неодинаковой длины полуракатов, неправильного дублирования и небрежной сборки пакетов.

При прокатке толстых листов на станах линейного типа листы вследствие неправильной разбивки ширины могут получиться узкими.

При прокатке листов на непрерывных станах ширина их регулируется вертикальными валками черновых универсальных клетей стана. Поэтому при неправильной установке вертикальных валков листы, прокатываемые на этих станах, могут получиться узкими.

Дефектом листовой стали является также большая разнотолщинность по ширине, которая превышает установленную ГОСТом. Это наблюдается при значительной выработке валков, прокатке тонких листов с большими обжатиями в последних проходах, а также при низких температурах конца прокатки.

При прокатке листовой стали кромки могут получиться разной толщины, что обычно происходит из-за перекоса валков в вертикальной плоскости. Кроме того, это может произойти при прокатке в выработанных валках, когда середина листа не совпадает с серединой бочки валков. Разная толщина кромок может получиться при неодинаковой температуре полосы по ширине и при прокатке на неравномерно выработанных или неравномерно нагретых по длине бочки рабочих валках.

Листы могут иметь неодинаковую толщину не только по ширине, но и по длине. Чаще всего причиной этого является неодинаковая температура по длине прокатываемого листа, что наблюдается при неравномерном нагреве слябов и неравномерном охлаждении при прокатке. Неодинаковая толщина листов по длине получается также из-за овальности шеек и бочек опорных и рабочих валков и неправильной выработки подшипников. В этом случае листы имеют различную толщину по длине через определенные интервалы.

Неточные размеры и неправильная форма листов получаются в результате неправильной резки. Например, в результате неправильной разметки листы получаются короткими, длинными, узкими, широкими и косообрезанными.

Дефектом листовой стали является также волнистость, которая обычно наблюдается при прокатке листовой стали толщиной не более 6 мм. Причиной волнистости является неравномерное обжатие листов по ширине. Например, волнистость посередине ширины листов получается при прокатке с большим обжатием посередине, чем по краям. Это происходит из-за большой выпуклости бочки валков, являющейся результатом неправильного выбранного профиля бочки или результатом значительного разогрева бочки валков посередине.

Волнистость по обоим краям листов получается, если листы по краям подвергаются большим обжатиям, чем середина. Причинами такой волнистости обычно являются значительная выработка валков или значительный разогрев краев бочки валков.

Волнистость может быть и односторонней. Например, при задаче листа не посередине бочки валков образуется волнистость на стороне листа, прокатанной на невыработанном или менее выработанном месте бочки. Односторонняя волнистость образуется также при сильном нагреве одного края бочки валков или неравномерной их выработке.

Одной из наиболее часто встречающихся причин поверхностных дефектов при горячей прокатке листовой стали является окалина. С этим дефектом особенно приходится считаться при прокатке качественной углеродистой и легированной тонколистовой стали. Окалина вдавленная в поверхность листа, при резке, правке и других операциях технологического процесса производства листов отскакивает, образуя неровную шероховатую поверхность в виде рябизны. Последняя наиболее заметна на тонких листах. Она увеличивает расход кислоты при травлении, увеличивает расход олова и цинка при лужении и оцинковании, ухудшает штампуемость листов и др. Окалина не только портит поверхность, но и приводит к местному уменьшению толщины листа.

На поверхности листов встречаются также возвышения или углубления, причиной образования которых являются вмятины, царапины, глубокая сетка разгара, неровности и другие дефекты поверхности валков. Неудовлетворительное состояние проводок может привести к образованию рисок и царапин на поверхности листов.

Из остальных дефектов горячекатаной листовой стали следует отметить неудовлетворительные механические свойства, которые получаются вследствие неправильной температуры нагрева и прокатки, неправильного режима охлаждения листов после прокатки и других причин.

ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

1. ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

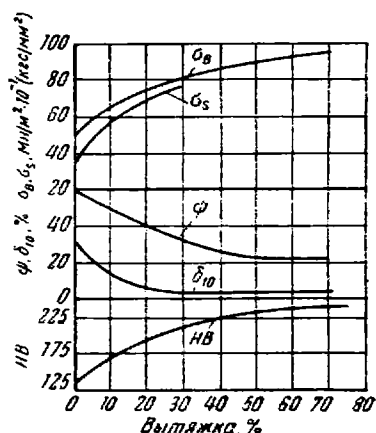
Холодная прокатка существенно изменяет свойства стали. Так, при небольших деформациях происходят значительные изменения механических свойств. На рис. 307 приведена диаграмма изменения механических свойств стали с содержанием углерода 0,27% при холодной обработке (волочение). Эта диаграмма показывает, что с увеличением деформации предел прочности и предел текучести возрастают, а удлинение уменьшается. Предел текучести возрастает в большей степени, чем предел прочности. Последнее означает, что с увеличением степени деформации интервал между пределом текучести и пределом прочности уменьшается. Следовательно, в результате холодной обработки металл наклепывается [V. 1, 6, 30].

Из приведенной диаграммы видно, что упрочнение металла при холодной обработке протекает особенно интенсивно при малых степенях деформации. По мере роста деформации (50—65%) интенсивность изменения свойств заметно снижается; металл при этом почти полностью утрачивает пластические свойства, и дальнейшее его формоизменение будет затруднено и может вызвать разрушение.

Таким образом, способность металлов упрочняться при деформации иллюстрируется кривыми деформационного упрочнения, которые выражают зависимость истинного напряжения от степени деформации. В некоторых случаях наклеп сопровождается повышением прочностных характеристик в несколько раз [II. 19, 21, 22, 33].

Диаграмма деформационного упрочнения важна для характеристики технологического процесса обработки давлением металлов в холодном состоянии. Такая диаграмма определяет состояние металла после каждой стадии деформации, что необходимо знать для правильного выбора схемы технологического процесса.

Способность металлов упрочняться зависит от типа их кристаллической решетки, что связано с количеством возможных систем скольжения. В металлах и сплавах с гранцентрированной кубической (г. ц. к.) решеткой (γ -железо, алюминий, медь, золото, серебро, никель и др.) наиболее плотноупакованными являются четыре плоскости типа {111}



Р и с. 307. Изменение механических свойств стали (0,27% С) при холодном волочении

и направления $\langle 110 \rangle$ (рис. 308). В каждой плоскости типа $\{111\}$ расположено три направления $\langle 110 \rangle$. Скольжение может происходить по любой из четырех указанных плоскостей в направлении $\langle 110 \rangle$, лежащим в данной плоскости. Таким образом, плоскость скольжения и направление скольжения, лежащее в этой плоскости, образуют систему скольжения. Следовательно, в металлах и сплавах с гранецентрированной кубической решеткой имеется 12 систем скольжения.

В металлах и сплавах с объемноцентрированной кубической (о. ц. к.) решеткой (α -железо, хром, молибден, вольфрам и др.) плотно-

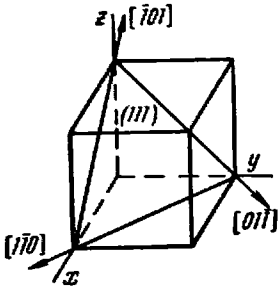


Рис. 308. Системы скольжения в гранецентрированной кубической решетке, связанные с плоскостью (111)

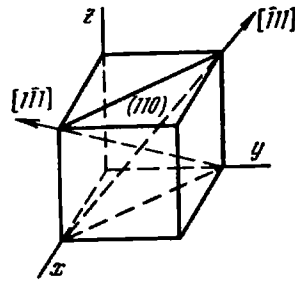


Рис. 309. Системы скольжения в объемноцентрированной кубической решетке, связанные с плоскостью (110)

упакованными являются шесть плоскостей типа $\{110\}$ и четыре направления $\langle 111 \rangle$. В каждой плоскости типа $\{110\}$ расположено по два направления $\langle 111 \rangle$ (рис. 309).

Однако в чистых металлах и некоторых сплавах с о. ц. к. решеткой в скольжении участвуют и менее плотноупакованные плоскости типа $\{112\}$ и $\{123\}$ [двенадцать плоскостей типа $\{112\}$ и двадцать четыре плоскости типа $\{123\}$]. Направлениями скольжения в этом случае также являются направления $\langle 111 \rangle$. В каждой из плоскостей типа $\{112\}$ и $\{123\}$ расположено по одному направлению скольжения $\langle 111 \rangle$. Таким образом, в общем случае металлы и сплавы с о. ц. к. решеткой имеют 48 систем скольжения.

Установлено, что металлы и сплавы с г. ц. к. решеткой, как правило, упрочняются сильнее, чем металлы и сплавы с о. ц. к. решеткой.

Наиболее полно объяснить эти факты можно при рассмотрении дислокационного механизма пластической деформации. Степень дислокационного упрочнения зависит не просто от наличия дислокаций в металле, а от поведения их скоплений, которое в свою очередь зависит от способов взаимного расположения и взаимодействия дислокаций.

Экспериментально установлено, что различные монокристаллы одного и того же материала, деформированные при одной и той же степени, упрочняются различно. Это обусловлено ориентацией монокристалла, точнее его систем скольжения относительно внешних сил. В случае, когда деформация монокристалла сопровождается незначительным упрочнением, в скольжении участвуют дислокации в близких по ориентациям системах скольжения, т. е. наблюдается «легкое скольжение». При этом не возникают существенные препятствия, задерживающие их перемещение. Если ориентация монокристалла такова, что деформация в нем осуществляется по нескольким системам скольжения, в том

числе и пересекающимся, то такой монокристалл быстро и сильно наклепывается. Это связано с тем, что при перемещении дислокаций в пересекающихся плоскостях скольжения происходит их взаимная блокировка, препятствующая их дальнейшему перемещению. Такое скольжение называют турбулентным и оно сопровождается энергичным упрочнением.

Таким образом, чем больше систем скольжения участвует в деформации (множественность скольжения), тем сильнее упрочнение при наклепе, что вызвано взаимными препятствиями, возникающими между

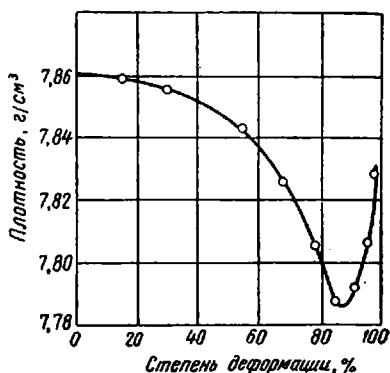


Рис. 310. Зависимость плотности железа от степени деформации

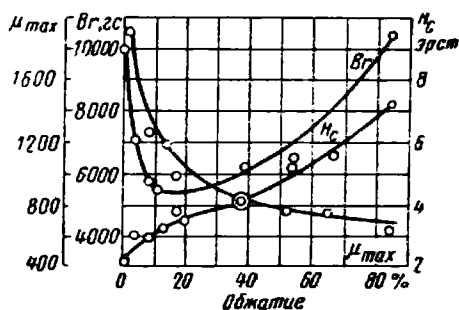


Рис. 311. Зависимость магнитных свойств стали (0,07% C) от степени деформации

дислокациями, движущимися по пересекающимся плоскостям скольжения.

Холодная обработка металлов давлением сопровождается уменьшением плотности. Это изменение плотности обычно невелико и для железа и аустенитных сталей составляет около 0,8—0,9%. При очень больших деформациях (больше 90%) иногда наблюдают повышение плотности (рис. 310).

Уменьшение плотности при холодной обработке давлением связывают обычно с увеличением количества дефектов тонкого строения (дислокаций и вакансий).

Холодная обработка металлов давлением оказывает также большое влияние на электрические и магнитные свойства металлов. Как правило, при деформации происходит небольшое (2—6%) увеличение электросопротивления чистых металлов, более интенсивно (до 20%) растет электросопротивление однофазных твердых растворов и значительно (до 100% и более) увеличивается электросопротивление упорядоченных твердых растворов.

Увеличение электросопротивления при холодной обработке металлов давлением обусловлено упругими искажениями решетки и наличием дислокаций, усиливающих рассеяние электронов проводимости. Для сплавов со сверхструктурой повышение электросопротивления в результате наклепа связано с разрушением упорядоченной структуры.

Наклеп сопровождается также изменением структурно чувствительных магнитных свойств: коэрцитивной силы, проницаемости, остаточной индукции. На рис. 311 представлена зависимость этих характеристик от степени деформации для мягкой железной проволоки. Из рисунка видно, что коэрцитивная сила возрастает, а магнитная прони-

цаемость уменьшается. Остаточная индукция резко снижается при малых обжатиях и увеличивается с повышением деформации.

Следует также отметить, что холодная пластическая деформация сопровождается появлением металлографической текстуры деформации, связанной с неоднородным (направленным) распределением примесей, границ зерен и т. д., а также появлением кристаллографической текстуры деформации, характеризующейся преимущественным пространственным расположением кристаллической решетки во всех зернах металла.

Различают следующие основные типы текстур деформации: 1) текстуры растяжения, 2) текстуры сжатия, 3) текстуры прокатки.

Текстуры растяжения и сжатия — это аксиальные текстуры, т. е. в этом случае фиксируется только направление.

Текстура прокатки является ограниченной. В ней в направлении прокатки устанавливается какое-либо кристаллографическое направление, а с плоскостью прокатки совпадает одна из кристаллографических плоскостей.

Тип текстуры определяется характером течения материала в тех или иных условиях деформации.

Как правило, текстуры деформации многокомпонентны, т. е. описываются не одной, а несколькими идеальными ориентациями. Это зависит также от количества систем скольжения, участвующих в деформации. Чем больше систем участвует в скольжении, тем более многокомпонентна и рассеяна текстура деформации. С увеличением степени деформации степень совершенства текстуры увеличивается.

Кристаллографические текстуры деформации оказывают большое влияние на физико-механические свойства металла. Наличием текстур деформации обусловлена анизотропия многих свойств сильно наклепанного металла. Степень анизотропии связана со степенью совершенства текстуры.

В некоторых случаях появление анизотропии свойств рассматривается как нежелательное явление (например, при штамповке изделий из холоднокатаной листовой стали), приводящее к браку, а в других случаях стремятся получить более анизотропный материал (трансформаторная сталь).

Как правило, текстуры после горячей обработки давлением очень сложны и более рассеяны. Это связано с участием в скольжении

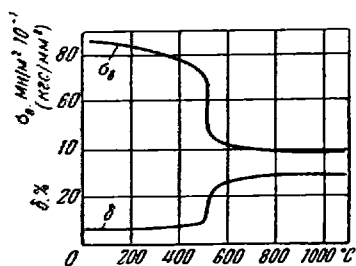


Рис. 312. Зависимость механических свойств холоднодеформированной стали от температуры отжига

большого количества систем с полигонизацией и отдыхом, изменяющими тип текстуры и распределение ее по сечению металла.

Текстуры деформации оказывают также большое влияние на развитие процессов рекристаллизации при последующих нагревах и формирование текстур рекристаллизации.

Состояние наклепа по отношению к недеформированному состоянию термодинамически неустойчиво, поэтому неблагоприятные изменения свойств можно устранить последующим нагревом стали. Если при холодной обработке должна быть произведена значительная деформация, то последнюю разделяют на несколько стадий, чередуя холодную обработку с нагревами. Таких чередований в зависимости от размеров

готового проката и характера исходного материала может быть несколько.

Если, например, образцы стали, сжатые в холодном состоянии, подвергать нагреву до 400 °С и более, то пластичность повышается, а прочность снижается. Это изменение механических свойств в зависимости от температуры нагрева после холодной деформации показано на диаграмме (рис. 312). На этой диаграмме можно заметить резкий скачок изменения механических свойств (предела прочности и удлинения) при

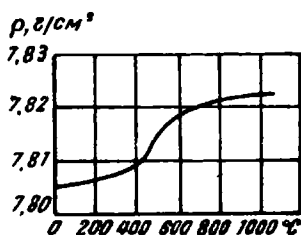


Рис. 313. Зависимость плотности холоднодеформированной стали от температуры отжига

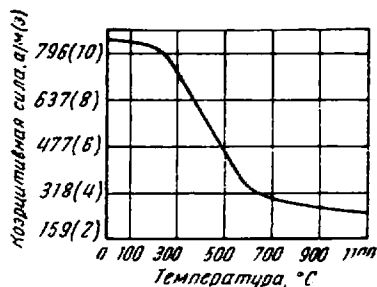


Рис. 314. Зависимость коэрцитивной силы холоднодеформированной стали от температуры отжига

температуре от 400 до 550 °С. Нагрев до температуры ниже 400 °С значительного влияния на свойства металла не оказывает.

Аналогично нагрев действует и на другие свойства стали. Это означает, что свойства стали, утраченные при обработке в холодном состоянии, при нагреве с последующим охлаждением восстанавливаются.

На рис. 313 и 314 представлены диаграммы влияния температуры нагрева мягкой стали, обработанной в холодном состоянии, на плотность, коэрцитивную силу и гистерезисные потери.

В процессе устранения последствий холодной обработки следует различать два этапа. Первый этап, когда восстановление механических и физических свойств металла в значительной степени происходит без изменения структуры. Этот этап называют возвратом или отдыхом металла, и для наклепанной углеродистой стали он наступает при нагреве до температуры 400—550 °С. При этом пластичность металла увеличивается в значительной мере, но изменений в микроструктуре не наблюдается.

В процессе возврата происходят изменения в тонкой структуре металла, связанные с перегруппировкой дислокаций, в ходе которой происходит аннигиляция и распад неустойчивых дислокаций. Оставшиеся дислокации одного знака выстраиваются в вертикальные стенки — начинается разбиение зерна на полигоны, развивается процесс полигонизации.

Так как полигонизация проходит в структурах, которые после деформации имеют избыток дислокаций одного знака, то она наблюдается в объемах, где имеются изогнутые участки кристаллической решетки (рис. 315). Процесс перестройки дислокаций из «горизонтальных» группировок с образованием «вертикальных» группировок включают миграцию вакансий к краям полуплоскостей дислокаций или от них.

Второй этап устранения последствий холодной обработки наступает при нагреве до более высоких температур — для углеродистой стали 550—650 °С. На этом этапе происходит не только полное восстановле-

ние механических и физических свойств металлов, но и изменения в структуре металла, зерна приобретают равноосную форму. Этот этап называют рекристаллизацией.

Особенность рекристаллизации состоит в том, что изменение формы и величины зерен происходит при температурах ниже критических и в связи с предшествующей деформацией, причем в холодном и горячем состояниях. При этом следует заметить, что в литом недеформированном металле явления рекристаллизации не наблюдаются. Способность металла рекристаллизоваться имеет существенное значение, так как благодаря ей металл изменяет структуру, полученную в результате деформации.

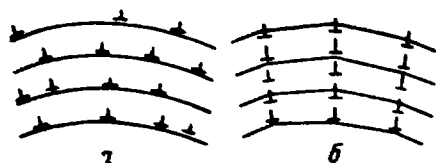


Рис. 315. Схема полигонизации: а — расположение дислокаций до полигонизации; б — то же, после полигонизации

полученную в результате деформации.

Процесс рекристаллизации имеет весьма большое значение при холодной обработке давлением, когда его применяют в качестве особой производственной операции для полного устранения наклепа. Поэтому очень важно знать, какой размер зерна и какие свойства получаются при рекристаллизации.

В процессе рекристаллизации можно получить различную величину зерна; она является функцией многих факторов. К этим факторам относят степень деформации, температуру рекристаллизации, продолжительность выдержки при температуре рекристаллизации и пр.

Рекристаллизация стали наблюдается не только после холодной деформации, но и после горячей, законченной ниже линии GOSE диаграммы

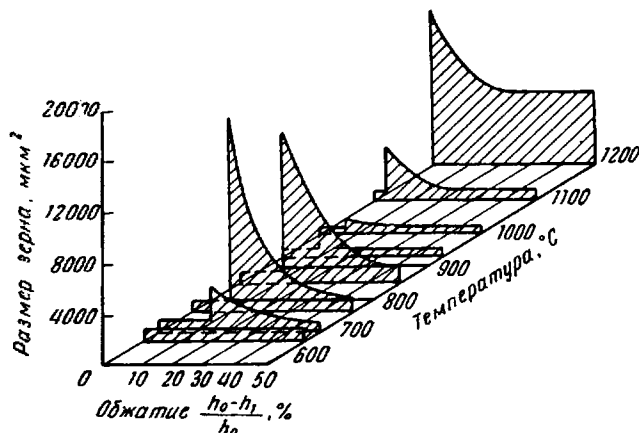


Рис. 316. Объемная диаграмма рекристаллизации стали

раммы железо — углерод, т. е. ниже верхней критической температуры. Это явление было исследовано Тафелем, Шнейдером и др. Были прокатаны при различной температуре и с различными обжатиями квадратные прутки стали сечением 30×30 мм. Химический состав стали: 0,03% С, 0,03% Si, 0,08% Mn, 0,01% P и 0,012% S. За степень деформации принимали уменьшение толщины прокатываемых прутков. После прокатки прутки в течение 5 мин выдерживали в печи, а затем медленно охлаждали в песке.

Результаты этих опытов авторы представили в виде пространственной (объемной) диаграммы (рис. 316). Диаграмма показывает сильный рост зерна при некоторой степени деформации, несколько изменяю-

щейся в зависимости от температуры. Кроме критической степени деформации, имеется также критическая температура, т. е. температура, которая при неизменной степени деформации вызывает максимальный рост зерна.

Следует заметить, что эта диаграмма построена по результатам деформации металла в последнем проходе, поскольку считали, что условия прокатки во всех предыдущих проходах не оказывают существенного влияния на конечный размер зерна. Однако в настоящее время установлено, что размер зерна зависит также и от предшествующих стадий обработки.

Построение объемных диаграмм для различных сталей имеет весьма большое значение. По диаграмме можно установить, при какой степени деформации и температуре следует окончить обработку металла, чтобы получить наилучшие свойства.

На основании ряда опытов установлено, что эффект рекристаллизации одинаков независимо от того, производилась ли деформация с последующей рекристаллизацией или при температуре рекристаллизации с последующей выдержкой при этой же температуре. Если, например, прокатка происходит при высоких температурах, то после прокатки деформированных зерен не будет, так как при высоких температурах рекристаллизация проходит с большой скоростью. Зерна при этом будут равноосны; величина зерен зависит от условий прокатки.

Если прокатка будет происходить при средних температурах, то для рекристаллизации потребуется больше времени, так как скорость ее уменьшается по мере понижения температуры прокатки. В этом случае для завершения полного процесса рекристаллизации может потребоваться больше времени, чем для прохода металла между валками. Однако металл, вышедший из валков, имеет еще возможность рекристаллизироваться, так как температура прокатываемой полосы снижается постепенно. В результате рекристаллизация может полностью завершиться и в структуре металла не будет следов деформации. При дальнейшем понижении температуры прокатки может оказаться, что время от конца прокатки до остывания полосы не будет достаточным для рекристаллизации. В этом случае после прокатки в структуре металла будут обнаружены следы наклепа, зерна будут неравноосными. Понижая температуру прокатки, можно постепенно перейти к процессу холодной прокатки металла с полным проявлением наклепа, отвечающего данной степени холодной деформации металла. Рекристаллизация и возврат в этом случае происходит не будут.

Согласно современным положениям, рекристаллизация начинается с перегруппировки дислокаций, которые, стекаясь, образуют большеугловую границу, ограничивающую практически бездислокационный объем металла [11. 14]. Это и есть зародыш рекристаллизации, образование которого определяется массовым перемещением дислокаций. Дальнейшее развитие рекристаллизации, т. е. ее кинетика, определяется деформационными процессами, обуславливающими возможность миграции большеугловых границ.

2. ПРОКАТКА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Наибольшую долю в сортаменте холоднокатаной углеродистой листовой стали имеет конструкционная листовая сталь толщиной 0,5—2,5 мм, применяемая главным образом в автотракторной промышленности. Эти листы изготовляют из качественной углеродистой стали

05кп — 50. Прокатывают также конструкционную тонколистовую углеродистую сталь обыкновенного качества, кровельную и декапированную тонколистовую сталь и др.

Наибольшее упрочнение при холодной прокатке получает малоуглеродистая сталь 08; с повышением углерода упрочняющее действие холодной прокатки уменьшается. При холодной прокатке стали 08 пластичность ее интенсивно снижается до тех пор, пока общее обжатие не достигнет 20—25%; далее пластичность снижается в меньшей степени. В сталях с более высоким содержанием углерода интенсивное снижение пластичности происходит раньше, например для стали 50 общее обжатие составляет 12—14%.

Для устранения наклепа и получения структуры, обеспечивающей необходимые механические и технологические свойства листовой стали, холоднокатаную листовую сталь подвергают отжигу. Температура отжига определяется обжатием при прокатке в холодном состоянии и химическим составом стали.

Опытные данные показывают, что если холодная прокатка производится с обжатием, равным критической степени деформации, то при рекристаллизации наблюдается резкое увеличение зерна. При холодной прокатке низкоуглеродистых сталей критическая степень деформации равна 5—20%. Чтобы устранить в этом случае рост зерна, температура отжига должна быть выше верхней критической точки превращения, т. е. выше 870—920 °С.

Если холодная прокатка листовой стали происходит с обжатием выше критического, то для получения мелкозернистой структуры и необходимых механических свойств достаточно температура отжига 650—720 °С, отвечающая процессу рекристаллизации углеродистой стали. Надобность в перекристаллизации выше верхней критической точки в этом случае отсутствует. Исходя из этого, предпочитают вести холодную прокатку с суммарным обжатием выше критических значений.

Для получения отожженной стали с оптимальными свойствами, гарантирующими высокую пластичность, достаточно иметь общее обжатие 45—50%. В последнее время листовую сталь прокатывают главным образом на непрерывных четырехклетевых станах с общим обжатием 70—80%. Так как с увеличением обжатия температура отжига для получения необходимой структуры снижается, указанное суммарное обжатие обуславливает отжиг при наименьших температурах, являющийся наиболее экономичным. Холодная прокатка с большим суммарным обжатием повышает механические свойства металла и обеспечивает лучшее качество поверхности листовой стали.

Холодная прокатка тонколистовой углеродистой стали на непрерывных станах осуществляется за один передел. Ширина горячекатаных рулонов соответствует ширине листовой стали, прокатываемой на станах холодной прокатки. Толщина полосы горячекатаного рулона зависит от суммарного обжатия на станах холодной прокатки. В табл. 33 приведены схемы обжатий при холодной прокатке углеродистой листовой стали на непрерывном четырехклетевом стане 1700.

Процесс холодной прокатки листовой стали на станах осуществляется следующим образом. Очередной рулон с приемного наклонного стола (см. рис. 271) перекачивается на подъемный стол, который, перемещаясь, устанавливается по оси разматывателя. Затем стол поднимает рулон и устанавливает его по оси головок разматывателя. После зажима рулона на головках разматывателя магнитный отгибатель отгибает передний конец полосы на рулоне. Затем ролики отгибателя подают передний конец к валкам первой клетки стана.

На рис. 317 показана диаграмма изменения скорости при прокатке одного рулона на непрерывном стане холодной прокатки. Как видно из этой диаграммы, прокатка полосы происходит с переменной скоростью. Задача полосы в первую клеть производится с заправочной скоростью, которая для четырехклетевого стана составляет 1,5—2,5 м/сек. После захвата полосы валками остальных клетей, заправки

Таблица 33

Режимы обжатия при холодной прокатке углеродистых сталей на четырехклетевом непрерывном стане 1700

Номер клетки	Толщина		Абсолютное обжатие мм	Давление прокатки $P, \text{кн} \cdot 10^{-1}$ (тс)
	до прокатки	после прокатки		
<i>Подкат 3,0×1040 мм из Ст. 3кп</i>				
1	3,0	2,4	0,6	918
2	2,4	1,6	0,8	940
3	1,6	1,2	0,4	870
4	1,2	1,0	0,2	380
<i>Подкат 3,0×1460 мм из стали 08 кп</i>				
1	0,3	2,45	0,55	1378
2	2,45	1,65	0,8	1554
3	1,65	1,25	0,4	1195
4	1,25	1,00	0,25	984
<i>Подкат 2,5×1290 мм из Ст. 3кп</i>				
1	2,5	1,9	0,6	1390
2	1,9	1,3	0,6	1700
3	1,3	1,0	0,3	1580
4	1,0	0,9	0,1	1020

переднего конца полосы в моталку и двух оборотов барабана моталки с заправленным концом двигателя ускоряются и заправочная скорость увеличивается до рабочей скорости, которая остается постоянной в течение большего времени прокатки рулона. Затем скорость прокатки уменьшается до заправочной и с этой скоростью задний конец полосы проходит через валки всех клетей. В разматыватель подают следующий рулон, а готовый снимают

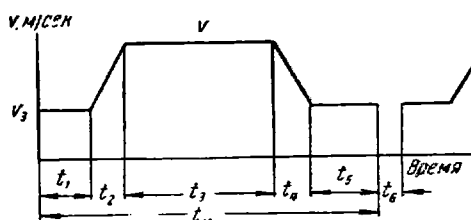


Рис. 317. Диаграмма изменения скорости при прокатке одного рулона на непрерывном стане холодной прокатки

с моталки и передают на склад холоднокатаных рулонов.

На диаграмме изменения скорости при прокатке одного рулона различают следующие периоды: 1) прокатки переднего конца полосы с заправочной скоростью, при этом скорость остается постоянной, 2) ускорения стана, при этом скорость прокатки увеличивается с заправочной до рабочей, 3) постоянной рабочей скорости прокатки, 4) замедления стана, при этом скорость прокатки уменьшается с рабочей до заправочной, 5) прокатки заднего конца полосы с заправочной скоростью, при этом скорость остается постоянной. Если обозначить через t_1, t_2, \dots, t_5 время указанных периодов прокатки, то время прокатки одного рулона

$$t_m = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5.$$

Таким образом, значительная часть полосы прокатывается с переменной скоростью, а так как с изменением скорости изменяется коэффициент трения металла о валки, это будет оказывать влияние на толщину прокатываемой полосы.

Известно, что с увеличением скорости прокатки коэффициент трения металла о валки уменьшается, следовательно, уменьшается давление на валки и упругая деформация рабочей клетки и будет уменьшаться толщина полосы.

Чем больше скорость прокатки, тем большая длина полосы будет прокатана при ускорении и замедлении стана, тем больше могут быть

отходы в некондиционную листовую сталь из-за изменения толщины полосы в эти периоды прокатки. На толщину полосы при различных скоростях прокатки влияют и другие факторы (обжатие, натяжение полосы, технологическая смазка и др.). Особо следует подчеркнуть влияние скорости прокатки на изменение зазора между рабочими валками стана кварто, обусловленное подъемом (всплыванием) цапф опорных валков в подшипниках жидкостного трения.

Скорость прокатки снижается и тогда, когда сварной шов полосы подходит к валкам первой клетки стана. Если при прохождении сварного шва полосы через валки не снижать скорость прокатки, то это ведет к сильным ударам в стане и может произойти разрыв полосы. При прохождении сварного шва резко увеличивается давление металла на валки, получаются более высокие упругие деформации валков и шов обжимается меньше, чем остальная полоса. После выхода шва из валков давление металла на валки резко уменьшается, валки утрачивают упругую деформацию и ударяют по полосе. Чем меньше масса горячекатаных рулонов, тем больше в рулоне швов и чаще происходят удары.

Чтобы не снижать скорость прокатки при прохождении сварного шва через валки, необходимо обеспечить высокую прочность сварного шва, хорошую зачистку его после сварки и минимальную разнотолщинность свариваемых концов. Новые непрерывные станы холодной прокатки некоторых заводов благодаря прочности и высокому качеству сварного шва работают без снижения скорости прокатки. Исследования показали, что при косом расположении сварных швов прокатку их также можно вести без снижения скорости.

Для уменьшения длины полосы, прокатанной при ускорении и замедлении стана, применяют двигатели, обеспечивающие быстрый разгон и замедление. На новых непрерывных станах холодной прокатки устанавливают автоматические приборы регулирования толщины. В одном случае регулирующий импульс исходит от прибора, измеряющего толщину, в другом случае регулирующий импульс исходит от прибора, измеряющего давление металла на валки.

Большое значение при холодной прокатке имеет смазка валков и прокатываемой полосы.

Смазка при холодной прокатке снижает коэффициент трения между валками и прокатываемой полосой, благодаря чему уменьшаются сопротивление деформации и давление металла на валки. Последнее уменьшает прогиб валков и упругую деформацию валков и деталей стана. Следовательно, при одной и той же установке валков прокатка со смазкой обеспечивает большие обжатия. Смазка при холодной прокатке снижает также расход энергии, уменьшает износ валков и повышает качество листовой стали, обеспечивая равномерную толщину ее по ширине.

Влияние смазки тем эффективнее, чем тоньше прокатываемая полоса и больше обжатие и наклеп. Смазку целесообразно применять при прокатке тонкой листовой стали в последних клетях непрерывного стана. Кроме того, смазка оказывает большее влияние на вытяжку твердых сталей, чем мягких.

Смазка образует разделяющий скользящий слой между валками и прокатываемой полосой, снижает выделение тепла, в достаточной мере охлаждает валки и устраняет налипание на них металла. Чем выше эффективность смазки, тем надежнее разделение поверхностей скольжения. Эффективность смазки характеризуется наличием поверхностно-активных веществ, способных адсорбироваться на поверхности

скольжения с образованием прочных смазочных пленок. Смазка должна хорошо прилипать к валкам, обеспечивая равномерную пленку между валками и прокатываемой полосой, и во время прокатки не должна выдавливаться. Смазка должна легко удаляться с поверхности листовой стали, чтобы при последующих операциях не получились дефекты, которые могут привести к браку. Например, при термической обработке смазка может оставить на поверхности листовой стали трудно удаляемые сажистые осадки.

Органические жиры (чистые и с присадками жирных кислот) уменьшают внешнее трение больше, чем минеральные масла, которые имеют более низкие смазочные свойства. Незначительные добавки к минеральным маслам жирных кислот значительно улучшают их смазочные свойства. Наилучшие результаты показали новые синтетические смазки.

При холодной прокатке листовой стали применяют эмульгируемые в воде масла, которые состоят из минеральных масел и эмульгаторов, а также не эмульгируемые в воде масла — чистые масла различной вязкости, жирные масла растительного или животного происхождения, минеральные масла с добавками жирных кислот или жирных масел, животные или растительные жиры с добавлением химически активных присадок и эмульсии с добавками животных или растительных жиров.

При выборе смазки необходимо учитывать также стоимость, дефицитность и возможность использования ее в больших количествах.

При холодной прокатке углеродистой листовой стали для смазки и охлаждения валков широко применяют эмульсии, приготовленные на эмульсоле различных марок. Такая эмульсия имеет следующий состав: 5—7% эмульсола, 3% кальцинированной соды и 91—95% подогретой воды.

Все станы холодной прокатки оборудованы системами для охлаждения валков и подачи технологической смазки на полосу во время прокатки. Эти системы работают по замкнутому циклу, после использования остатки эмульсии направляют в сборник для повторного использования. Для приготовления эмульсии необходимой концентрации и подачи ее на валки рабочих клеток имеется специальная установка. На стан эмульсию подают насосными установками. Для очистки эмульсии от загрязнений имеются фильтры и магнитные сепараторы. Для охлаждения эмульсии установка оборудована охладителями.

Холодная прокатка листовой стали производится со значительным натяжением полосы с передней и задней сторон клетки.

Натяжение существенно уменьшает усилия на валки, что позволяет прокатывать полосу с более высокими обжатиями за проход и с большим суммарным обжатием. Натяжение способствует получению хорошего качества поверхности листовой стали. Натяжение полосы должно быть ниже предела прочности. Учитывая неравномерное распределение напряжений по сечению полосы и возможность наличия дефектов, в особенности на кромках, удельное натяжение обычно не превосходит 50—60% предела текучести.

При холодной прокатке листовой стали толщина ее по ширине должна быть одинаковой или в пределах допусков. Обычно на станах холодной прокатки листовой стали бочка рабочего валка имеет некоторую выпуклость, благодаря которой валок во время прокатки приобретает профиль, обеспечивающий получение одинаковой толщины листовой стали по ширине.

Рабочая выпуклость валка состоит из профилировочной выпуклости, которая осуществляется при профилировке бочки валка на шли-

фовальном станке, и тепловой выпуклости, которая является результатом неравномерного разогрева середины и краев бочки валка.

Профилировочная выпуклость должна соответствовать прогибу валка. Прогиб валка f стана дуо в середине бочки является результатом прогиба f_1 от действия изгибающего момента и прогиба f_2 от действия поперечных сил, т. е.

$$f = f_1 + f_2.$$

Однако для профилировки бочки валка на шлифовальном станке надо знать величину выпуклости в середине и у края прокатываемого листа, так как разность этих прогибов приводит к получению листа неравномерной толщины по ширине. Эта разность прогибов может быть приближенно определена по формуле [II. 11]

$$\Delta x = \Delta f_1 + \Delta f_2 \approx \frac{2Pb}{D^2} \left[1 + \frac{b}{8D^2} (12a - 7b) \right] \text{ мм}, \quad (\text{XV.1})$$

где P — давление при прокатке, Mn ;

D — диаметр валков, mm ;

a — расстояние между нажимными винтами, mm ;

b — ширина прокатываемой полосы, mm .

Из этой формулы видно, что выпуклость зависит от ширины полосы и давления металла на валки. Однако давление металла на валки зависит от ширины полосы, обжатия, химического состава стали, смазки, скорости прокатки и др. Поэтому в настоящее время нет способа установить одинаковую профилировку валков, универсальную для всех случаев. При постоянном давлении выпуклость валков всех клетей стана могла быть одинаковой, что значительно упростило бы шлифовку валков и сократило необходимый их запас. Однако постоянное давление металла на валки удается поддерживать в отдельных случаях; обычно оно колеблется в широких пределах.

Определение профилировки валков станом кварто значительно сложнее. Для этого необходимо рассчитать прогиб рабочего валка, который может быть представлен двумя составляющими:

$$f_{\text{раб}} = f_{\text{оп}} \pm \Delta \delta,$$

где $f_{\text{раб}}$ и $f_{\text{оп}}$ — прогибы рабочего и опорного валков;

$\Delta \delta$ — стрела неравномерного упругого сжатия по контакту опорного и рабочего валка.

Кроме того, следует учитывать влияние упругого сжатия рабочего валка под прокатываемой полосой на ее профиль.

Для обеспечения наиболее устойчивого температурного состояния валков осуществляют интенсивное их охлаждение. При этом температура середины бочки валка выше температуры ее краев. Разность температур увеличивается с увеличением разницы между длиной бочки и шириной прокатываемой полосы.

Профилировочную выпуклость практически выбирают по условиям прокатки для компенсации разницы между прогибом валка и тепловой выпуклостью; она должна быть тем больше, чем больше давление металла на валки.

На практике оба рабочих валка изготовляют с одинаковой выпуклостью или один из них изготовляют с суммарной выпуклостью (для двух валков), другой — цилиндрическим. В последнем случае облегчается шлифовка валков, так как несовпадение вершин выпуклостей в первом случае может привести к возникновению значительных осевых сил, способствующих не только образованию волнистости и разнотолщинности, но и значительному износу подшипников.

Валки станов холодной прокатки наряду с достаточной прочностью, необходимой для восприятия больших деформаций (изгиба) при прокатке, должны иметь высокую твердость, обеспечивающую получение листовой стали с чистой и гладкой поверхностью. Для рабочих валков диаметром менее 300 мм применяют сталь 9Х и 9ХФ, а для валков диаметром более 300 мм — сталь 9Х2 с повышенным содержанием хрома, хромомолибденовую сталь 9Х2МФ и хромовольфрамовую сталь 9Х2В. Валки холодной прокатки, изготовленные из стали всех марок, подвергают термической обработке (закалка, отпуск) по специальным режимам. Твердость поверхности рабочих валков составляет 95—102 единицы по Шору.

Валки подвергают очень частой перешлифовке, особенно при прокатке тонких листов и жести. Практически уменьшение диаметра валков на станах холодной прокатки допускается в пределах 3—5%. В связи с этим по ГОСТу глубина закаленного поверхностного слоя должна составлять не менее 3% радиуса бочки этих валков. Эти данные относятся к активному слою, т. е. к слою от поверхности бочки до глубины, на которой твердость на пять единиц по Шору ниже соответствующего нижнего предела твердости 95 единиц по Шору. Термически обработанная бочка рабочего валка имеет активный слой и переходную зону.

Чем выше и равномернее твердость бочки, тем выше стойкость валков. Кроме того, высокая и равномерная твердость способствует сохранению профиля валков, получению равномерной толщины по ширине полосы, более высокому выходу годного проката и сокращению перевалок.

Глубина активного слоя также влияет на стойкость валков. Чтобы увеличить глубину этого слоя, стали 9Х и 9Х2 легируют молибденом. По ГОСТу переход от закаленного слоя к исходному должен быть плавным. При недостаточной глубине и резком переходе закаленный слой продавливается и разрушается.

Рабочие валки выходят из строя вследствие нормального износа закаленного слоя, отделения его, навара, пореза, надава и вследствие поломок при растрескивании бочки. Основные факторы, влияющие на стойкость, следующие: разнотолщинность и разноширинность полосы по длине, масса рулона, давление металла на валки, скорость прокатки и др.

Опорные валки станов холодной прокатки часто изготавливают коваными из хромистой стали типа 9Х. Твердость поверхности таких валков составляет 65—85 единиц по Шору. Иногда опорные валки изготавливают составными. В этом случае они состоят из кованого или литого сердечника и насаженного на него в горячем состоянии кованого бандажа, изготовленного из хромоникельмолибденовой или хромомолибденовой сталей. Применяют также опорные валки, состоящие из стального сердечника и чугунного бандажа, для отливки которого применяют модифицированный магнием чугун.

Бочки валков станов холодной прокатки обрабатывают на вальцешлифовальных станках. Поверхность валков должна быть чистой и не иметь трещин, неметаллических включений, плен, волосовин, вмятин, царапин и других дефектов.

На рабочих валках последних клетей станов холодной прокатки делают легкую шероховатость для предотвращения слипания листов при отжиге. Эта шероховатость образуется в специальной дробеструйной машине с помощью чугунной дроби.

При расчете валков станов кварто на прочность и определении их упругих деформаций наиболее важным является установление характе-

ра распределения межвалкового давления по длине контакта рабочего и опорного валков.

Рассмотрим на примере стана 1200 характер распределения межвалкового давления при разных параметрах валков и полосы. В зависимости от соотношения диаметров рабочего и опорного валков эпюры межвалкового давления имеют максимум посередине бочки (при небольшой жесткости рабочего валка), максимум по краям (при большой жесткости рабочего валка) и равномерное распределение межвалкового

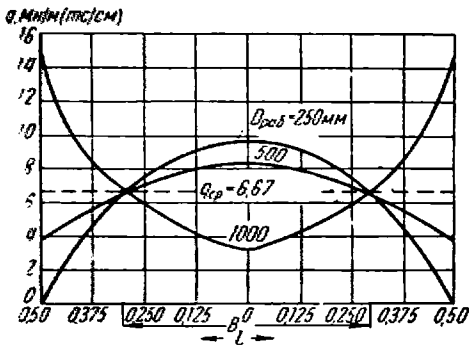


Рис. 318. Распределение межвалкового давления по длине контакта рабочего и опорного валков [$D_{оп}=1300$ мм; $P=8$ Мн (800 тс)]

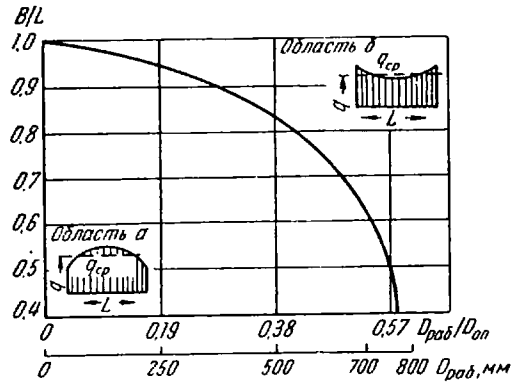


Рис. 319. Оптимальное соотношение между диаметрами валков, их длиной L и шириной полосы B , при котором обеспечивается равномерное распределение межвалкового давления по длине контакта валков: а — область с максимумом давления посередине валка; б — область с максимумом давления по краям

давления при оптимальной жесткости рабочего валка (рис. 318). Если соотношение диаметров ($D_{раб}/D_{оп}$) постоянно, то первый вид эпюр межвалкового давления характерен для минимальной ширины полосы, второй для максимальной ширины и третий для оптимальной ширины.

Распределение совместного упругого сжатия рабочего и опорного валков на длине бочки соответствует эпюрам межвалкового давления. Вследствие этого при малой жесткости рабочего валка в результате наложения стрелы неравномерного совместного сжатия на прогиб опорного валка прогиб рабочего валка в 3—4 раза превышает прогиб опорного; при увеличении жесткости рабочего валка происходит компенсация прогиба сжатием и в результате прогиб рабочего валка уменьшается. При равномерном по длине бочки совместном сжатии прогибы рабочего и опорного валков равны.

Совместное влияние диаметра рабочего валка и ширины прокатываемой полосы на межвалковое давление иллюстрируется графиком на рис. 319. Из графика видно, что равномерное распределение межвалкового давления может достигаться изменением диаметра рабочего валка (или отношения $D_{раб}/D_{оп}$) и изменением ширины полосы (или отношения B/L). С ростом диаметра рабочего валка при одном и том же диаметре опорного для сохранения равномерного межвалкового давления ширина полосы должна уменьшаться. Если ширина полосы меньше оптимальной, то межвалковое давление имеет максимум посередине бочки валков (внутренняя область а); если больше оптимальной, то максимум наблюдается на краях. По таким графикам удобно выбирать

наиболее выгодные параметры валков стана кварто из условия равномерного распределения межвалкового давления.

Проанализируем совместное влияние отношений $D_{\text{раб}}/D_{\text{оп}}$ и B/L на прогиб рабочих валков (рис. 320). При постоянном полном давлении прокатки с увеличением ширины полосы (начиная с отношения $B/L = 0,4$) прогиб рабочего валка монотонно уменьшается. Причем абсолютная величина его резко снижается с увеличением диаметра рабочего валка, особенно в области малых значений B/L . При постоянном давлении на единицу ширины листа закономерность в основном остается прежней, но в области значений $B/L \approx 0,6$ кривые проходят через максимум. Семейство указанных кривых пересекает отштрихованная кривая, представляющая собой геометрическое место точек, выражающих величину прогиба рабочего валка при равномерном распределении межвалкового давления. Выше отштрихованной кривой и справа от нее располагается область *a*, где эпюры межвалкового давления имеют максимум посередине бочки; прогиб здесь получается максимальным; область слева и снизу характеризуется максимумом межвалкового давления по краям бочки (минимальный прогиб).

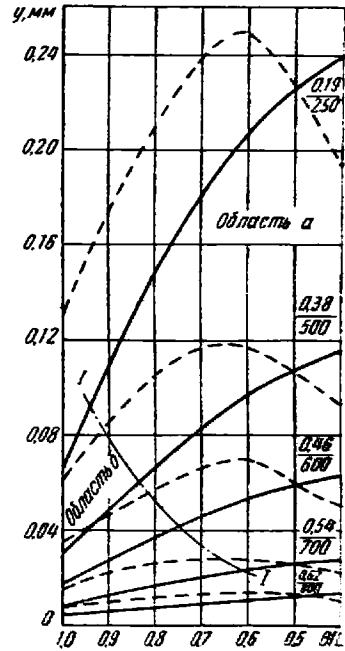


Рис. 320. Зависимость стрелы прогиба y рабочего валка относительно края бочки от ширины прокатываемой полосы (B/L) [цифры у кривых: в числителе $D_{\text{раб}}/D_{\text{оп}}$, а в знаменателе $D_{\text{раб}}$; сплошные линии — при постоянном полном давлении прокатки 8 Мн (800 тс), а штриховые — при постоянном погонном давлении на единицу ширины листа $q' = 13,33 \text{ Мн/м}$ ($13,33 \text{ тс/см}$); области *a* и *б* и границная кривая 1—1 те же, что и на рис. 319]

Использование подобных графиков позволяет всесторонне оценить работу тонколистового стана кварто при изменении диаметров рабочего

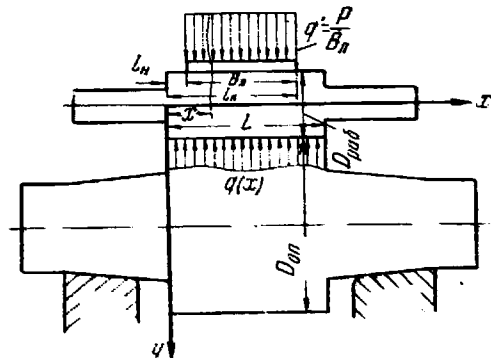


Рис. 321. Расчетная схема к определению межвалкового давления в станах кварто:

$$l_H = \frac{L-B}{2}; \quad \theta_H = \frac{l_H}{L}; \quad l_K = L - l_H;$$

$$\beta_K = \frac{l_K}{L}; \quad \xi = \frac{x}{L} \text{ — текущая безразмерная координата точки.}$$

и опорного валков, длины бочки валков и ширины прокатываемой полосы.

Итак, оптимальные параметры валков и полосы станов кварто, при которых межвалковое давление распределено равномерно, обеспечи-

вают равномерность упругого сжатия, минимальные контактные напряжения в валках и равенство прогибов рабочего и опорного валков, а следовательно, и минимальные знакопеременные напряжения изгиба в рабочем валке. Кроме того, равномерное межвалковое давление обеспечивает равномерный наклеп поверхности валков.

Расчет межвалкового давления может быть выполнен по методике В. П. Полухина [II. 19]. Межвалковое давление q_x (или q_ξ) в точке с произвольной координатой $x(\xi)$ [начало координат на краю бочки валка] определяют по формуле (рис. 321)

$$q_x = q_\xi = a_0 + \frac{4a_2}{L^2} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 = a_0 + 4a_2 (\xi - 0,5)^2. \quad (XV.2)$$

Параметры a_0 и a_2 определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{(8252 - 34\alpha) A - 13440B_0\alpha}{13440 + 29\alpha}, \\ a_2 &= 3(A - a_0), \end{aligned} \right\} \quad (XV.3)$$

где

$$A = \frac{P}{L} = q_{cp},$$

$$B_0 = \frac{q'}{120} (\beta_k^5 - \beta_n^5) - \frac{q'}{96} (\beta_k - \beta_n) - \frac{q'}{24} (0,5 - \beta_n)^4,$$

$$\alpha = \frac{1 - \mu_{раб}^2}{1 - \mu_{оп}^2} \frac{E_{оп}}{E_{раб}} \left[\left(3260 \frac{L}{D_{оп}} - 38,5 \right) \left(\frac{D_{раб}}{D_{оп}} \right)^2 - \right. \\ \left. - \left(5330 \frac{L}{D_{оп}} - 127 \right) \frac{D_{раб}}{D_{оп}} + \left(2300 \frac{L}{D_{оп}} - 183 \right) \right].$$

Из формулы (XV.2) видно, что межвалковое давление посередине бочки валков $q_{\xi=0,5} = a_0$, на краю бочки $q_{\xi=0} = a_0 + a_2$.

Известно, что при постоянной исходной толщине и постоянном коэффициенте трения с увеличением степени обжатия среднее удельное давление и длина контакта увеличиваются. Очевидно, что при этом увеличивается также и полное давление на валки, но еще в большей степени, так как оно зависит от среднего удельного давления и длины контакта.

Следует отметить, что в формулы для определения среднего удельного давления металла на валки не входит скорость прокатки, поэтому в явном виде они не отражают влияние скорости прокатки на давление. Однако известно, что с увеличением скорости прокатки коэффициент трения уменьшается, поэтому давление при прокатке будет также при этом уменьшаться, что можно иллюстрировать следующим примером [I. 4]. На рис. 322, а показаны кривые $P=f(h_1)$ в зависимости от скорости при холодной прокатке тонких листов (жести) со смазкой при неизменной настройке валков и при $h_0 = 2,5 \text{ мм} = \text{const}$. Увеличение скорости с 5 до 15 м/сек вызывает уменьшение коэффициента контактного трения (например, с $f=0,06$ до $f=0,03$); давление на валки при этом понижается и, например, для $h_1 = 1 \text{ мм}$ (обжатие 60%) соответственно будет равно 12,5 и 10 Мн (1250 и 1000 тс) [точки А и В].

Если бы рабочая клетка имела абсолютную жесткость, то толщина полосы после прокатки h_1 была бы равна зазору s_0 , предварительно установленному между валками до прокатки.

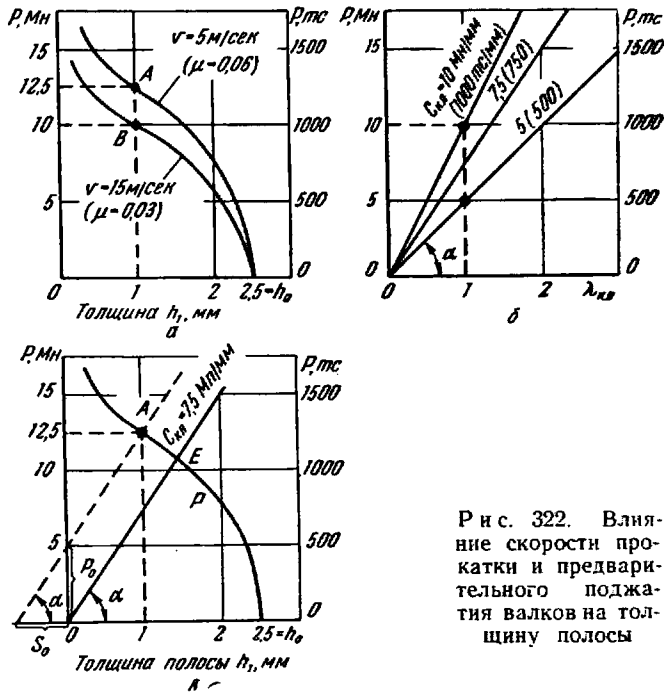


Рис. 322. Влияние скорости прокатки и предварительного поджатия валков на толщину полосы

Однако все детали рабочей клетки, воспринимающие давление при прокатке P , упруго деформируются и общая вертикальная деформация рабочей клетки

$$\lambda_{ккл} = \frac{P}{C_{ккл}}, \tag{XV.4}$$

где $C_{ккл}$ — жесткость рабочей клетки, характеризуемая усилием, вызывающим деформацию рабочей клетки, равную 1 мм.

Современные станы кварто холодной прокатки широкой полосы и тонкой жести имеют жесткость рабочих клеток в пределах 6—10 МН/мм (600—1000 тс/мм) (рис. 322, б).

Толщина полосы, выходящей из валков, равна суммарному зазору между валками при прокатке:

$$h_1 = s_0 + \lambda_{ккл} = s_0 + \frac{P}{C_{ккл}}. \tag{XV.5}$$

В том случае, если при данных P (точка А и В на рис. 322, а) и $C_{ккл}$ окажется, что $\lambda_{ккл} = h_1$, то предварительный зазор между валками должен быть равен нулю, т. е. перед прокаткой оператор должен поджать плотно рабочие валки друг к другу.

Если при данных P и $C_{ккл}$ окажется, что $\lambda_{ккл} > h_1$, (например, при недостаточной жесткости рабочей клетки при прокатке тонкой полосы), то предварительный зазор между валками s_0 должен быть отрицательным (рис. 322, в), т. е. перед прокаткой оператор должен поджать валки друг к другу с определенным усилием P_0 (предварительное поджа-

тие валков при помощи нажимных винтов). Тогда формула (XV. 5) примет следующий вид:

$$h_1 = \lambda_{кл} - s_0 = \frac{P}{C_{кл}} - \frac{P_0}{C_{кл}} = \frac{P - P_0}{C_{кл}}, \quad (XV.6)$$

т. е. толщина выходящей из валков полосы пропорциональна разности усилий.

Полное давление металла на валки P при прокатке полосы толщиной h_0 до толщины h_1 (см. рис. 322, а, точки А и В) зависит от условий деформации полосы в валках (обжатия, диаметра валков, коэффициента трения, скорости прокатки, натяжения полосы).

Таким образом, при данной жесткости рабочей клетки $C_{кл}$, определяемой конструкцией клетки и ее размерами, оператор стана для получения полосы толщиной h_1 должен предварительно поджать рабочие валки с усилием (рис. 322, в)

$$P_0 = P - h_1 C_{кл}. \quad (XV.7)$$

При прокатке полосы давление металла на валки P не является постоянным — оно изменяется в некоторых пределах вследствие разнотолщинности полосы и неоднородности ее механических свойств (предел текучести) по длине, изменения натяжения, условий смазки и т. д.

Соответственно изменению P изменяется упругая деформация рабочей клетки $\lambda_{кл}$, а следовательно, и толщина прокатываемой полосы h_1 .

Чем больше жесткость рабочей клетки $C_{кл}$, тем меньшее влияние оказывает изменение P на толщину h_1 . При недостаточной жесткости клетки относительная разнотолщинность полосы сохраняется такой же, как и в исходном состоянии до поступления в стан, или даже становится большей. Кроме повышения жесткости клетки, надо стремиться к уменьшению биения или эксцентриситета опорных валков, приводящего к циклической продольной разнотолщинности полос. Поэтому с увеличением жесткости клетки следует уменьшить допуск на эксцентриситет.

Одним из эффективных мероприятий по повышению жесткости клетей является применение для опорных валков подшипников жидкостного трения без внутренней конической втулки. Такие подшипники допускают увеличение диаметра шейки опорного валка до $(0,7 \div 0,8)$ диаметра бочки, вследствие чего значительно повышается жесткость валкового узла и клетки. Однако при этом надо иметь в виду, что при применении подшипников жидкостного трения толщина полосы зависит (кроме прочих, указанных выше факторов) от изменения толщины масляного клина в подшипниках. Это явление особенно резко проявляется в переходных режимах (разгон и торможение). Компенсировать его можно только применением быстродействующей системы автоматического регулирования толщины полосы в процессе прокатки.

3. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ И РЕГУЛИРОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ

Толщину полосы при холодной прокатке на непрерывном или реверсивном стане измеряют таким же рентгеновским прибором, как и при горячей прокатке (этот прибор сначала был применен для холодной прокатки, а позднее для горячей).

Существенным недостатком рентгеновских приборов для измерения толщины является их высокая стоимость и необходимость иметь комплектную рентгеновскую установку [1, 4, 7].

В последние годы начали применять приборы с γ -лучами (для больших толщин) и с β -лучами (для малых толщин), т. е. с использованием

радиоактивных изотопов, дающих эти излучения. Приборы с использованием β -лучей значительно дешевле рентгеновских, а точность их вполне достаточная ($\pm 1\%$) для полос толщиной до 0,5 мм [VII. 11, 12].

Устройство радиоактивного прибора аналогично устройству рентгеновского прибора. Под полосой *П* помещают искусственный радиоактивный излучатель *И* β -лучей (рис. 323). Часть лучей, прошедших через

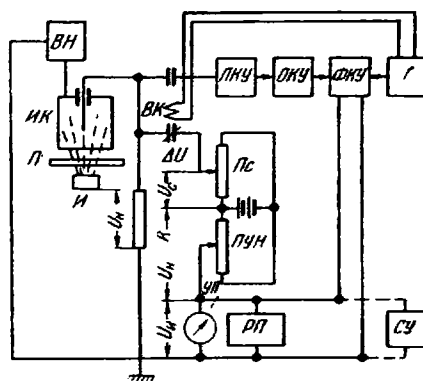


Рис. 323. Схема автоматизации контроля толщины при холодной прокатке:

ИК — ионизационная камера; *ВН* — источник высокого напряжения; *И* — излучатель с радиоактивным препаратом; *П* — измеряемая полоса; *R* — измерительное сопротивление; *ВК* — вибрационный конденсатор; *ПС* — потенциометр смещения; *ПУН* — потенциометр установки нуля; *ПКУ* — предварительный каскад усиления; *ОКУ* — оконечный каскад усиления; *ФКУ* — фазочувствительный каскад усиления; *Г* — генератор частоты; *УП* — указывающий прибор; *РП* — регистрирующий прибор; *СУ* — сигнальное устройство

полосу, попадает в ионизационную камеру *ИК*, расположенную над полосой, и создает ионизационный ток. Однако этот ток очень мал, и его нельзя измерить непосредственно прибором, поэтому в цепь тока включают высокоомное сопротивление *R*, на котором происходит падение напряжения, пропорциональное току камеры и, следовательно, толщине полосы. Это падение напряжения не измеряется непосредственно, а сравнивается с заданной заранее величиной, т. е. определяется разность напряжений, возникающая при отклонении толщины от заданного значения. Параллельно с указывающим прибором *УП* включается самописец *РП* и сигнализатор *СУ*; последний срабатывает, когда отклонение толщины больше заданного, и дает сигнал оператору.

При применении изотопа таллия 204 можно измерять стальные полосы толщиной до 0,15 мм, а при применении стронция 90 — полосы толщиной до 0,9 мм. Благодаря длительности полураспада продолжительность возможного пользования последним излучателем достигает 40 лет и он поэтому практически не нуждается в замене.

При просвечивании полос ослабление потока β -лучей происходит не только при прохождении их через металл, но и через масло, воду и т. п., поэтому необходимо при прокатке в месте измерения добиваться получения чистой поверхности полосы (применять протирку и т. п.).

На рис. 324, а приведена схема регулирования толщины полосы при холодной прокатке на четырехклетевом стане. В клету установлена мездоза обычного типа. Бесконтактный летучий микрометр *ЛМ1* измеряет толщину полосы на выходе из клетки *1*. Отклонение толщины от заданной указывается прибором *ИП1* и передается на систему управления *У* двигателем *Д* нажимного устройства клетки *1*. Для устойчивости системы регулирования она не должна обладать быстроедействием и должна иметь широкую зону нечувствительности. Мездоза в основном реагирует на постоянные отклонения толщины от заданной, а также на отклонения, имеющие длительный характер, пропуская все кратковременные колебания толщины [V. 26, 27, 28].

Летучий микрометр фиксирует те отклонения, которые не смог выравнять регулятор клетки *1*. Эти отклонения выравниваются вторым ре-

гулятором, основным элементом которого является счетно-решающее устройство. Отклонения толщины, измеренные ИП1, передают на модулирующее устройство М, преобразующее эти отклонения в импульсы, которые поступают в записывающую головку блока «магнитной памяти». Этот блок состоит из магнитного барабана МП (типа магнитофона) с записывающей ЗГ и воспроизводящей ВГ головками. Барабан МП приводится от двигателя клетки I непосредственно или через «электрический вал». Этим достигается синхронизация движения записанных импульсов со скоростью полосы.

Воспроизводящую головку ВГ «магнитной памяти» помещают на некотором расстоянии от записывающей ЗГ. Это расстояние определяет

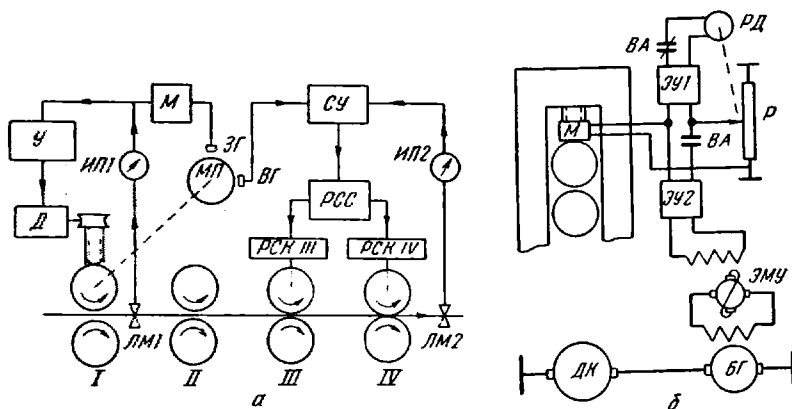


Рис. 324. Автоматизация регулирования толщины полосы:
а — при помощи нажимных винтов; б — изменением натяжения полосы

длительность воспроизведения записанной разнотолщинности, равной длительности подхода полосы к зеву валков клетки III. Воспроизведенные головкой ВГ импульсы, пропорциональные отклонению толщины полосы от требуемой (после выхода из клетки I), подаются в счетно-решающее устройство СУ. Это устройство оценивает характер отклонений толщины полосы, поступающей в клетку III, и подает сигналы регулятору соотношений скоростей РСС клеток III и IV.

Допустим, что записанные на барабане МП и воспроизведенные головкой ВГ импульсы показывают, что в клетку II поступает более толстая полоса, чем ранее. Счетно-решающее устройство СУ в зависимости от степени утолщения полосы дает команду регулятору РСС изменить соотношение скоростей клеток III и IV. Эта команда воспринимается регуляторами скорости клеток РСР III и РСР IV. В результате изменения соотношения скоростей соответственно увеличится натяжение полосы между клетками III и IV. Увеличение натяжения уменьшает нагрузку на валки и станины клеток, что соответственно уменьшает их деформацию, приводит к уменьшению зазора между валками и уменьшению толщины полосы, выходящей из стана. Задачей счетно-решающего устройства является определение величины натяжения, требуемого для уменьшения толщины полосы от заданного размера. Счетно-решающее устройство производит этот расчет на основании известных приближенных соотношений, определяющих зависимость натяжения от соотношения скоростей и зависимость деформации станин клеток от натяжения.

Поскольку эти зависимости являются приближенными и не учитывают некоторых переменных факторов, команда, поданная счетно-ре-

шающим устройством, может не привести к требуемому изменению толщины полосы, и на выходе из последней клетки толщина полосы будет иметь отклонение от заданной. Это отклонение измеряется бесконтактным летучим микрометром *ЛМ2* и через измерительный прибор *ИП2* подается в счетно-решающее устройство *СУ* для корректировки его работы.

Допустим, что натяжение между клетями *III* и *IV* было чрезмерно увеличено и выходная толщина оказалась меньше заданной. В этом случае счетно-решающее устройство, получив команду от *ИП2*, дает правку к тем командным импульсам, которые поступили из блока магнитной памяти, при этом уменьшается рассогласование скоростей между клетями до получения допустимого отклонения толщины выходящей полосы от заданной.

При прокатке легко наклепывающегося металла изменение натяжения между клетями *III* и *IV* мало изменяет толщину полосы. Поэтому соответствующей настройкой системы регулирования достигают изменения согласования скоростей между клетями *II* и *III*, оставляя натяжение между клетями *III* и *IV* практически постоянным. В этом случае регулирование толщины за счет изменения натяжения производится в клетях *II* и *III*.

Для непрерывных станов горячей прокатки система регулирования значительно сложнее, так как изменение толщины при помощи изменения натяжения недопустимо. Поэтому для горячих станов применяют только регулирование нажимными винтами. Первый регулятор (месдоза), устанавливаемый на клетки непрерывной группы, действует на нажимные винты первой клетки. Вторым регулятором действует на нажимные винты последних клеток по команде, подаваемой счетно-решающим устройством. Так как при изменении положения нажимных винтов изменяется соотношение скоростей входа и выхода металла из валков, для облегчения работы петлерегуляторов одновременно с перемещением нажимных винтов дается команда на изменение соотношения скоростей соответствующих клеток. Петля между клетями остается почти постоянной.

Система управления снабжается запоминающими устройствами, которые автоматически возвращают нажимные винты в исходное положение после выхода полосы из клетки.

Из-за температурных перепадов конца и начала прокатки полоса имеет постоянно увеличивающуюся толщину. Счетно-решающее устройство обеспечивает автоматическое перемещение нажимных винтов в функции прокатанной длины по закону, заранее установленному экспериментальным путем. Такая параметрическая коррекция положения нажимных винтов значительно облегчает работу регуляторов и способствует уменьшению разнотолщинности прокатанной полосы.

Кроме описанного способа, применяют регулирование толщины полосы при помощи изменения натяжения, вызывающего изменение давления на валки. При постоянном положении нажимных винтов изменение натяжения полосы (переднего или заднего) изменяет давление металла на валки, а последнее изменяет упругую деформацию клетки, в результате изменяется толщина полосы.

Для регулирования толщины полосы изменением натяжения применяется следующая схема (рис. 324, б). Напряжение с месдозы *М*, измеряющей давление при прокатке, автоматически компенсируется напряжением с реохорда *Р* при помощи следящей системы; последняя состоит из электронного усилителя *ЭУ1* и реверсивного двигателя *РД*. Если имеется разность напряжения месдозы и реохорда, то *РД* включается и перемещает движок реохорда. Таким образом, движок «следит» за

деформацией клетки (давлением металла на валки). Эта разность напряжений одновременно подается на электронный усилитель ЭМУ, который является возбудителем якорного генератора БГ двигателя привода валков клетки ДК. Изменение скорости двигателя ДК изменяет в желаемую сторону натяжение полосы, а последнее изменяет обжатие и давление металла на валки.

На реверсивных и нереверсивных станах холодной прокатки кварто регулирование натяжения полосы между клетями или между клетью и

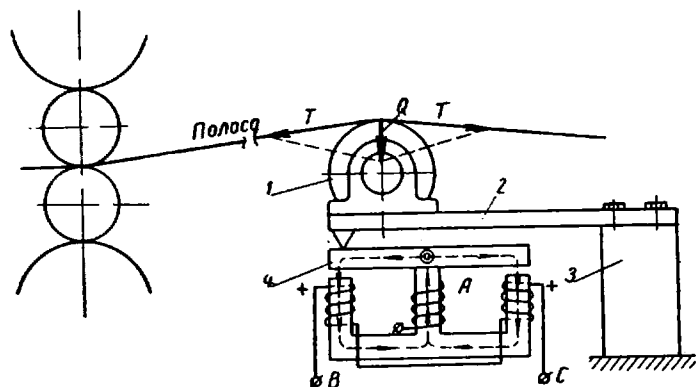


Рис. 325. Схема автоматического регулирования натяжения полосы

моталкой осуществляется с помощью тензометров индукционного типа (рис. 325).

На пути движения полосы устанавливают холостой ролик 1 на консольной пластинке 2 с опорой 3. Верхнюю кромку ролика устанавливают несколько выше нормальной линии прокатки так, чтобы полоса при движении под натяжением нажимала на ролик. Под роликом установлен индукционный тензометр, представляющий собой трансформатор с тремя обмотками, причем средняя обмотка питается от сети независимо от двух крайних обмоток. Когда нет прокатки и нет натяжения, якорь 4 занимает горизонтальное положение и в крайних обмотках ток не индуцируется. При прокатке под действием натяжения полосы T ролик опустится вниз, якорь повернется относительно точки A и зазоры между концами якоря и крайними магнитами изменятся; при этом во вторичных крайних обмотках появится ток и на зажимах B и C он будет тем больше, чем больше давление Q на ролик. Импульс от этого тензометра после усиления в ЭМУ передается на схему регулирования привода клетки или моталки.

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА ХОЛОДНОКАТАНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Отделочные операции после холодной прокатки углеродистой листовой стали могут производиться в листах или рулонах. В первом случае требуется разделка холоднокатанных рулонов на специальных агрегатах, установленных за станом холодной прокатки. На этих агрегатах производят правку, обрезку боковых кромок и поперечную резку рулонов на листы мерной длины. После этого все дальнейшие отделочные операции (термическую обработку, дрессировку и др.) производят в листах.

Во втором случае все отделочные операции после холодной прокатки производят в рулонах массой до 25 т; разделка рулонов на листы является завершающей операцией. В современных цехах холодной прокатки обычно применяют этот способ отделки, так как при этом обеспечивается непрерывность процесса, механизация и автоматизация его. Все это позволяет увеличить производительность агрегатов и снизить трудоемкость процесса по сравнению с отделкой в листах [V. 24].

При холодной прокатке листовой стали происходит упрочнение или наклеп металла. Для устранения наклепа и получения структуры, обеспечивающей необходимые механические и технологические свойства листовой стали, холоднокатаная листовая сталь должна быть подвергнута отжигу. Так как при холодной прокатке углеродистой листовой стали суммарное обжатие равно не менее 50%, обычной термической обработкой такой стали является рекристаллизационный отжиг при 650—720 °С, обеспечивающий достаточно высокие механические и технологические свойства. Кроме того, при такой температуре отжига имеется меньшая опасность слипания витков.

Отжиг углеродистой листовой стали после холодной прокатки является окончательной термической обработкой, поэтому он производится в защитном газе, предохраняющем поверхность ее от окисления. После такого отжига, называемого светлым, листовую сталь травлению не подвергают.

В цехах холодной прокатки для отжига углеродистой листовой стали широко применяют колпаковые печи (рис. 326). Колпаковая печь состоит из неподвижного стенда (пода) 7, внутреннего колпака-муфеля 2, выполненного из жаропрочной стали, и наружного нагревательного колпака 1, установленного над муфелем и футерованного огнеупорным легковесным кирпичом. В этом колпаке (иногда в стенках стенда) внизу расположены горелки 9 и сделаны дымовые окна 6.

Рулоны 3 листовой стали укладывают на стенде в стопу и накрывают муфелем. Этот муфель устанавливают в специальный песочный затвор, предохраняющий отжигаемый металл от продуктов сгорания при нагреве и атмосферного воздуха при охлаждении. Затем муфель накрывают колпаком. Продукты сгорания, выходящие из горелок, экранами направляются к своду, затем опускаются и через дымовые окна отсасываются эжектором 5.

При нагреве и охлаждении рулонов внутрь муфеля непрерывно подают защитный газ для защиты поверхности листовой стали от окисле-

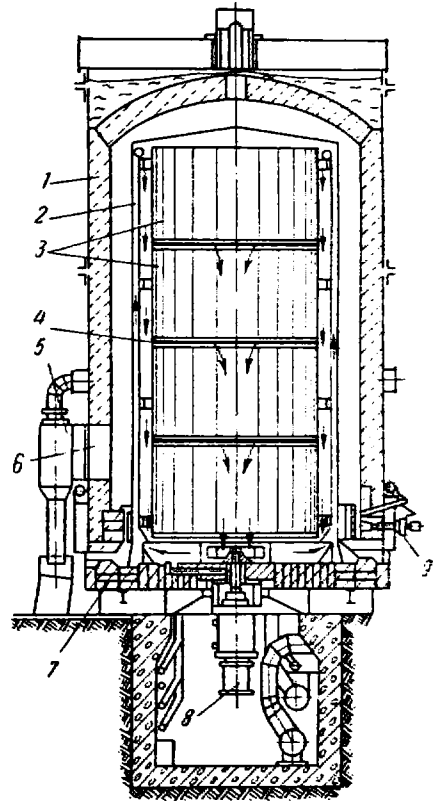


Рис. 326. Колпаковая печь для светлого отжига рулонов листовой стали после холодной прокатки

ния и появления цветов побежалости. Для ускорения нагрева применяют принудительную циркуляцию защитного газа, передающего тепло от стенок муфеля к торцовым и внутренним поверхностям рулонов. С этой целью современные колпаковые печи для отжига рулонов оборудованы специальными вентиляторами 8, устанавливаемыми под стопой рулонов. Вентилятор забирает защитный газ из полости внутри рулонов и через специальный направляющий аппарат выбрасывает его в пространство между стопой рулонов и муфелем. Защитный газ, получивший тепло от стенок муфеля, проходит между рулонами через отверстия в специальных ребристых прокладках 4, установленных между рулонами, поступает во внутреннюю полость рулонов и далее к вентилятору.

Для отжига рулонов листовой стали применяют многостопные и одностопные колпаковые печи. Последние начинают получать все большее распространение, так как они имеют наилучший обогрев рулонов и более удобны при отжиге листовой стали различного сортамента. Кроме того, нагревательные колпаки одностопных колпаковых печей имеют меньшую массу, что удешевляет здание и мостовые краны для переноса колпаков. Загрузка этих печей более простая, так как садка состоит из 2—3 рулонов.

Обычно один нагревательный колпак обслуживает 3—4 стэнда. Нагревательный колпак, после того как садка нагрета до заданной температуры, снимают и переносят на другой стэнд. Такой порядок работы позволяет использовать тепло, аккумулированное в футеровке нагревательного колпака, для нагрева новой садки и, следовательно, увеличивает производительность печи.

Для ускорения охлаждения применяют специальные охлаждающие колпаки, которые устанавливают над муфелями после переноса нагревательного колпака на другой стэнд. На верху такого колпака устанавливают вентилятор, который засасывает в пространство между колпаком и муфелем холодный воздух, ускоряя этим охлаждение рулонов. При температуре ниже 300 °С для ускорения охлаждения применяют также воду, которую подают по трубопроводам на верх муфеля; последняя стекает по его наружной стенке или впрыскивается снизу и увлажняет воздух, засасываемый вентилятором охлаждающего колпака.

Колпаковые печи отапливают чаще всего коксовым или смешанным газом, причем газ сгорает непосредственно в пространстве между нагревательным колпаком и муфелем или в радиационных трубах, изготовленных из жаропрочной стали. Электрические колпаковые печи применяют в большинстве случаев для термической обработки специальной листовой стали.

В последнее время для отжига листовой стали применяют непрерывные печи, которые позволяют значительно ускорить процесс производства холоднокатаной листовой стали, так как время отжига разматываемой полосы, проходящей через печь с большой скоростью, составляет несколько минут. В непрерывных печах рулоны разматываются, концы их свариваются и полоса движется непрерывно через печь, в которой она нагревается и охлаждается, а затем, по выходе из печи, сварные швы вырезают и полосу сматывают в рулоны. Большим преимуществом печей непрерывного отжига является также то, что полоса по всей длине имеет одинаковые механические свойства. Это обусловливается одинаковыми условиями нагрева и охлаждения. Следует отметить также, что при непрерывном отжиге исключается опасность слипания витков рулона и наблюдается некоторое уменьшение коробоватости и волнистости полосы, получающихся при холодной прокатке.

На рис. 327 показана схема агрегата непрерывного отжига жести. Рулоны жести подают к разматывателю. Обычно устанавливают два разматывателя 1 и 2, причем с одного из них полоса поступает в печь, а на другой в это время устанавливают новый рулон. Применение двух разматывателей позволяет сократить время перехода на новый рулон при окончании размотки предыдущего и этим уменьшить емкость петлевого устройства.

С разматывателя полосу подают тянущими роликами 3 к сдвоенным гильотинным ножницам 4, на которых обрезают задний конец предыду-

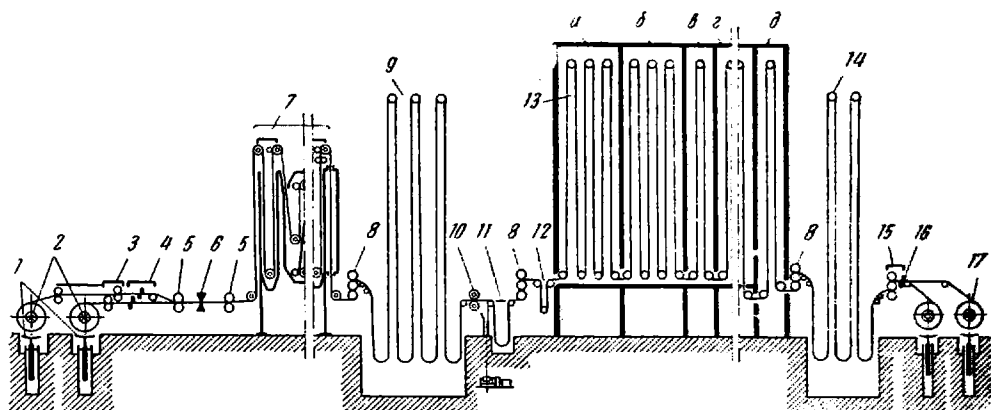


Рис. 327. Агрегат непрерывного отжига листовой стали с башенными печами

щего рулона и передний конец следующего рулона перед сваркой их внахлестку в электросварочной машине 6. Перед сварочной машиной и за ней имеются подающие ролики 5.

Так как жечь подвергают лужению, поверхность ее перед отжигом очищают от масла, металлической пыли и других веществ, остающихся на полосе после прокатки. В противном случае образуется сажистый налет, который может привести к браку при лужении.

После подающих роликов 5 полоса проходит петлевую секцию 7, состоящую из ванны химической обработки, щеточно-моющих машин, ванны электролитического обезжиривания и камеры для промывки водой и сушки полосы.

Далее полоса поступает в тянущие ролики 8 и в петлевую башню 9, обеспечивающую непрерывную работу отжигательной печи во время сварки концов. Эта башня представляет собой сварную металлическую конструкцию высотой около 20 м, под которой имеется петлевая яма.

За петлевой башней установлены дисковые ножницы 10 для обрезки боковых кромок в случае, если на них есть мелкие трещины (во избежание обрывов полосы в печи), за которыми расположено небольшое петлевое устройство.

Далее полоса проходит тянущие ролики 8 и регулятор натяжения 12, который создает необходимое натяжение полосы перед поступлением в печь.

Отжигательная печь 13 состоит из камер нагрева, выдержки, замедленного охлаждения, ускоренного охлаждения и окончательного охлаждения.

В камере нагрева полоса делает три петли длиной 100 м и нагревается до 700—730 °С. На входе в эту камеру установлены специаль-

ные уплотняющие ролики, препятствующие проникновению воздуха в печь.

С двух сторон каждой ветви петли расположены нагревательные элементы. Если печь отапливается газом, то нагревательным элементом являются радиационные трубы (коксодоменный газ сжигается в трубах). Если для нагрева применяют электроэнергию, то нагревателями являются элементы сопротивления.

Камера выдержки предназначена для выдерживания полосы при температуре нагрева и имеет электрический обогрев. В этой камере полоса также делает три петли общей длиной около 100 м.

В камере замедленного охлаждения полоса делает только одну петлю и охлаждается до 500 °С, проходя между трубами с холодным воздухом. Предусмотренные в камере электронагреватели включают только в начале работы печи для разогрева кладки. В этой камере при замедленном охлаждении полосы обеспечивается полное выпадение мелкодисперсных карбидов, растворенных в феррите, что необходимо для повышения пластических свойств металла. Далее полоса проходит камеру ускоренного охлаждения, где она делает 10 петель, проходя через каналы с водяными рубашками. Для ускорения охлаждения осуществляется циркуляция защитного газа. В камере ускоренного охлаждения полоса охлаждается до 120—150 °С.

Во всех четырех камерах полоса находится в атмосфере защитного газа, поэтому по выходе из четвертой камеры поверхность полосы будет светлой (при 120—150 °С цвета побежалости не образуются).

Дальнейшее охлаждение полосы до температуры не выше 50 °С производится в камере окончательного охлаждения, где полоса делает одну петлю. В этой камере полосу охлаждают холодным воздухом. Исследования показывают, что время отжига можно сократить в несколько раз, используя ускоренный нагрев и охлаждение полосы. Для быстрой заправки полосы печь имеет люки сверху и снизу, а также специальные механизмы, производящие заправку.

За печью непрерывного отжига имеются выходные тянущие ролики 8 и петлевая башня с ямой 14. Далее установлены тянущие ролики 15, ножницы 16 для вырезки сварных швов и две моталки 17, оборудованные уборочными устройствами для рулонов.

При непрерывном отжиге в печах башенного типа полоса под натяжением проходит петлевой путь в башнях, огибающая направляющие профилированные ролики на 180°, благодаря чему ее легче центрировать; поэтому скорость движения полосы достигает в этих печах до 10 м/сек. Производительность непрерывных печей башенного типа составляет 30—50 т/ч.

Кроме агрегатов непрерывного отжига с вертикальной печью, применяют также агрегаты с горизонтальным расположением печи.

Длина этих печей достигает 150—200 м, что является одним из недостатков этих печей, так как они удлиняют здание цеха. Для уменьшения длины печей ролики для перемещения полосы располагают в несколько рядов по высоте. В этом случае полоса с помощью роликов делает несколько поворотов по высоте рабочего пространства печи и после этого выходит из печи.

В горизонтальных печах отжигают полосы толщиной 0,5—2,0 мм. Производительность таких печей низкая (10—15 т/ч) вследствие того, что по условиям центрирования движущейся полосы скорость ее не превышает 1,5—2,0 м/сек. При скорости движения полосы более 2,0 м/сек происходит сильное биение и сползание полосы к стенкам печи. Преимуществами этих агрегатов являются меньшая высота цеха,

более простой ввод в печь переднего конца и более легкая наладка в случае разрывов полосы.

Следующей операцией отделки углеродистой листовой стали является дрессировка, которая заключается в холодной прокатке ее с обжатиями в пределах 0,5—3%.

Дрессировка углеродистой листовой стали, применяемой главным образом в автотракторной промышленности, предназначена для предотвращения появления линий сдвига при штамповке. Эти линии бывают настолько резко выражены, что даже после покраски и эмалирования они остаются заметными. Для изделий, к поверхности которых предъявляют повышенные требования, листовая сталь с линиями сдвига со-

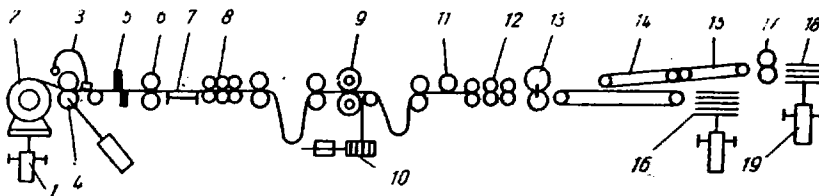


Рис. 328. Агрегат поперечной резки холоднокатаной полосы $0,6 \div 2,0 \times 1550$ мм

вершенно непригодна. Установлено, что в металле тем резче проявляются эти линии, чем больше удлинение на пределе текучести.

Кроме того, в результате дрессировки заметно улучшается поверхность листовой стали. Мягкой листовой стали после отжига дрессировкой придается некоторая упругость, что предохраняет эту сталь от ломки и смятия при дальнейшей обработке. В результате дрессировки несколько повышается прочность листовой стали, а также происходит правка ее, что уменьшает волнистость и коробоватость.

В современных цехах холодной прокатки для дрессировки углеродистой листовой стали применяют одноклетевые станы кварто, которые по конструкции аналогичны реверсивным станам холодной прокатки.

При дрессировке рулонной полосы с натяжением обеспечивается не только обжатие металла, но и правка его растяжением. При дрессировке углеродистой листовой стали толщиной 0,5—1,5 мм натяжение составляет 0,7—0,8 предела текучести.

Для лучшей правки и получения гладкой поверхности полосы желательнее на дрессировочных станах применять рабочие валки большего диаметра (для получения большего упругого сплющивания валков и большей длины их контакта с полосой). Однако для унификации на дрессировочных станах применяют валки того же диаметра, что и на станах холодной прокатки данного цеха.

К другим операциям отделки тонколистовой углеродистой стали относят поперечную и продольную резку рулонов. Для резки полосы в соответствии с заказами в цехе холодной прокатки устанавливают следующие агрегаты: 1) поперечной резки полосы на мерные длины, 2) продольной резки широкой полосы на более узкие полосы, сматываемые в рулоны, 3) комбинированные для поперечной и продольной резки.

На рис. 328 показана схема агрегата поперечной резки холоднокатаной полосы толщиной 0,6—2,0 мм и шириной 750—1550 мм на листы мерной длины. Масса рулонов достигает 30 т, наружный диаметр 2200 мм, внутренний диаметр 600 мм. Скорость движения полосы в агрегате 1,0—6,0 м/сек.

При помощи цепного транспортера рулоны подают к агрегату по оси размотывателя. Очередной рулон при помощи передвижного подъемного гидравлического стола *1* надвигается на консольный барабан размотывателя *2*; последний автоматически расклинивается (увеличивается его диаметр) и поворачивается в положение, необходимое для отгибания переднего конца полосы магнитным отгибателем *3* правильно-тянущей машины *4*. Передний конец полосы (длиной 1—2 м) отрезают гидравлическими гильотинными ножницами *5*, подают роликами *6* на наклонный стол *7* и сбрасывают в боковой короб для обрезки. Для созда-

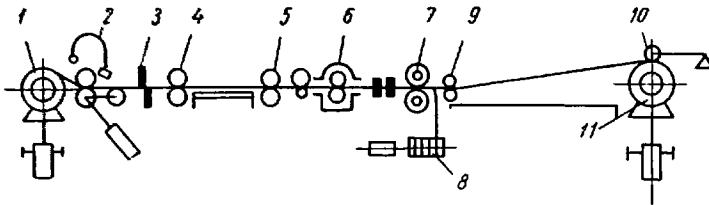


Рис. 329. Агрегат продольной резки холоднокатаной полосы $0,4 \div 2,0 \times 1550$ мм

ния натяжения полосы размотыватель работает в генераторном режиме. Протягивание полосы на этом участке осуществляют передние тянущие ролики правильной машины *8* для грубой правки полосы.

Боковые кромки полосы отрезают дисковыми ножницами *9* и сматывают моталкой *10*. Окончательная правка полосы осуществляется второй правильной машиной *12*, после чего полоса разрезается на листы мерной длины летучими барабанными ножницами *13*.

Пакетирующее устройство состоит из трех секций: первая *16* предназначена для бракованных листов, а остальные две *18* — для годных. Листы направляют на пакетирующие столы распределительными ленточными транспортерами *14* и *15*. Над нижней ветвью этих транспортеров установлены переключающие электромагниты. Переключение этих магнитов осуществляется от импульса приборов контроля качества поверхности полосы, расположенных на столе *11* перед второй правильной машиной. Перед поступлением на пакетирующие столы годные листы промасливают в устройствах *17*.

При опускании стола *19* поддон с пакетом листов устанавливается на тележку, выкатывается в боковую сторону, взвешивается на весах и краном переносится на склад.

Агрегат характеризуется высокой производительностью (30—50 т/ч), большинство операций на нем выполняется автоматически.

На рис. 329 показана схема агрегата продольной резки, предназначенного для обрезки боковых кромок рулонной полосы и резки ее на узкие полосы. Масса рулона достигает 30 т, толщина полосы 0,4—2,0 мм, ширина 750—1550 мм. Готовые узкие рулоны имеют массу до 10 т, наружный диаметр до 1600 мм, внутренний диаметр 600 мм, ширину 80 мм и более. Скорость движения полосы 1,5—7,0 м/сек.

Исходный рулон устанавливают на барабан размотывателя *1*, конец полосы отгибается магнитным отгибателем *2* и обрезается ножницами *3*. Для создания натяжения полосы роликами *4* размотыватель работает в генераторном режиме. Полоса проходит через контрольно-маркировочный стол *5*, промасливающее устройство *6* и дисковыми многопарными ножницами *7* разрезается на несколько узких полос. Боковые кромки сматываются в бунты моталкой *8*.

Передние концы узких полос захватываются передвижными роликами 9 и заправляются в щель барабана моталки 11. При этом полосы отводятся одна от другой на некоторое расстояние и в образующиеся зазоры опускаются разделительные кольца, сидящие на подъемном ролике 10; при помощи этих колец образуются ровные торцы узких рулонов. По окончании наматывания рулоны обвязывают узкой полосой и сталкивают на один из трех штырей поворотного пакетирующего устройства. Производительность агрегата равна 20—40 т/ч.

5. ОСОБЕННОСТИ ПРОКАТКИ ЖЕСТИ

Жесть применяют для изготовления консервных банок и крышек к стеклянной таре и др. На станах холодной прокатки прокатывают жесть толщиной 0,10—0,50 мм и шириной до 1000 мм и более из кипящей мартеновской стали 08кп с содержанием 0,05—0,11% С, 0,04% S, 0,04% Р и 0,25—0,50% Мп. На некоторых металлургических заводах для обеспечения хорошей пластичности применяют сталь с содержанием углерода не более 0,09% и фосфора и серы не более по 0,03% [V. 1, 6].

Различают жесть белую и черную. Наиболее распространенной является белая (луженая) жесть, полученная из черной нанесением на нее тонкого слоя олова. Для уменьшения расхода олова жесть должна иметь хорошую поверхность. В последнее время все больше производится жести с покрытием лаком.

Характерным для современного производства жести является холодная прокатка ее в рулонах с применением непрерывных процессов травления, отжига, дрессировки, электролитического лужения. Холодная прокатка позволила повысить механические свойства металла, улучшить внешний вид и поверхность, значительно уменьшить разнотолщинность, повысить выход годного и сократить расход олова.

Исходным материалом для холодной прокатки жести являются горячекатаные рулоны, поступающие главным образом с непрерывных листовых станов горячей прокатки. К точности геометрических размеров полосы этих рулонов предъявляют высокие требования. Эти рулоны должны иметь минимальную разнотолщинность по длине полосы и особенно минимальную разнотолщинность переднего и заднего концов полосы рулона. Разнотолщинность концов имеет большое значение для обеспечения хорошей прокатываемости сварных швов и максимального выхода годного.

Горячекатаные рулоны должны иметь также минимальную разнотолщинность по ширине полосы, так как большая ее величина приводит к коробоватости и волнистости, а также вызывает образование рваной кромки и других пороков на прокатываемой полосе.

Структура металла горячекатаных рулонов должна быть свободна от скоплений свободно структурного цементита и неметаллических включений, снижающих пластичность стали при штамповке.

Стыковая сварка концов рулонов с целью увеличения массы рулона должна обеспечивать высокую прочность шва, так как в этом случае отпадает необходимость в снижении скорости прокатки при прохождении швов через валки.

Горячекатаные рулоны в цехе холодной прокатки жести не проходят никакой смягчающей термической обработки. Поэтому первой операцией технологического процесса холодной прокатки жести является травление горячекатаных рулонов в растворе серной кислоты в непре-

рывных гравильных агрегатах. После травления рулоны передают на склад, расположенный перед станом холодной прокатки.

Ширина горячекатаных рулонов соответствует ширине жести. Толщина полосы горячекатаного рулона зависит от суммарного обжатия на стане холодной прокатки. Суммарное обжатие при прокатке жести на непрерывных пяти- и шестиклетевых станах достигает 90%. Тогда при прокатке жести с наименьшей толщиной 0,15 мм толщина полосы горячекатаного рулона будет равна 1,5 мм. Наибольшая толщина полосы горячекатаного рулона при прокатке жести обычно равна 2,5 мм.

Исходя из пластичности металла обжатие в первой клетке стана холодной прокатки жести должно быть максимальным. Однако при этом очень трудно уменьшить разнотолщинность полосы, выходящей из первой клетки. Применение эффективных смазок при прокатке жести обеспечивает большие обжатия во всех клетках. На основании практических данных можно рекомендовать следующий режим обжатий при холодной прокатке жести на непрерывном пятиклетевом стане:

Клеть	I	II	III и IV	V
Обжатие, %	Не более 30	40—45	35—40	40 и более

Особенностью прокатки жести толщиной 0,35 мм и менее на этих станах является применение высокоэффективных технологических смазок, снижающих коэффициент трения до 0,02—0,08 (при чистом жидкостном трении $f \approx 0,005$). Технологическая смазка способствует получению хорошей поверхности жести, увеличивает срок службы валков. При прокатке жести применяют чистое пальмовое масло или смесь пальмового и растворимого масла с водой. Растворимое масло в этом случае способствует лучшей дисперсности пальмового масла. Чаще всего применяют смесь пальмового масла с водой, которую непрерывно подают на прокатываемую полосу.

Перед отжигом полосу подвергают очистке (обезжириванию), состоящей из следующих операций: 1) электролитической химической обработки в горячем щелочном растворе (натриевые соли) для омыления масляных (жировых) остатков, 2) промывки водой и протирки щетками, 3) электролитического обезжиривания в таком же щелочном растворе, 4) протирки щетками, промывки горячей водой и сушки.

В случае отжига рулонов жести в колпаковых печах для чистки полосы применяют отдельные непрерывные агрегаты, а в случае отжига рулонов жести в непрерывных печах в линию этих печей встроены секции очистки полосы. Такие секции очистки полосы обычно встроены в непрерывные агрегаты лужения, лакировки и др.

Применяют два типа отдельных непрерывных агрегатов очистки: 1) петлевые с вертикальным расположением петель в ваннах, 2) беспетлевые с горизонтальным расположением полосы в длинных ваннах. Первые требуют меньше места в цехе, но максимальная допустимая скорость полосы не превышает 6 м/сек. Вторые длиннее, но производительность их выше, так как они могут работать при скорости до 12 м/сек. [V. 25, 31].

На рис. 330, а приведена схема петлевого агрегата электролитической очистки тонкой полосы конструкции НИИХИММАШ. Рулоны полосы подают к агрегату по гравитационному рольгангу 1, очередной рулон скатывается на подъемный стол 2 и центрируется по оси размагнитывателя 3. Конец полосы стгибается магнитным отгибателем 4 и задается в гильотинные ножницы 5 (для обрезки переднего неровного конца). Далее полоса тянущими роликами 6 направляется в машину шовой электросварки 7, где свриваются внахлестку концы двух полос.

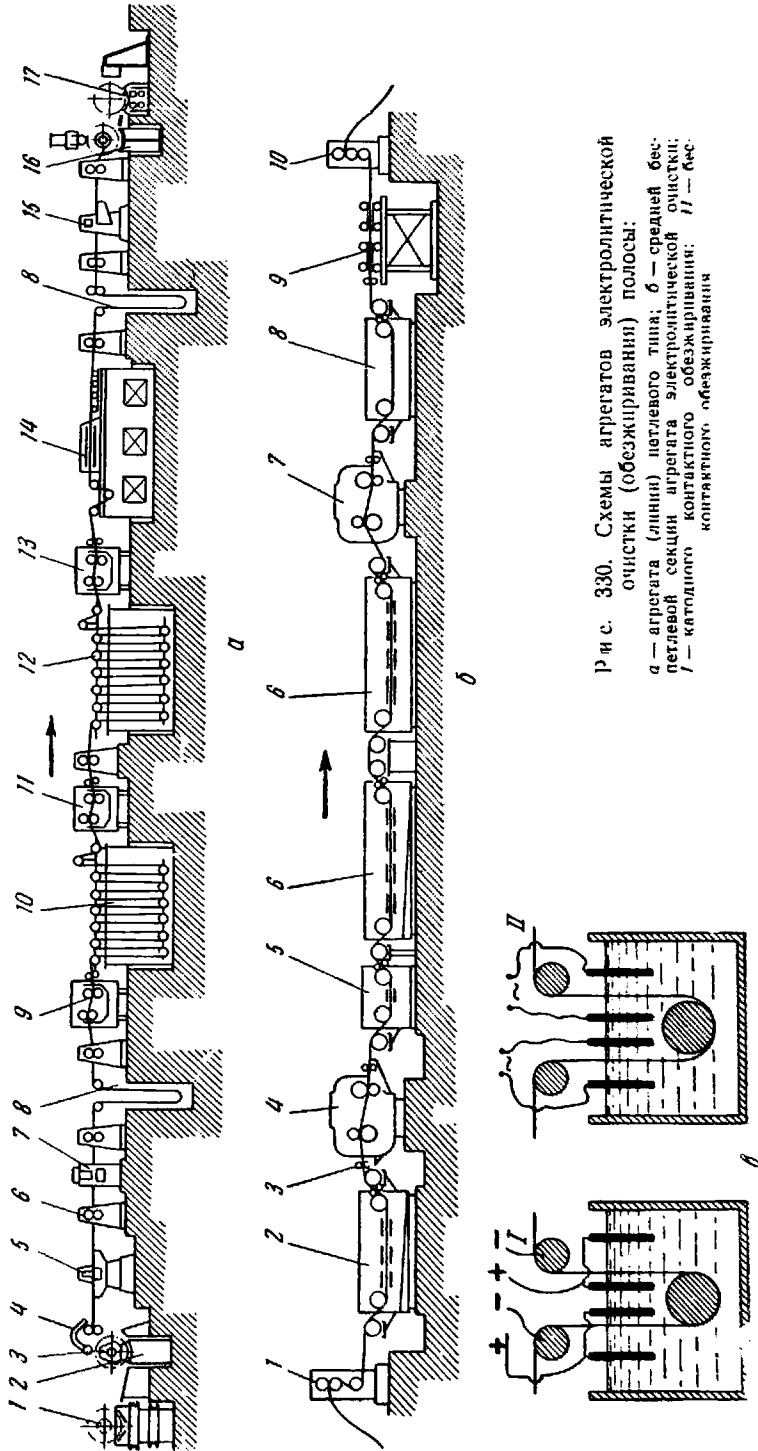


Рис. 330. Схемы агрегатов электролитической очистки (обезжиривания) полосы:
 а — агрегата (линии петлевого типа); б — средней бес-
 петлевой секции агрегата электролитической очистки;
 1 — катодного контактного обезжиривания; 11 — бес-
 контактного обезжиривания

для обеспечения непрерывного движения полосы через ванны электрохимической обработки. В период обрезки переднего конца и сварки полос средняя технологическая секция обеспечивается полосой из первой петлевой ямы 8 и состоит из щеточной машины 9, первой электрохимической ванны 10, второй щеточной машины 11, второй ванны электрохимического обезжиривания 12, третьей щеточной машины 13 и сушильной камеры 14.

Хвостовая секция состоит из гильотинных ножиц 15, на которых вырезают места сварки полос, моталки 16 и приемного стеллажа 17 (или гравитационного рольганга). В период вырезки сварного шва полоса накапливается во второй петлевой яме 8. Так как в средней технологической части полоса движется непрерывно с определенной постоянной скоростью, то очевидно, что в головной и хвостовой секциях полоса должна двигаться с большой скоростью (до 10 м/сек), чтобы обеспечить накопление полосы в первой петлевой яме и выборку запаса полосы из второй петлевой ямы.

На рис. 330, б показана схема средней технологической секции беспетлевого типа конструкции ВНИИМЕТМАШ непрерывного агрегата электролитической очистки жести перед отжигом. Головная (от размотывателя до первой петлевой ямы) и хвостовая (от второй петлевой ямы до моталки) секции этого агрегата аналогичны описанным выше для петлевого агрегата. В средней технологической секции полоса движется горизонтально через электролитические ванны. Из первой петлевой ямы полоса подается тянущими роликами 1 и движется через технологическую линию под натяжением при помощи тянущих роликов 10. Полоса проходит через ванну струйной промывки 2, щеточно-моечные устройства 3—5, две ванны электрохимической обработки и обезжиривания 6, вторую ванну струйной промывки 7, ванну промывки в горячей воде 8 и сушильное устройство 9. Скорость движения полосы в средней технологической части достигает 10 м/сек и в головной и хвостовой секциях 12 м/сек.

В ваннах электролитической обработки прежней конструкции применяли постоянный ток, причем один контакт (плюс) присоединяли к электродам, опущенным в раствор, а второй (минус) присоединяли к движущейся полосе через направляющие ролики (скользящий контакт). Такой процесс называют катодным обезжириванием (рис. 330, в, I).

В описанных выше новых ваннах электролитического обезжиривания применен переменный ток промышленной частоты (50 гц) и низкого напряжения (7 в). Полоса движется между двумя парами электродов, присоединенных к сети переменного тока (через трансформатор) и опущенных в щелочной раствор. Благодаря использованию переменного тока исключается необходимость применения выпрямителей и устройства скользящих контактов, а также возможность образования водорода и кислорода в ваннах; процесс становится полностью взрывобезопасным (рис. 330, в, II).

Следующей операцией технологического процесса производства жести является отжиг. В последнее время для отжига жести применяют непрерывные печи башенного типа, значительно ускоряющие процесс производства жести, обеспечивающие одинаковые механические свойства и уменьшение коробоватости и волнистости полосы.

Для дрессировки жести в рулонах после отжига обычно применяют двухклетевые станы кварца. Последние обеспечивают получение высококачественной поверхности жести. Это достигается применением перед первой клетью и за второй натяжных роликов, которые предназначены для натяжения полосы с целью правки ее растяжением. В этом

случае в полосе создается среднее напряжение, близкое к пределу текучести, благодаря чему она получает гладкую и ровную поверхность.

На рис. 331 показан общий вид двухклетевого дрессировочного непрерывного стана кварто 500/1300×1200 конструкции УЗТМ для дрессировки отожженной жести в рулонах толщиной 0,15—0,6 мм и шириной 1000 мм; масса рулона 15 т.

Стан состоит из подающего транспортера рулонов 1, подъемного передвижного стола с упором 2, разматывателя с приводными головка-

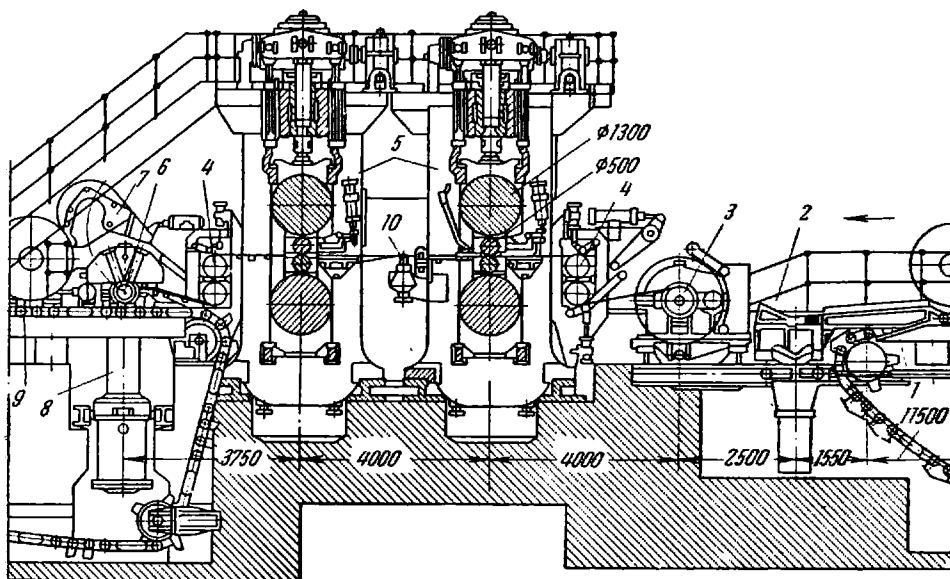


Рис. 331. Двухклетевой дрессировочный стан 500/1300×1200 для жести

ми 3, передних и задних натяжных роликов 4, рабочих клетей 5 (аналогичных по конструкции клетям непрерывного пятиклетевого стана холодной прокатки, см. рис. 278), моталки 6, ременного захлестывателя 7 (установленного над моталкой), подъемного стола 8 для рулонов, отводящего транспортера 9 для рулонов и устройства с роликом 10 для измерения натяжения полосы между клетями. При дрессировке полосы разматыватель и первые натяжные ролики (в некоторых случаях и первая клеть) работают в тормозном режиме, создавая натяжение полосы. Натяжение на выходном участке стана создается моталкой и вторыми натяжными роликами, работающими в двигательном режиме. Натяжные ролики не соприкасаются бочками; полоса огибает ролики по S-образной кривой (восьмеркой) и растягивается между ними с усилием, создающим напряжения в полосе, равные пределу текучести.

Максимальное давление металла на валки при дрессировке равно 5 Мн (500 тс). Каждый рабочий валок снабжен индивидуальным приводом от двух электродвигателей, установленных на одной оси, при помощи универсального шпинделя типа удлиненной зубчатой муфты. Толщину полосы измеряют летучим изотопным микрометром, установленным за первой клетью. Максимальная скорость дрессировки равна 25 м/сек; производительность стана достигает 100 т/ч, т. е. соответствует производительности непрерывного пятиклетевого стана холодной прокатки.

6. ЛУЖЕНИЕ, ОЦИНКОВАНИЕ И ДРУГИЕ ВИДЫ ПОКРЫТИЯ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

После холодной прокатки жести подвергают обычно лужению с целью защиты ее от коррозии. Применение оловянного покрытия жести, предназначенной в основном для консервной промышленности, обусловлено хорошей коррозионной устойчивостью олова агрессивному воздействию различных пищевых продуктов. Кроме того, оловянное покрытие допускает хорошую пайку и позволяет производить штамповку жести без нарушения целостности этого покрытия.

Лужение жести осуществляют двумя способами: горячим и электролитическим. Горячее лужение жести, как правило, производится в листах (карточках). Поэтому рулоны жести после дресировки поступают на агрегат поперечной резки для разрезки на листы требуемых размеров.

На рис. 332 показана схема агрегата горячего лужения листов жести. Стопу листов подают по конвейеру 1 на подающий конвейер и раскладчик их 2, при помощи которого листы поступают в ванну электролитического травления 3.

Электролитическое травление является первой операцией горячего лужения и производится в ванне, в которой лист проходит горизонтально между электродами, расположенными по обеим его сторонам. В качестве электролита применяют раствор 0,5—1,5% HCl . Через ванну пропускают постоянный ток напряжением 6—12 в и силой 100—300 а. Транспортирование листов в этой ванне осуществляется гуммированными роликами.

После травления листы промывают струями воды с обтиркой щетками и подают к лудильной машине 4, в которой слой расплавленного олова со стороны входа листов прикрыт слоем флюса, а со стороны выхода — слоем масла (схема лудильной машины показана на рис. 333).

В качестве флюса применяют водный раствор хлористого цинка, нагретого до 270 °С. При помощи этого флюса с поверхности листа удаляют влагу, окислы и другие загрязнения. Кроме того, лист при прохождении через слой флюса нагревается до 110—120 °С, что необходимо для предотвращения образования

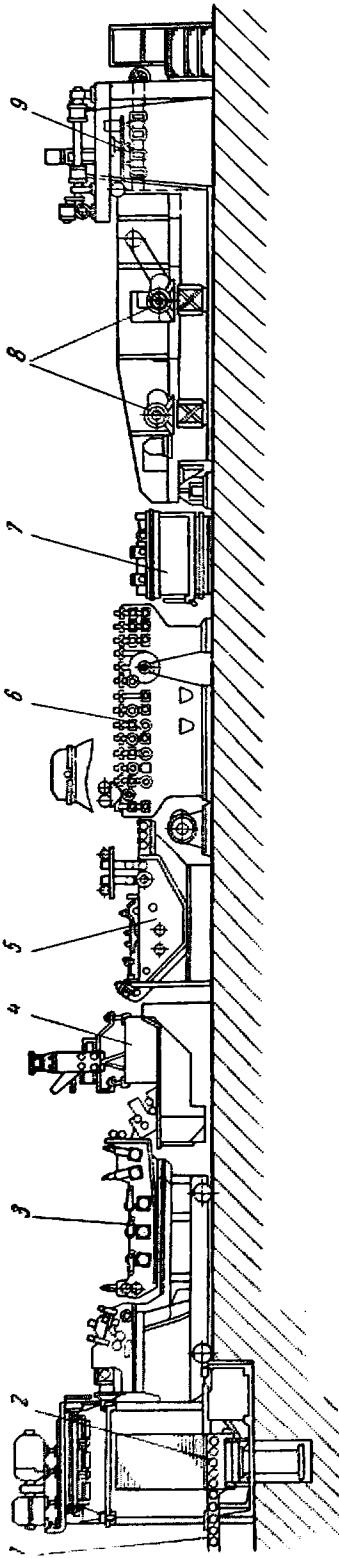


Рис. 332. Схема агрегата горячего лужения жести

черезмерной толщины промежуточного слоя, представляющего собой железооловянный сплав.

После прохождения слоя флюса листы поступают в ванну с расплавленным оловом, где их продвижение осуществляется приводными роликами, которые одновременно проглаживают поверхностный слой. Температура расплавленного олова равна 280—330 °С. При помощи трех пар роликов, которые окончательно выравнивают слой полуды,

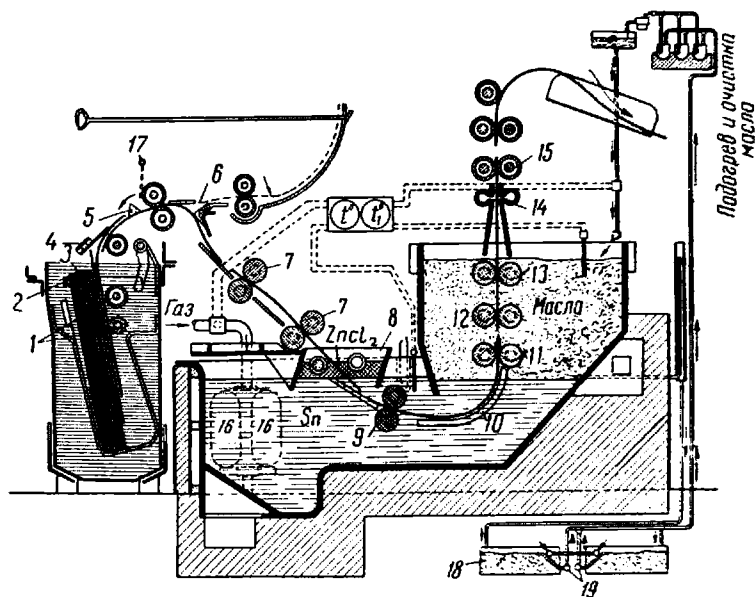


Рис. 333. Схема лудильной машины:

- 1 — магнитные ролики; 2 — прижимная рамка; 3 — стопа жести; 4 — магнитная планка; 5 — треугольный прерыватель; 6 — устройство для сортировки; 7 — подающие ролики; 8 — флюсовая коробка; 9 — ролики; 10 — направляющая; 11—13 — ролики; 14 — охлаждающее устройство; 15 — приемные ролики; 16 — нагреватель; 17 — вода; 18 — отстойные баки; 19 — насос

листы вертикально проходят через ванну с хлопковым или пальмовым маслом. По выходе из этой ванны листы обдувают сжатым воздухом: слой полуды при этом затвердевает.

Далее листы проходят промывочную машину 5, где их обрабатывают горячим раствором соды с последующей обтиркой матерчатыми щетками, имеющими разную скорость вращения. После этого листы поступают в машину 6, где оловянное покрытие протирают и полируют смесью отрубей и мела с помощью матерчатых роликов. По выходе из этой машины листы обдувают воздухом.

На инспекторском столе 7 листы осматривают и по транспортеру направляют бракованные к укладчикам 8, а годные к укладчикам 9.

Агрегаты горячего лужения жести в рулонах широкого распространения не получили: их применяют только для лужения полос шириной не более 500 мм. Процесс лужения на этих агрегатах аналогичен процессу лужения жести в листах.

Большое распространение получило электролитическое лужение жести. Этот способ лужения позволяет наносить на поверхность полосы весьма тонкий слой олова (0,5—1,5 мкм) при расходе олова 5—7 кг/т вместо 15—20 кг/т при горячем лужении жести. Электролитически луженую жесть применяют в кондитерской, химической и нефтяной промышленности, а также в качестве тары для неагрессивных консервов

(мяса, зеленого горошка). Кроме того, электролитическое лужение осуществляется непрерывно, что особенно важно при производстве жести в рулонах. Годовая производительность современного агрегата электролитического лужения составляет 140—160 тыс. т, что в 10—15 раз больше производительности агрегата горячего лужения.

Электролитическое лужение осуществляется на агрегатах с щелочным, кислым и галогенным электролитами. На рис. 334 представлена

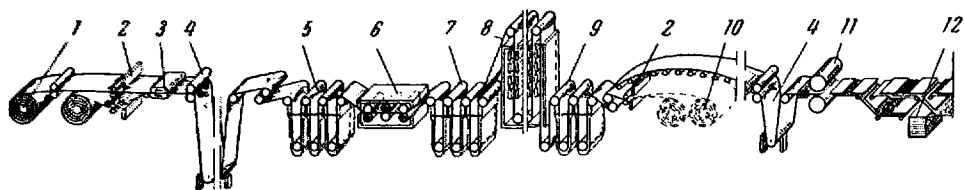


Рис. 334. Схема непрерывного агрегата электролитического лужения жести

схема непрерывного агрегата электролитического лужения с кислым электролитом, получившим наибольшее распространение. Рулон жести подают к одному из размотчиков 1. С размотчика полосу тянущими роликами подают к двоянным пневматическим или гидравлическим ножницам 2, на которых обрезают задний конец предыдущего рулона и передний конец следующего перед сваркой их в электросварочной машине 3, установленной за ножницами.

Далее подающие ролики 4 направляют полосу в петлевую яму, обеспечивающую питание средней технологической линии при остановке головной секции агрегата в период сварки концов двух полос. Тянущие ролики подают полосу из петлевой ямы в ванны электролитического обезжиривания 5 и травления 6 с последующей струйной промывкой. Далее полоса проходит через ванну 7 электролитического покрытия оловом, содержащую серноокислый электролит.

В ванне электролитического покрытия анодом являются электроды из чистого олова, помещенные по обеим сторонам полосы, а катодом — движущаяся полоса (через скользящие контакты — бронзовые ролики). Электролит для лужения состоит из раствора серноокислого олова, серной кислоты и различных добавок поверхностно активных веществ (диметиламин, фенол и т. д.), позволяющих увеличить стабильность раствора, получить мелкокристаллическое равномерное покрытие и предотвратить образование глобулей олова на полосе при последующем оплавлении покрытия. Серноокислый электролит позволяет применять большую плотность тока ($20\text{--}30\text{ а/дм}^2$) и, как следствие, большую скорость движения полосы ($8\text{--}10\text{ м/сек}$).

Из ванны электролитического лужения полоса поступает в ванну улавливания электролита, после чего ее промывают водой, а излишек влаги задерживают отжимными гуммированными роликами. После этого полосу направляют в установку 8 для оплавления с целью уменьшения пористости оловянного покрытия и придания ему высокой химической стойкости. Перед оплавлением на полосу наносят тонкий слой флюса, состоящего из раствора хлористого цинка и хлористого аммония, с помощью которого удаляется окисная пленка и предотвращается окисление металла при нагреве в этой установке. Для оплавления покрытия применяют индукционные установки и установки контактного оплавления, в которых по контактными роликам через полосу пропускают электрический ток. Оплавленный слой покрытия быстро охлаждают в воде, что позволяет получить блестящую поверхность жести.

После оплавления покрытия полоса поступает в камеру 9 химической обработки для пассивации хромовой кислотой; в результате удаляется окисная пленка, образовавшаяся при оплавлении, и получается на полосе тончайшая сплошная бесцветная пленка, которая предохраняет оловянное покрытие от окисления. Затем полоса промывается, просушивается, промасливается в электростатическом поле, проходит дефектоскопию и тянущими роликами направляется на моталки 10 или во вторую петлевою яму.

Промасливание полосы улучшает сохранность тонкого слоя покрытия, штампуемость жести и ее коррозионную стойкость.

При выпуске луженой жести в листах полоса правится многороликовой машиной, разрезается на листы летучими ножницами 11 и транспортерами направляется к подъемным столам-укладчикам 12 для сортировки.

Существуют агрегаты, в электролитических ваннах которых применяют щелочной электролит (станнат натрия, едкий и углекислый натр). Однако допустимая плотность электрического тока в этом случае невелика (2—3 a/dm^2), скорость движения полосы не превышает 1,5 $m/сек$ и в связи с этим такой процесс лужения является бесперспективным.

На некоторых зарубежных заводах применяют электролитическое лужение с галогенным электролитом, при котором в качестве электролита применяют хлориды и фториды олова; при этом плотность электрического тока превышает 50 a/dm^2 и скорость полосы достигает 13 $m/сек$. Полоса движется горизонтально в двух длинных ваннах, расположенных одна над другой (с возвратом), что позволяет получать различную толщину покрытия на нижней и верхней поверхности полосы. Годовая производительность агрегата достигает 250 тыс. т.

В последнее время значительная экономия дефицитного олова достигается покрытием жести лаком. Лакировке подвергают черную и белую жести электролитического лужения. В последнем случае лакировку производят для защиты электролитически луженой жести от коррозии в агрессивных консервных средах.

Лакировка черной жести состоит из двух основных операций: подготовки и лакировки ее с последующей сушкой. Рулоны жести после дрессировки подают на агрегат продольной резки, где разрезают на полосы шириной 90—350 мм. Эти полосы сматывают в рулоны массой примерно 60—80 кг.

Прочное сцепление лаковой пленки с поверхностью полосы обеспечивается тщательной очисткой от загрязнений и специальной обработкой поверхности.

Очистка поверхности полосы от загрязнений производится в ваннах электролитической очистки с щелочным электролитом с последующим травлением в растворе серной кислоты и промывкой. Специальная обработка поверхности включает пескоструйную обработку чистым кварцевым песком, травление в растворе соляной кислоты с последующей обработкой проволочными щетками, фосфатирование поверхности полосы и дрессировку ее в валках с насеченной поверхностью бочки. Все эти операции создают шероховатую поверхность, что значительно улучшает прилипаемость лакового слоя.

Агрегат лакировки состоит из двух групп лакировочных машин и двух сушильных печей. Одновременно через такой агрегат проходят 4—12 полос. Подготовленные к лакировке рулоны устанавливают на разматыватели. Концы полос обрезают и сваривают или сшивают с задними концами предыдущих полос, после чего полосы проходят первую группу лакировочных машин. В этих машинах полоса проходит

между двумя роликками, на которые с помощью питающих роликков непрерывно наносится равномерный слой лака, переходящий затем на полосу. После нанесения на поверхность полосы слоя лака производится его сушка в специальных сушильных печах. Сушка полосы в этих печах производится с помощью инфракрасного излучения или обогрева газом в специальных камерах. После сушки наносят второй слой лака во второй группе лакировочных машин и производят сушку покрытия во второй сушильной печи. Выходящие из этой печи полосы охлаждаются между водоохлаждаемыми барабанами и сматываются моталками в рулоны. Затем эти рулоны перематывают на специальных станках; во время перематки производят вырезку дефектных мест и подмотку бумаги между витками.

Лаки должны быть устойчивы при изгибе, штамповке, а также противостоять атмосферному и химическому воздействиям. Они должны

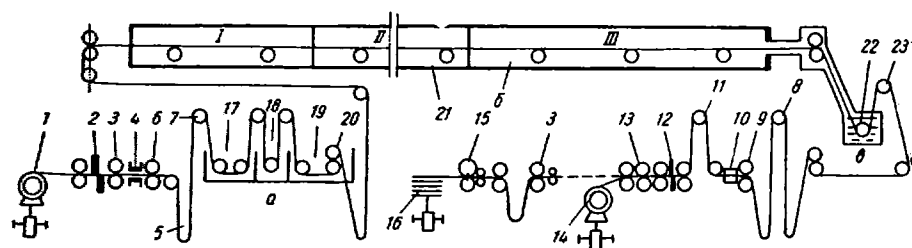


Рис. 335. Схема непрерывного агрегата цинкования полосы

легко наноситься на движущуюся полосу и быстро сохнуть. Для разных пищевых продуктов применяют различные лаки.

Широко применяют также цинкование листовой стали. Цинкованию подвергают кровельную листовую сталь, применяемую для крыш зданий, а также углеродистую листовую сталь толщиной 0,35—1,0 мм, применяемую для изготовления холодильников, кухонной мебели и других изделий. В последнем случае оцинкованную листовую сталь подвергают дополнительной химической обработке с последующей окраской. Оцинкованную листовую сталь применяют также в строительстве.

Почти во всех случаях для цинкования применяют мягкую углеродистую листовую сталь с содержанием 0,05—0,12% С и только в некоторых случаях для повышения прочности и коррозионной устойчивости применяют углеродистую сталь с содержанием 0,10—0,15% С и 0,2—0,3% Си, а также низколегированную сталь с содержанием 0,07—0,12% Сг и 0,3—0,4% Ni.

Современным способом производства оцинкованной листовой стали является непрерывное цинкование рулонной полосы в расплавленном цинке (горячее цинкование) с последующей выдачей готовой полосы в виде рулонов или листов. Поштучное горячее цинкование листов — операция малопродуктивная и ее применяют только на старых установках.

Исходным материалом для цинкования в современных агрегатах является холоднокатаная полоса в рулонах, поступающая непосредственно со станов холодной прокатки (минуя агрегаты электролитической очистки и отжига). Обезжиривание и отжиг полосы осуществляется в агрегате цинкования.

На рис. 335 представлена схема непрерывного цинковального агрегата с горизонтальной отжигательной печью. Входная и выходная секции этого агрегата и агрегата электролитического лужения (см.

рис. 334) в основном аналогичны. Непрерывность движения полосы в средней технологической части обеспечивают два петлевых устройства, являющихся аккумуляторами полосы.

Входная секция состоит из двух разматывателей 1 рулонов, работающих поочередно, сдвоенных ножниц 2, подающих роликов 3, сварочной машины 4 для сварки внахлестку концов полос двух рулонов, небольшой петлевой ямы 5 перед дисковыми ножницами 6 для обрезки боковых кромок и первого петлевого устройства 7.

Выходная секция состоит из второго петлевого устройства 8, натяжных роликов 9, стола 10 для приборов дефектоскопии полосы, промасливающего устройства 11, подающих роликов 12 с ножницами за ними для вырезки сварных швов, правильной машины 13, моталок 14 для выдачи готовой продукции в рулонах, установки летучих барабанных ножниц с правильной машиной 15, транспортеров с пакетирующими устройствами 16 для листов и стеллажа для брака.

Средняя технологическая часть агрегата состоит из секций: обезжиривания *а*, термической обработки *б* и цинкования *в*. Для экономии площади цеха горизонтальная термическая печь расположена в верхней части агрегата.

Секция обезжиривания состоит из ванн 17 и 18 электрохимической обработки в щелочном растворе, щеточно-моечной машины 19, камеры промывки и сушки 20, натяжных роликов и небольшой петлевой ямы.

В термической печи осуществляется отжиг и окончательная подготовка поверхности полосы к покрытию цинком. В камере I полоса нагревается до 450—475 °С, при которой сгорают остатки смазки. В камере II производится отжиг полосы при 730—850 °С (для продукции, пригодной к нормальной вытяжке) или нормализации при 950 °С (для полосы, предназначенной для глубокой вытяжки). Термическая обработка осуществляется в защитной атмосфере (диссоциированный аммиак, состоящий из 75% N_2 и 25% N_2). Камера 21 отапливается газом, сгораемым в радиационных трубах. В камере III полоса охлаждается до 500 °С за счет теплообмена между нагретой полосой, стенками камеры и поступающим холодным защитным газом.

По наклонному каналу, заполненному защитным газом, полоса при 500 °С поступает в ванну 22 с расплавленным цинком (не соприкасаясь с воздухом). Температура цинка в ванне 440—460 °С (поддерживается поступающей горячей полосой). Покрытая цинком полоса проходит через отжимные ролики и устройство 23 для охлаждения воздухом.

Скорость движения полосы в печи и через ванну с расплавленным цинком равна 0,5—1,5 м/сек; годовая производительность агрегата составляет 100 тыс. т.

Существуют также непрерывные агрегаты горячего цинкования с башенными термическими печами (аналогичные башенным печам в агрегатах непрерывного отжига, см. рис. 327). Скорость полосы в этих агрегатах равна 2—3 м/сек, годовая производительность их составляет примерно 200 тыс. т.

За последние годы широко развивается производство полос и листов, покрытых различными пластиками (хлорвинилом, полиэтиленом и т. п.).

Плакированным стальным и алюминиевым полосам и листам свойственна высокая антикоррозионная стойкость, звукопоглощаемость, электроизоляция, хороший внешний вид (цветное покрытие с тиснением рисунков). Такие полосы не требуют обслуживания при эксплуатации (мойки, чистки и т. п.). Их применяют для отделки автомобилей, автобусов, вагонов, жилых и конторских помещений, мебели, телевизоров.

радиоприемников и т. д. Плакированные листы можно сваривать, фальцевать и подвергать штамповке с вытяжкой.

Технологический процесс плакирования состоит из следующих операций: обезжиривания и химической обработки полосы, нанесения клея и нагрева, покрытия пленкой (изготавливаемой химическими заводами), прокатки полосы с пленкой при $160\text{--}180^\circ\text{C}$ при давлении до $0,5 \text{ Мн/м}^2$ ($0,05 \text{ кгс/мм}^2$) и охлаждения.

Плакирование полосы осуществляют в непрерывных агрегатах при скорости до 2 м/сек , аналогичных агрегатам лужения и цинкования [1, 4, 7].

На рис. 336 показана схема агрегата для одностороннего покрытия полосы толщиной 1 мм хлорвиниловой пленкой толщиной $0,1\text{--}0,3 \text{ мм}$.

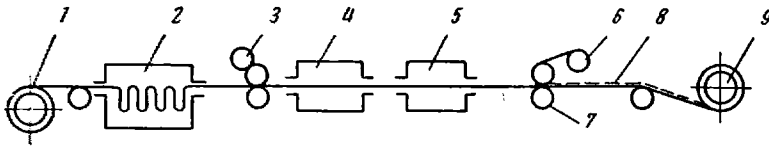


Рис. 336. Схема непрерывной линии для плакирования полосы хлорвиниловой пленкой

Рулон стальной полосы устанавливают на размотчик 1 . Далее полоса проходит через секцию 2 химической очистки. При помощи роликов 3 на ее поверхность наносится клей, который подсушивается в камере 4 для улетучивания растворителя. Для активизации клея и получения прочного сцепления его с металлом и покрытием полоса нагревается в камере 5 до 200°C и затем на нее с рулона 6 накладывается пленка. Полоса с пленкой прокатывается в валках 7 , охлаждается на участке 8 и сматывается моталкой 9 . Для получения непрерывного процесса плакирования в линии предусматривают петлевые башни для образования запаса полосы.

Г л а в а XVI

**ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ
И ЛЕГИРОВАННОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ**

1. ТРАНСФОРМАТОРНАЯ СТАЛЬ

Холодную прокатку широко применяют при производстве электротехнической листовой стали, предназначенной для изготовления трансформаторов, электрических машин, регуляторов и приборов. Эта сталь должна иметь низкие ваттные потери (на гистерезис) и высокую магнитную индукцию.

В зависимости от содержания кремния (%) различают следующие группы электротехнической стали:

Слабелегированная	0,8—1,8
Среднелегированная	1,8—2,8
Повышеннолегированная	2,8—3,8
Высоколегированная	3,8—5,0

Максимальное содержание кремния в холоднокатаной электротехнической стали в настоящее время не превышает 3,5%, так как дальнейшее повышение содержания кремния снижает пластичность стали и значительно увеличивает сопротивление деформации.

В табл. 34 приведены данные ГОСТ 802—58 на холоднокатаную текстурованную листовую электротехническую сталь. Наименование марки холоднокатаной текстурованной трансформаторной стали состоит из буквы Э, которая обозначает, что сталь электротехническая, и трех цифр. Первая цифра означает среднее содержание кремния в процентах, вторая — гарантированные магнитные свойства стали, а третья — нуль — ставится для указания, что данная электротехническая сталь является холоднокатаной и текстурованной. Буква А после цифры обозначает особо низкие удельные потери.

На отечественных металлургических заводах холоднокатаную текстурованную трансформаторную сталь изготавливают из стали Э310, Э320,

Таблица 34

Магнитные свойства холоднокатаной текстурованной листовой электротехнической стали (ГОСТ 802—58)

Марка стали	Толщина листа мм	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$	$P_{17/50}$	B_{10}	B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{200}
		вт/кг			гс				
Э310	0,50	1,1	2,45	3,2	16000	17500	18300	19100	19800
Э320	0,50	0,95	2,1	2,8	16500	18000	18700	19200	20000
Э330	0,50	0,8	1,75	2,5	17000	18500	19000	19500	20000
Э310	0,35	0,8	1,75	2,5	16000	17500	18300	19100	19800
Э320	0,35	0,7	1,5	2,2	16500	18000	18700	19200	20000
Э330	0,35	0,6	1,3	1,9	17000	18500	19000	19500	20000
Э330А	0,35	0,5	1,1	1,6	17000	18500	19000	19500	20000

Э330, Э330А, Э340, Э370 и Э380 толщиной 0,5; 0,35 и 0,2 мм и шириной до 1000 мм в листах и рулонах, из стали Э340, Э350, Э360 и Э360А толщиной 0,2—0,05 мм в рулонах различной ширины.

На магнитные свойства трансформаторной стали решающее влияние оказывает содержание кремния в стали. Это объясняется тем, что кремний повышает удельное электросопротивление и снижает потери на вихревые токи и способствует образованию крупных зерен, улучшающих магнитные свойства стали. С увеличением зерен повышается магнитная проницаемость и уменьшаются потери на гистерезис.

С повышением содержания кремния повышается предел текучести, предел прочности, твердость, одновременно увеличивается хрупкость

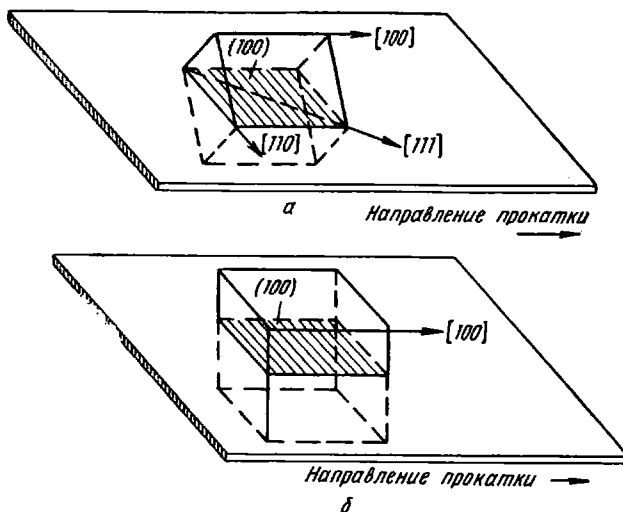


Рис. 337. Ребровая (а) и кубическая (б) текстуры электротехнической стали

стали, что затрудняет холодную прокатку. Если содержание углерода в стали не превышает 0,018—0,20%, то трансформаторная сталь с содержанием кремния 2,8—3,2% является ферритной и в процессе окончательной термической обработки фазовых превращений в ней не наблюдается. Однако при повышенном содержании углерода и наличии в стали марганца, меди, никеля и азота фазовые превращения возможны.

На электромагнитные свойства трансформаторной стали существенное влияние оказывают углерод, сера, кислород, водород и азот. Все эти примеси, в особенности углерод, понижают магнитную индукцию и повышают ваттные потери. При производстве холоднокатаной трансформаторной стали повышение электротехнических свойств достигается интенсивным обезуглероживанием полосы в непрерывных агрегатах.

Холоднокатаная трансформаторная сталь имеет в направлении прокатки меньшие потери на гистерезис и вихревые токи и более высокую магнитную индукцию, чем горячекатаная сталь. Это объясняется текстурой стали. Высокие магнитные свойства холоднокатаной трансформаторной стали объясняются также крупным зерном феррита, которое получается в результате высокотемпературного отжига.

Различают электротехническую сталь с ребровой текстурой или текстурой Госса и электротехническую сталь с кубической текстурой. В ребровой текстуре (110) [100] диагональная плоскость куба (110) совпадает с плоскостью прокатки, а направление (ребро куба) [100] совпадает с направлением прокатки (рис. 337). Таким образом, направ-

ление легкого намагничивания в решетке α -железа [100] совпадает с направлением прокатки, направление трудного намагничивания [111] находится под углом 55° к направлению прокатки, а направление среднего намагничивания [110] — под углом 90° к направлению прокатки. Следовательно, магнитные свойства стали с ребровой текстурой зависят от направления, в котором они измеряются. Более высокая магнитная индукция и низкие ваттные потери у такой стали будут в направлении холодной прокатки.

Анизотропия магнитных свойств трансформаторной стали учитывается при производстве трансформаторов. Конструкция должна быть такова, чтобы магнитный поток в них совпадал с направлением прокатки, т. е. с направлением наименьших ваттных потерь и максимальной магнитной индукции.

Для изготовления электрических машин и аппаратов с круговым магнитным потоком трансформаторная сталь со значительной анизотропией магнитных свойств не допускается. В настоящее время осваивается производство малотекстурованной холоднокатаной трансформаторной стали толщиной 0,35 и 0,5 мм, у которой разница в значении магнитных свойств вдоль и поперек листа невелика.

В кубической текстуре (100) [100] грань куба — плоскость (100) — совпадает с плоскостью прокатки, а ребро куба — направление [100] — совпадает с направлением прокатки. Таким образом, в сталях с кубической текстурой вдоль и поперек прокатки ориентируются ребра куба — направления легкого намагничивания [100], а направление средней трудности намагничивания [110] находится под углом 45° к направлению прокатки. Следовательно, магнитные свойства у сталей с кубической текстурой одинаковы вдоль и поперек направления прокатки или мало зависят от направления прокатки. Это позволяет без значительных потерь изменять направление магнитного потока в трансформаторах и электрических машинах.

Холоднокатаную трансформаторную сталь прокатывают с меньшими допусками, чем горячекатаную. Она имеет более чистую и гладкую поверхность, что позволяет улучшить конструкцию трансформаторов.

Исходным материалом при холодной прокатке трансформаторной стали являются горячекатаные рулоны, поступающие с непрерывных листовых станов или станов с моталками в печах. Ширина этих рулонов соответствует ширине готовой трансформаторной стали, а толщина зависит от суммарного обжатия при холодной прокатке.

В цехах, где отсутствуют агрегаты непрерывного отжига, первой операцией технологического процесса является черный отжиг рулонов в электрических колпаковых печах при $840\text{--}850^\circ\text{C}$ без защитной атмосферы. Этот отжиг проводится для уменьшения содержания углерода: последнее достигается за счет кислорода окалины и кислорода воздуха.

К подготовительной операции перед холодной прокаткой относится также травление горячекатаных рулонов трансформаторной стали, которое проводится обычно в растворе серной кислоты с добавкой поваренной соли в непрерывных травильных агрегатах. Окалина вследствие повышенного содержания кремния является очень плотной (высокая адгезия), поэтому скорость травления трансформаторной стали значительно меньше, чем углеродистой стали.

Проведенные исследования и опыт работы заводов показали, что на магнитные свойства трансформаторной стали существенное влияние оказывает режим обжатия при холодной прокатке.

Обычно холодная прокатка трансформаторной стали толщиной 0,35 и 0,5 мм осуществляется за два передела с суммарным обжатием за

каждый передел 55—65%. Обжатие за проход ограничивается теми же факторами, что и при прокатке углеродистой листовой стали. Однако при холодной прокатке трансформаторной стали рекомендуется применять в первом проходе обжатие до 40—45%, что повышает температуру и тем самым пластичность полосы.

В табл. 35 приведен режим обжатий при холодной прокатке трансформаторной стали толщиной 0,35 мм за два передела на непрерывном пятиклетевом стане 1200. Из таблицы видно, что при первой холодной прокатке толщина горячекатаного рулона снижается до 0,85 мм, а при второй холодной прокатке — до 0,35 мм. Таким образом, суммарное обжатие за первый передел составляет 66%, за второй 58,8%. Суммарное обжатие за два передела составляет 86%. Приведенный режим обжатий является характерным для наших металлургических заводов, производящих холоднокатаную трансформаторную сталь.

Таблица 35

Режим обжатий при прокатке трансформаторной стали толщиной 0,35 мм и шириной 750 мм

Номер прохода	Толщина, мм		Обжатие		Суммарное обжатие, %	Номер прохода	Толщина, мм		Обжатие		Суммарное обжатие, %
	до прохода	после прохода	мм	%			до прохода	после прохода	мм	%	
<i>Первая холодная прокатка</i>						<i>Вторая холодная прокатка</i>					
1	2,50	1,70	0,80	32,0	66,0	1	0,85	0,56	0,29	34,0	58,0
2	1,70	1,30	0,40	23,5		2	0,56	0,45	0,11	20,0	
3	1,30	1,00	0,30	23,0		3	0,45	0,38	0,07	15,5	
4	1,00	0,85	0,15	15,0		4	0,38	0,35	0,03	8,0	

В холодном состоянии трансформаторную сталь прокатывают на одноклетевых реверсивных станах кварто и на непрерывных станах. В последние годы для холодной прокатки трансформаторной стали тол-

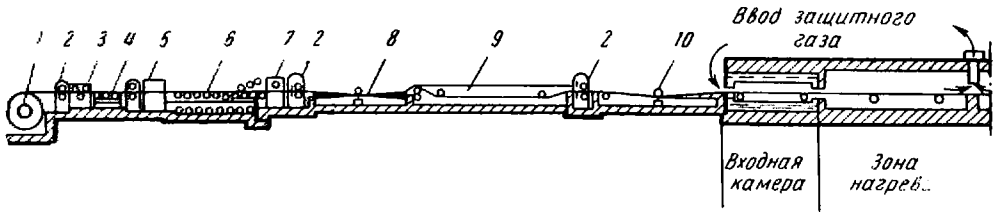


Рис. 338. Агрегат непрерывного отжига трансформаторной стали.
1 — размотчик; 2 — тянущие ролики; 3 — правильная машина; 4 — рольганг; левая яма; 9 — установка обезжиривания; 10 — петлевой колодец с «танцующим» рольгангом; дающий рольганг с качающейся рамой

щиной 0,1—0,35 мм и менее начали широко применять 20-валковые станы. Эти станы применяют также и для прокатки трансформаторной стали большей толщины. Это объясняется тем, что прокатанная на этих станах листовая сталь имеет большую точность и лучшую поверхность. На этих станах осуществляют оба передела или только второй.

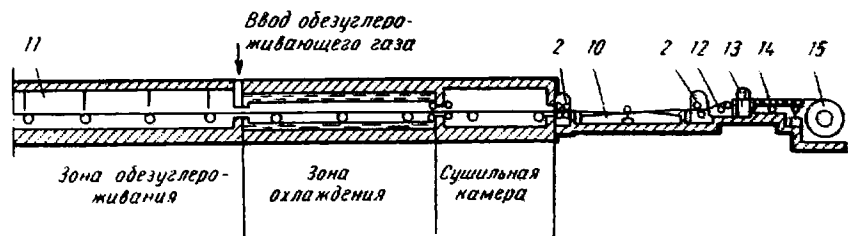
В последние годы в связи с применением вакуумирования жидкой стали при ее выплавке удалось получить горячекатаную трансформаторную сталь с содержанием около 0,02% С. Дальнейшее уменьшение углерода в трансформаторной стали достигается обезуглероживающим отжигом.

В современных цехах холодной прокатки трансформаторной стали процесс обезуглероживания совмещают с процессом светлого отжига, проводимого после первой и второй холодной прокатки с целью снятия наклепа. Обезуглероживающий отжиг проводится в непрерывных горизонтальных или башенных печах. Печи этих агрегатов позволяют получить равномерные свойства металла по длине полосы, а также регулировать процесс обезуглероживания изменением скорости движения полосы и состава печной атмосферы.

Агрегат непрерывного отжига трансформаторной стали с башенной печью аналогичен агрегату непрерывного отжига для углеродистой листовой стали. Температура отжига в зависимости от толщины полосы составляет 750—850 °С.

На рис. 338 показана схема агрегата непрерывного отжига трансформаторной стали с горизонтальной печью. Передний конец холоднокатаного рулона, установленного в разматывателе, тянущими роликами и трехвалковой правильной машиной подают к ножницам, где производят обрезку утолщенных концов, а затем к сварочной машине, где сваривают задний конец предыдущего рулона с передним концом последующего. Далее полоса проходит установку для обезжиривания в щелочном растворе и через короткую водоохлаждаемую входную камеру, создающую плотный затвор, препятствующий утечке газа из печи, поступает в печь. Печь имеет три зоны: 1) нагрева; 2) выдержки (обезуглероживания); 3) охлаждения. По всей длине печи на расстоянии 300 мм друг от друга установлены ролики, поддерживающие полосу в печи. Полоса выходит из печи через водяной затвор и обдувается горячим воздухом. Концевая часть агрегата включает ножницы для вырезки сварных швов и моталку для сматывания полосы в рулон.

Обезуглероживающий газ (водород), увлажненный водяным паром, подают в печь в конце зоны обезуглероживания и выпускают из печи в начале зоны. Обезуглероживающий газ, выходящий из печи, проходит охлаждение и осушку и подается во входную камеру и зону охлажде-



маторной стали с горизонтальной печью:

5 — гильотинные ножницы; 6 — рольганг с качающейся секцией; 7 — сварочная машина; 8 — ветвящаяся секция; 11 — печь для обезуглероживания; 12 — подающий рольганг; 13 — ножницы; 14 — по-

няя, что обеспечивает и нагрев полосы, и охлаждение ее в сухой защитной атмосфере, исключающей окисление поверхности.

В результате обезуглероживающего отжига содержание углерода в трансформаторной стали снижается до 0,004—0,008 %, что улучшает текстуробразование при высокотемпературном отжиге. При обезуглероживании трансформаторной стали в среде, содержащей водород, происходит не только выгорание углерода, но и выгорание серы и других вредных примесей.

Следующей операцией является высокотемпературный отжиг, при котором происходит укрупнение зерна феррита, коагуляция включе-

ний, повышение однородности металла и удаление из него вредных примесей.

Перед высокотемпературным отжигом трансформаторную сталь подвергают мокрому покрытию гидратом окиси магния или другим защитным слоем, предотвращающим сваривание листов или витков рулонов трансформаторной стали при высокотемпературном отжиге.

Высокотемпературный отжиг трансформаторной стали осуществляют в листах и рулонах. Высокотемпературный отжиг листов проводится в вакуумных электрических колпаковых печах при 1150—1180 °С. Герметичность рабочего пространства достигается применением специального резинового уплотнения, расположенного на стенде.

После нагрева до указанной температуры и продолжительной выдержки листы охлаждают до 600 °С, затем под муфель подают защитный газ, а колпак переносят на другой стенд. После охлаждения листы проходят чистку и сушку в моечно-сушильном агрегате.

Высокотемпературный отжиг рулонов трансформаторной стали осуществляют также в колпаковых печах в атмосфере чистого водорода или газа, содержащего 75% H₂ и 25% N₂.

Рулоны трансформаторной стали подвергают дополнительной термической обработке для устранения «рулонной кривизны», которая получается после нагрева и охлаждения их при высокотемпературном отжиге. Для этого рулоны подвергают отпуску при 700—800 °С, который осуществляют в агрегате непрерывного отпуска, аналогичном агрегату для обезуглероживающего отжига.

В современных цехах холодной прокатки трансформаторную сталь поставляют с электроизоляционным покрытием, что позволяет повысить антикоррозионные свойства и температуру трансформаторов при эксплуатации, а также сократить выход трансформаторов из строя вследствие разрушения изоляции.

Поставка холоднокатаной трансформаторной стали в рулонах позволяет электромашиностроительным заводам более полно использовать трансформаторную сталь при изготовлении трансформаторов, снизить расходный коэффициент металла, а также механизировать и автоматизировать производство трансформаторов.

В цехах холодной прокатки трансформаторной стали имеются агрегаты поперечной и продольной резки, аналогичные агрегатам для резки рулонов углеродистой стали. На этих агрегатах разрезают рулоны на листы и ленты различной ширины.

2. ДИНАМНАЯ СТАЛЬ

Для производства динамной листовой стали в настоящее время начинают широко применять холодную прокатку, обеспечивающую более высокое качество поверхности по сравнению с горячекатаной, а следовательно, более высокий коэффициент заполнения электрических машин, в результате чего достигается значительная экономия электроэнергии и возможность в ряде случаев увеличить мощность электромашин при той же массе и габаритах.

Холоднокатаную сталь изготовляют с содержанием кремния в пределах 1,3—1,8%. При таком содержании кремния динамная сталь обладает высокой пластичностью и сравнительно небольшим сопротивлением деформации, поэтому ее можно прокатывать в холодном состоянии с суммарным обжатием до 80% без промежуточного отжига.

Технологический процесс холодной прокатки динамной листовой стали должен обеспечить получение этой стали с минимально возможными

ми ваттными потерями и максимально возможной магнитной индукцией, с минимально возможной анизотропией магнитных свойств, причем сталь должна удовлетворять требованиям стандартов по пластичности, точности прокатки и чистоте поверхности.

Как и при холодной прокатке трансформаторной стали, исходным материалом при холодной прокатке динамной стали являются горячекатаные рулоны, поступающие с непрерывных станов или станов с моталками в печах. Ширина этих рулонов соответствует ширине готовой динамной стали, а толщина зависит от суммарного обжатия при холодной прокатке.

Первой операцией технологического процесса производства холоднокатаной динамной стали является травление горячекатаных рулонов в непрерывных травильных агрегатах. После травления производится холодная прокатка на непрерывном четырехклетевом стане 1400. Рабочие клетки стана имеют рабочие валки диаметром 500 мм, опорные 1400 мм. Максимальная скорость прокатки в четвертой клетки равна 20 м/сек.

Размеры рулонов, поступающих на стан: толщина полосы 2—4 мм, ширина 750—1250 мм; масса рулона достигает 26 т.

Схема прокатки динамной стали приведена в табл. 36.

В случае необходимости после прокатки на непрерывном стане на агрегате подготовки рулонов обрезают кромки и вырезают дефектные участки. Затем холоднокатаные рулоны поступают в непрерывный агрегат обезуглероживающего отжига, который проводится при 850 °С. При отжиге в зоне нагрева и охлаждения подается сухой защитный газ (азот), в зону выдержки — влажный защитный газ, состоящий

из водорода (до 40%) и азота. Полоса в камере выдерживается 2 мин. Скорость прохождения полосы через печь равна 30—150 м/мин.

После обезуглероживающего отжига проводится вторая холодная прокатка на одноклетевом стане кварто, где полоса обжимается с толщины 0,52 мм до конечной толщины 0,5 мм. После второй холодной прокатки осуществляется обезжиривание поверхности и нанесение термостойкого покрытия на поверхность полосы для предотвращения сваривания витков рулона при последующем высокотемпературном отжиге в колпаковых печах. Отжиг осуществляется в непрерывном агрегате термостойкого покрытия. Защитным покрытием является водная суспензия гидрата окиси магния. Далее проводится высокотемпературный отжиг при 880—900 °С в колпаковых печах с применением защитного газа.

После высокотемпературного отжига поверхность полосы очищают от термостойкого покрытия и на полосу наносят электроизоляционное покрытие. Эта операция проводится в непрерывном агрегате, предназначенном для двустороннего электроизоляционного покрытия, сушки покрытия и отпуска полосы для снятия рулонной кривизны при 750 °С. В качестве электроизоляционного покрытия используют водный раствор фосфорной кислоты и окиси магния. Печь горизонтального типа с газовым отоплением имеет три зоны: нагрева, выдержки, охлаждения.

Таблица 36

Схема прокатки динамной стали толщиной 0,5 мм и шириной 1020 мм

Номер клеток	Толщина, мм		Обжатие за проход		Суммарное обжатие, %
	до прохода	после прохода	мм	%	
1	2,0	1,3	0,7	35,0	35,0
2	1,3	0,9	0,4	30,8	55,0
3	0,9	0,65	0,25	27,8	67,5
4	0,65	0,52	0,13	20,0	74,0
4*	0,52	0,50	0,02	4,0	—

* Одноклетевой стан.

3. НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ

Холоднокатаную нержавеющую листовую сталь широко применяют в различных отраслях народного хозяйства: машиностроении, химической, нефтяной, пищевой и др. Различают два типа нержавеющих сталей. К первому типу относят коррозионностойкую нержавеющую сталь, обладающую высокой сопротивляемостью коррозии в условиях действия различных агрессивных сред. Ко второму типу относят жаростойкую нержавеющую сталь, обладающую стойкостью против химического разрушения в газовых средах при температуре выше 550 °С.

Различают хромистые, хромоникелевые, хромтитановые, хромоникельтитановые, хромоникелькремнистые и другие нержавеющие стали [V. 9].

Широкое применение имеют стали аустенитного класса с содержанием около 18% Cr и около 9% Ni, обладающие высокой пластичностью, высокими механическими свойствами, высокими антикоррозионными свойствами, хорошей свариваемостью и относительно высокой прочностью при повышенных температурах.

К этим сталям относят стали ОХ18Н10, Х18Н10Т, Х18Н9, 2Х18Н9, Х18Н9Т и др., которые являются немагнитными и имеют аустенитную структуру с небольшим количеством карбидов и ферритной фазы (ферритной фазы в стали ОХ18Н10 нет).

Стали этого класса при холодной прокатке упрочняются так, что при суммарном обжатии более 50% дальнейшая прокатка становится затруднительной. Поэтому нержавеющую сталь в зависимости от конечной толщины листа прокатывают за несколько переделов. Для снятия наклепа и увеличения пластичности нержавеющую сталь подвергают промежуточной термической обработке.

На старых металлургических заводах с небольшим объемом производства холоднокатаной листовой стали нержавеющую сталь прокатывают в виде карточек на одноклетевых станах кварто. Исходным материалом в этом случае является горячий подкат в виде отдельных листов, прокатанных обычно из сутунки на тонколистовых станах дуо линейного типа.

Современным способом холодной прокатки нержавеющей листовой стали является прокатка в рулонах. В этом случае исходным материалом являются горячекатаные рулоны, поступающие с различных станов горячей прокатки.

Нержавеющую листовую сталь можно прокатывать на различных станах холодной прокатки. На заводах с небольшим объемом производства нержавеющую сталь обычно прокатывают на реверсивных одноклетевых станах кварто толщиной 0,2—2,5 мм. При большом объеме производства применяют также непрерывные станы. Для прокатки тонких лент нержавеющей листовой стали в последнее время применяют многовалковые (главным образом 20-валковые) станы. На этих станах прокатывают нержавеющую листовую сталь толщиной 0,5—0,05 мм и меньше. Исходным материалом при прокатке нержавеющей стали являются горячекатаные рулоны, поступающие с полунепрерывных и непрерывных станов горячей прокатки или со станов с моталками в печах.

Суммарное обжатие и обжатие за проход ограничиваются теми же факторами, что и при прокатке углеродистой стали. На реверсивных одноклетевых станах кварто суммарное обжатие за передел при хорошей смазке достигает 60—70%. На многовалковых станах суммарное обжатие за один передел достигает 85—95%.

При прокатке нержавеющей листовой стали толщиной более 0,5 мм технологической смазкой является эмульсия. При прокатке более тонкой листовой стали применяют растительные и животные жиры.

Окончательной термической обработкой холоднокатаных аустенитных и мартенситно-мартенситных сталей является закалка. Она производится для снятия наклепа и получения равномерной структуры аустенита, так как при холодной прокатке происходит образование мартенситной составляющей. Температура нагрева холоднокатаной стали в этом случае находится в пределах 1100—1150 °С. Нагрев осуществляют в печах без защитной атмосферы. Поэтому после заковки такой стали необходимо осуществлять травление для удаления окалина, образовавшейся при нагреве под заковку. В настоящее время проводят работы по осуществлению светлой заковки.

Холоднокатаные нержавеющие стали мартенситного, ферритного и мартенсито-ферритного классов подвергают отжигу в колпаковых печах в защитной атмосфере.

Стали ферритного класса обладают меньшей пластичностью и в меньшей степени наклепываются при холодной прокатке, чем стали аустенитного класса. Так как эти стали при температуре выше 850 и 900 °С имеют большую склонность к росту зерна и к межкристаллитной коррозии, то термическую обработку осуществляют при 740—780 °С. В результате получается ферритно-карбидная структура, обеспечивающая наиболее высокую пластичность и наиболее высокие антикоррозионные свойства.

Холоднокатаную нержавеющую листовую сталь после окончательной термической обработки подвергают дрессировке с обжатием 1—2%. При дрессировке устраняют волнистость и коробоватость. Кроме того, благодаря полирующему действию тщательно обработанных валков улучшается поверхность полосы. Дрессировка повышает также прочность нержавеющей листовой стали, которая для аустенитных сталей после термической обработки снижается.

При повышенных требованиях по коробоватости дрессировка нержавеющей листовой стали осуществляется в несколько проходов. В некоторых случаях листовую сталь подвергают правке на правильно-растяжных машинах с последующим контролем на специальных поверочных плитах. Иногда машиностроительные заводы требуют нагартованную (упрочненную) нержавеющую листовую сталь. Поэтому окончательную холодную прокатку ведут с учетом получения требуемых механических свойств, а термическую обработку после прокатки не проводят. По степени нагартовки холоднокатаную нержавеющую листовую сталь подразделяют на полунагартованную (ПН), нагартованную (Н) и особо нагартованную (ОН).

Часть нержавеющей листовой стали после холодной прокатки подвергают шлифовке и полировке на специальных шлифовальных и полировальных станках для получения чистой и гладкой поверхности, которая улучшает антикоррозионные свойства и внешний вид изделий.

Машина для полировки (рис. 339) поверхности нержавеющей полосы состоит из разматывателя 1, направляющего стола 2, каретки 3 с ремнем 4 и наматывающего барабана 5. Каретка смонтирована на консольном валу так, что имеет возможность качаться относительно поверхности полосы. В каретке имеются три ролика, охватываемые бесконечным ремнем, изготовленным из верблюжьей шерсти.

Полоса разматывается с рулона, установленного на разматывателе, и по направляющему столу движется к барабану моталки с небольшой скоростью (1—5 м/мин). К верхней поверхности полосы на длине ее

около 1 м прижимается плоский ремень,двигающийся навстречу полосе со скоростью 1—2 м/сек.

Для получения требуемого качества поверхности в процессе полирования на полосу подают мелкодисперсную полировочную пасту; кроме того, каретка с ремнем совершает качательное движение.

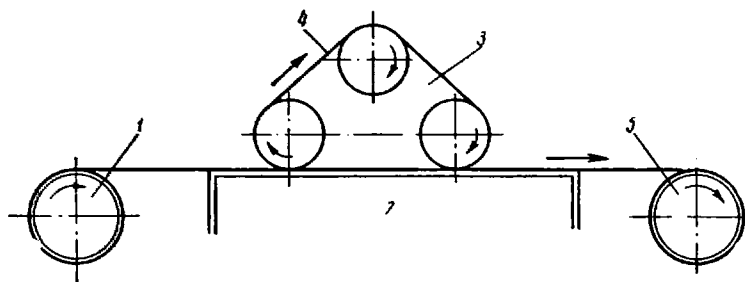


Рис. 339. Машина для полировки нержавеющей листовой стали

Регулированием режима полирования (подбора качества ремня, пасты и относительной скорости полирования) можно получить поверхность полосы, соответствующую 12-му классу чистоты.

Г л а в а XVII

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Производительность листовых станов. Технически возможная часовая производительность листового стана

$$A = \frac{3600G}{T},$$

а практически возможная часовая производительность

$$A_1 = \frac{3600G}{T} K_{\text{н}}.$$

Для листовых станов коэффициент использования стана $K_{\text{н}}$ колеблется в пределах 0,85—0,90, причем большее значение относится к непрерывным листовым станам [VII. 2].

Ритм прокатки двухклетевого стана зависит от распределения проходов между клетями. Он будет наименьшим, если каждая клеть этого стана будет одинаково загружена по времени.

Ритм прокатки непрерывного стана зависит от метода работы на этом стане. На рис. 340 представлен график работы во времени непре-

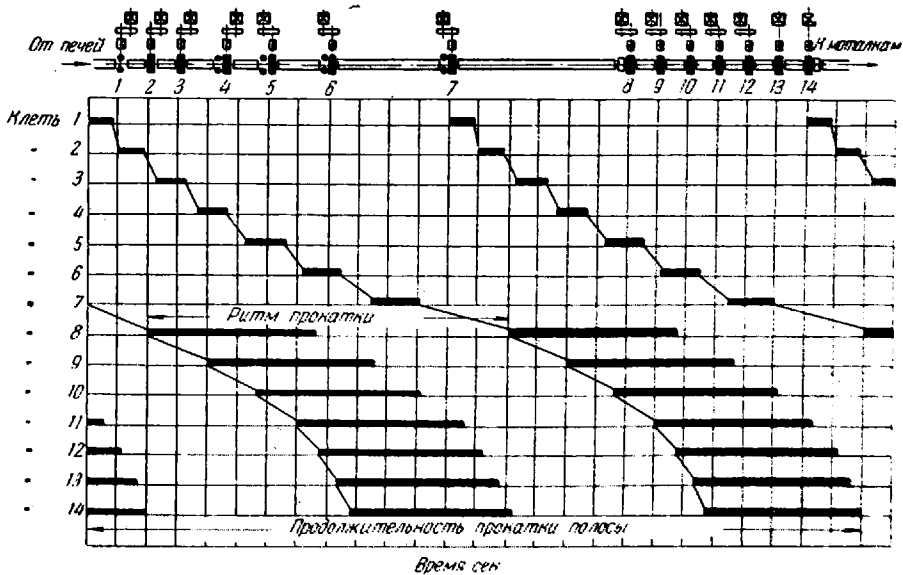


Рис. 340. График работы во времени непрерывного листового стана 1700

рывного стана 1700. Этот стан состоит из черновой и чистовой групп клетей. Так как ширина слябов, поступающих на этот стан со слябинга, соответствует ширине прокатываемых листов, уширительная клеть отсутствует. В черновой группе клетей полоса прокатывается последовательно в каждой клетке, а в чистовой — одновременно во всех клетках. Обычно на этих станах время прохода в клетках черновой группы меньше времени прохода в клетках чистовой группы. Поэтому ритм прокатки на непрерывном листовом стане

$$T = t_m + t_n,$$

где t_m — время прохода в одной клетке;

t_n — время паузы между концом прокатки предыдущей полосы и началом прокатки следующей в одной клетке чистовой группы.

При данной скорости прокатки в последней клетке ритм прокатки в чистовой группе клетей будет тем меньше, чем меньше пауза между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей полосы в одной клетке. Наименьший ритм прокатки будет в том случае, если следующая полоса поступает в окалиноломатель чистовой группы при нахождении предыдущей полосы во всех клетках этой группы, т. е. в чистовой группе некоторое время будут одновременно прокатываться две полосы.

На существующих непрерывных станах часто применяют метод работы, при котором следующую полосу задают в окалиноломатель чистовой группы тогда, когда предыдущая полоса выходит из последней клетки (рис. 340). В этом случае ритм прокатки будет равен продолжительности прокатки полосы в чистовой группе клетей, т. е. времени одного прохода плюс пауза между клетями. Главным фактором, способствующим увеличению производительности этих станов, является увеличение скорости прокатки. Увеличение массы сляба и рулона также способствует повышению производительности станов.

Обычно листовые станы горячей прокатки работают по непрерывному графику, т. е. без выходных дней. Фактическое число часов работы их в течение года при определении годовой производительности можно принимать по данным Гипромеза, приведенным в табл. 37.

Из диаграммы рис. 317 следует, что ритм прокатки на непрерывном стане холодной прокатки

$$T = t_m + t_b,$$

где t_m — время прокатки одного рулона;

t_b — время вспомогательных операций, которое включает: время подачи рулона к разматывателю, время установки его в разматывателе и подачи переднего конца полосы рулона в первую клетку, а также время снятия рулона с моталки, передачи его на транспортер и заправки конца полосы следующего рулона на барабане моталки.

Определим длину прокатываемой полосы:

$$L = v_3 t_m + \frac{at_2^2}{2} + \frac{bt_4^2}{2} + \Delta v [t_m - (t_1 + t_2 + t_4 + t_5)],$$

где v_3 — заправочная скорость, на которой производят прокатку переднего и заднего концов полосы рулона;

Δv — приращение скорости с заправочной до рабочей (v);

a — ускорение стана;

b — замедление стана.

Решая это уравнение относительно t_m и подставляя полученное значение в формулу для определения часовой производительности стана, получаем

$$A = \frac{3600G(v_3 + \Delta v)}{L - \frac{at_2^2}{2} - \frac{bt_4^2}{2} + \Delta v(t_2 + t_4 + t_1 + t_5) + t_B(v_3 + \Delta v)}$$

Время ускорения стана

$$t_2 = \frac{\Delta v}{a}$$

Время замедления стана

$$t_4 = \frac{\Delta v}{b}$$

Время прокатки переднего и заднего концов полосы рулона на заправочной скорости

$$t_1 + t_5 = \frac{l}{v_3}$$

где l — длина переднего и заднего концов полосы рулона, прокатанных на заправочной скорости при задаче и выходе полосы.

Подставляя эти значения в формулу для часовой производительности стана, получаем окончательную формулу

$$A = \frac{3600Gv}{L + k\Delta v^2 + \frac{\Delta v}{v_3} l + t_B v}$$

где $k = \frac{a+b}{2b}$;

v — рабочая скорость прокатки ($v = v_3 + \Delta v$).

Станы холодной прокатки листов работают также по непрерывному графику. Фактическое число часов работы их в течение года при определении годовой производительности можно принимать по данным Гипромеза, приведенным в табл. 37.

Расход металла. Выход годного из слябов определяется потерями металла на угар в нагревательных печах и во время прокатки, на обрезку боковых кромок и концов и на брак.

Расход металла при горячей прокатке листовой стали зависит от размеров листов, химического состава и назначения листовой стали, типа стана и других технологических факторов.

Наибольший расход металла наблюдается при прокатке толстолистовой стали на станах линейного типа, где величина боковой обрезки составляет 80—150 мм (на обе стороны). Величина этой обрезки зависит от ширины листа и составляет 5—10%. Значительную величину на этих станах составляет также обрезь переднего и заднего концов листов. В зависимости от длины прокатываемых листов она составляет 5—10%.

Меньший расход металла наблюдается при прокатке универсальной или широкополосной стали на универсальных станах, так как благодаря обработке боковых кромок в вертикальных валках обрезка их не производится. Так как на универсальных станах прокатывают более длинные полосы, чем на толстолистовых линейного типа, обрезь концов на этих

станах также меньше. Наименьший расход металла наблюдается при прокатке листовой стали на непрерывных станах, особенно при сматывании листовой стали в рулоны.

Таблица 37

Формирование времени работы и ремонтов станов при непрерывном графике работы

Стан	Капитальные и планово-предупредительные ремонты суток	Номинальное время работы			Простои (перевалки валков, приемка, сдача смен и др.)		Число рабочих часов в году
		суток в году	часов в сутки	часов в году	%	ч	
Толстолистовой линейного типа и универсальный . . .	20	345	24	8280	10	880	7400
Непрерывный и полунепрерывный горячей прокатки	27	338	24	8112	13	1112	7000
Непрерывный трех- и четырехклетевой холодной прокатки	27	338	24	8112	10	812	7300
Реверсивный кварто холодной прокатки и дрессировочный	27	338	24	8112	7,5	612	7500
Непрерывный пятиклетевой холодной прокатки и дрессировочный для жести . .	27	338	24	8112	13	1112	7000

В табл. 38 приведены данные о расходе металла при горячей прокатке листовой стали.

Таблица 38

Коэффициенты расхода слэбов при горячей прокатке листовой стали

Листовая сталь	Коэффициент расхода на стане	
	двухклетевом толстолистовом линейного типа	непрерывном
Кипящая углеродистая:		
в листах	1,18—1,23	1,065—1,075
в рулонах	—	1,03—1,05
Спокойная углеродистая:		
в листах	1,2—1,25	1,075
в рулонах	—	1,03—1,075
Низколегированная:		
в листах	1,2—1,27	1,075
в рулонах	—	1,075

При прокатке на непрерывных и реверсивных станах холодной прокатки отходы складываются из обрезки концов полосы рулонов, отсортировки по толщине и брака в случае разрыва полосы.

Отсортировка по толщине определяется длиной концов полосы рулонов, прокатываемых на заправочной скорости и при ускорении и замедлении стана; она зависит от скорости прокатки и массы рулонов. Чем больше масса рулона, тем меньше процент отсортировки; чем больше скорость прокатки, тем больше процент отсортировки.

Расход электроэнергии. На действующих станах расход электроэнергии колеблется в широких пределах в зависимости от типа стана, размеров исходных материалов и сортамента листовой стали. Можно

рекомендовать для разных станов следующие расходы электроэнергии, *Мдж/т (квт·ч/т)*:

Толстолистовой линейного типа	216 (60)
Непрерывный и полунепрерывный тонко- листовой	216 (60)
Непрерывный и четырехклетевой холодной прокатки	324—360 (90—100)
Непрерывный пятиклетевой для прокатки жести:	
белой горячего лужения	900 (250)
белой электролитического лужения	1080 (300)
черной лакированной	792 (220)
черной полированной и декапированной	540 (150)

Нормы включают расход энергии на прокатку, отделку и термообработку металла.

Расход топлива. При нагреве холодных слэбов расход топлива на 1 т прокатываемого металла на разных станах следующий, *Мдж (ккал)*:

Толстолистовой и универсальный	2,51 (600 000)
Непрерывный и полунепрерывный	2,1 (500 000)

Расход топлива в цехах холодной прокатки на 1 т листовой стали составляет, *Мдж (ккал)*:

Колпаковые одностопные печи для отжига	1,04 (250 000)
Проходные печи для отжига	0,96 (230 000)

Расход валков. На листовых станах расход валков на 1 т проката составляет [V. 22, 28]:

Станы горячей прокатки	
Толстолистовые линейного типа и универсальные	1,25
Непрерывные	0,8—1,5
Станы холодной прокатки	
Непрерывный пятиклетевой	1,25
Непрерывный четырехклетевой	0,8—1,0
Реверсивный одноклетевой кварто	1,0—1,2
Многовалковый	0,6

Расход воды. На различных листовых станах расход воды приведен в табл. 39. (общий расход воды указан без учета повторного ее использования).

Таблица 39

Расход воды на листовых станах (по данным Гипромеца)

Стан	Расход воды, м ³ /час						общая
	на охлаждение					на смыв окалины	
	нагреватель- ных устройств	валков	возду- ха	смазочных устройств	вспомога- тельных механизмов и др.		
Непрерывный и полунепрерывный 1700	1600 (4 печи)	600*	2000	1150	1500	650	7500
Толстолистовой и универсальный (одноклетевой)	800 (2 печи)	300	400	150	200	250	2100
Толстолистовой двухклетевой	800 (2 печи)	500	500	200	300	300	2600

* Для охлаждения валков применяют воду под давлением 1—2 Мн/м² (10—12 атм).

Часть четвертая

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Глава XVIII

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ ТРУБ

1. ФОРМОВКА И СВАРКА ТРУБ

В последние годы в СССР и в других развитых странах особенно интенсивно развивается производство сварных труб, что объясняется следующими технико-экономическими преимуществами этого способа производства труб [I. 10; VI. 11, 13, 14]:

1) свертка плоской заготовки в трубу требует меньших энергетических затрат, чем прошивка отверстия и раскатка гильзы при производстве бесшовных труб, вследствие этого снижаются масса и энергетическая мощность оборудования на единицу продукции и соответственно сокращаются удельные капиталовложения и эксплуатационные расходы;

2) сварные трубы имеют более экономичный профиль, т. е. меньшее отношение толщины стенки к диаметру — примерно 1—2%, а для бесшовных 4—5%;

3) плоская трубная заготовка (лист, штрипс) дешевле, чем круглая;

4) трубосварочный процесс является в большей степени непрерывным, что облегчает его механизацию и автоматизацию, а также улучшает условия труда и повышает культуру производства.

Сварные трубы получают диаметром 5—1620 мм и толщиной стенки 0,5—16 мм из углеродистых и низколегированных сталей.

Трубы водогазопроводные (газовые) диаметром 6—150 мм (ГОСТ 3262—62) изготовляют в основном печной сваркой встык; их получают также контактной и индукционной электрической сваркой. Эти трубы изготовляют из низкоуглеродистой стали.

Газовые трубы применяют для водо-, воздухо- и газопроводов, а также для систем отопления и деталей конструкций. В последние годы их стали применять также в качестве заготовки для холодного волочения.

Трубы электросварные диаметром 5—152 мм (ГОСТ 1753—53) изготовляют в основном контактной сваркой сопротивлением, индукционной сваркой и сваркой токами радиочастоты.

Трубы электросварные изготовляют из стали 08, 10, 15 и 20, Ст. 2, Ст. 3 и Ст. 4. По механическим свойствам трубы различают мягкие (отожженные), полутвердые и твердые (наклепанные).

Трубы электросварные диаметром до 114 мм используют главным образом как конструкционные, а диаметром более 114 мм — для различных трубопроводов.

Трубы электросварные большого диаметра (ГОСТ 4015—58) изготовляют дуговой сваркой под слоем флюса из углеродистых (Ст. 1, Ст. 2, Ст. 3) и легированных (14ХГС, 16ГН, 17ПС и др.) сталей. Трубы большого диаметра используют для магистральных трубопроводов газа, нефти, воды и других жидкостей.

Кроме указанных сварных труб, изготовляют специальные трубы (из нержавеющей сталей, профильные, для специальных деталей и др.).

В последние годы качество сварных и электросварных труб значительно улучшилось, что позволяет в ряде случаев применять эти трубы

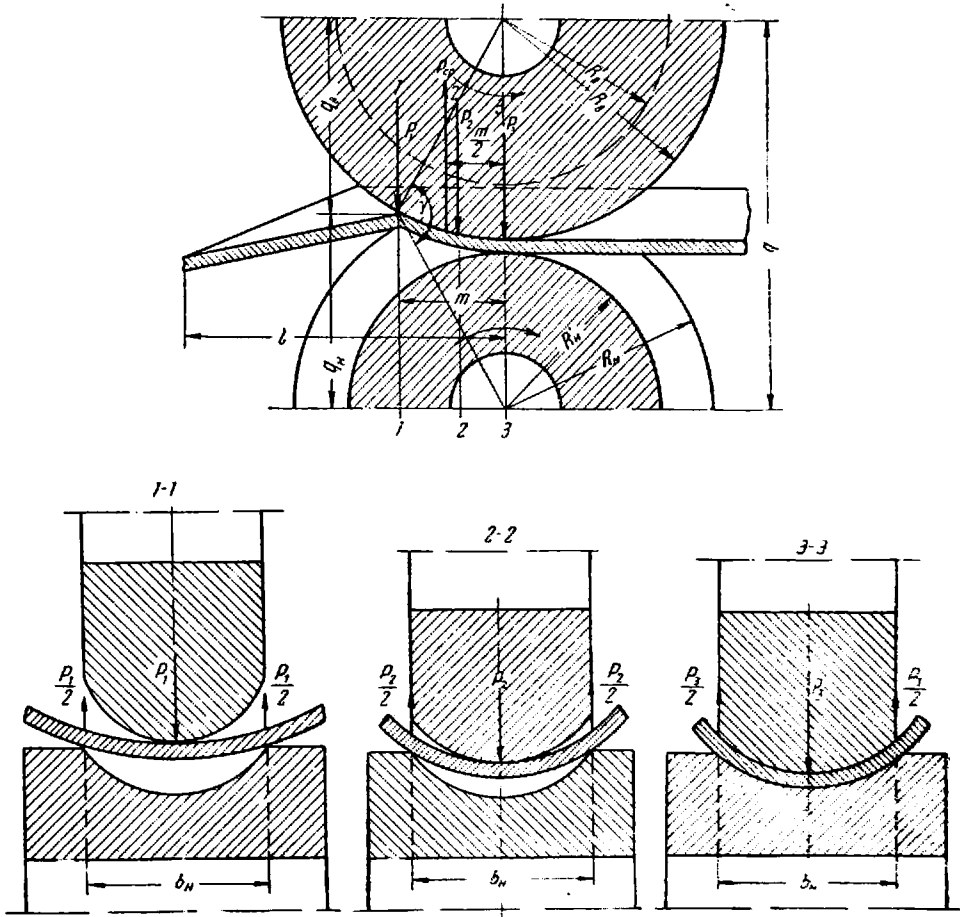


Рис. 341. Схема очага деформации при гибке полосы в формовочном стане

взамен горячекатаных, холоднотянутых и холоднокатаных бесшовных труб.

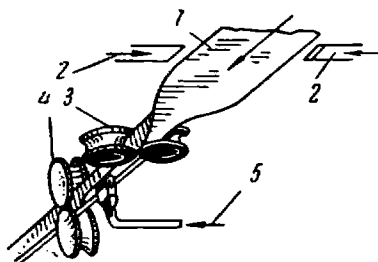
Благодаря увеличению прочности шва труб печной сварки и отсутствию в них внутреннего грата они могут быть успешно применены в качестве заготовки для холодного волочения. Холоднотянутые трубы печной сварки имеют промежуточные свойства между сварными и бесшовными.

В процессе волочения труб печной сварки улучшается качество поверхности, повышается точность размеров труб, улучшается структура металла и увеличивается прочность трубы в зоне шва.

Освоено производство труб сваркой токами радиочастоты. Анализ процесса и качества труб показывает, что трубы могут получаться со значительно меньшим внутренним гратом, чем при других способах сварки. При этом прочность шва больше прочности основного металла. Сварные термически обработанные трубы по свойствам близки к бесшовным трубам.

Непрерывные формовочные станы являются основными агрегатами для получения трубной заготовки из бесконечной полосы при производстве труб малых и средних диаметров (6—529 мм) независимо от способа сварки труб.

Процесс формовки заготовки в непрерывном стане является процессом пластического изгиба криволинейного бруса бесконечной длины. Полоса изгибается постепенно в калибре, образуемом двумя формовочны-



Р и с. 342. Принципиальная схема непрерывной печной сварки встык:

1 — штрипс; 2 — сопло предварительной обдувки кромок; 3 — первая пара валков; 4 — вторая пара валков; 5 — сварочное сопло

ми валками. Деформация начинается в сечении 1—1 (рис. 341), когда полоса соприкасается одновременно с нижним (в двух точках) и верхним валками (в одной точке). Полоса, продвигаясь между валками, постепенно деформируется и на осевой линии (сечение 3—3, рис. 341) полностью заполняет зазор между валками и принимает форму, соответствующую форме щели между валками (без учета упругого изгиба полосы и валков).

На рис. 341 показана схема очага деформации в первой формовочной клетке. Эта схема справедлива и для любой формовочной клетки с открытым калибром (кроме операции свертки в последних клетках), так как при деформации в промежуточных клетках формовочного стана поперечное сечение очага деформации в начальном сечении будет иметь вид, аналогичный поперечному сечению очага деформации в промежуточных сечениях первого калибра (например, сечение 2—2, рис. 341). Поэтому эта схема является общей для станов непрерывной холодной формовки труб.

При непрерывной печной сварке труб формовка и сварка штрипса осуществляются в валках. В первой, вертикальной, паре валков (рис. 342) происходит свертка заготовки примерно на $220\text{--}280^\circ$, а во второй, горизонтальной, — сварка.

Деформация штрипса начинается на некотором расстоянии $l_{\text{ф}}$ от оси формирующих валков (рис. 343), величина которого зависит от ширины B , и толщины s штрипса, а также диаметра $d_{\text{св}}$ сварочного калибра. Схема деформации штрипса в сварочной клетке показана на рис. 344.

Сварочный калибр при сварке труб сопротивлением образуется двумя вертикальными сварочными роликами (рис. 345) и сварочными электродами. Правильный выбор размеров и формы калибров сварочных роликов и сварочных электродов, а также их установка относительно свариваемой заготовки имеют решающее значение для качества сварного шва, геометрии труб и других основных параметров процесса.

Сформованная заготовка подается к сварочному калибру с фиксированным зазором s_n , равным толщине направляющего ножа (сечение $1-1$, рис. 345). Толщина направляющего ножа равна толщине направляющей шайбы в последней клетке формовочного стана. Диаметр заготовки

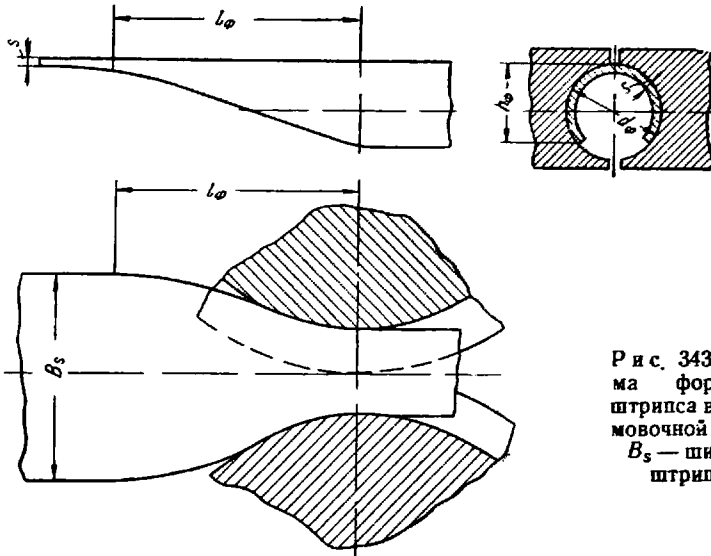


Рис. 343. Схема формовки штрипса в формовочной клетке B_s — ширина штрипса

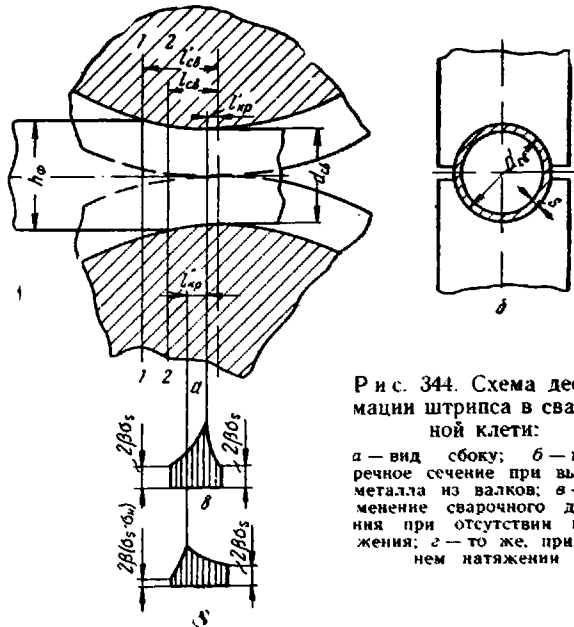


Рис. 344. Схема деформации штрипса в сварочной клетке:

a — вид сбоку; b — поперечное сечение при выходе металла из валков; a — изменение сварочного давления при отсутствии натяжения; z — то же, при заднем натяжении

товки равен диаметру калибра последней клетки формовочного стана и может быть определен из элементарных геометрических соотношений:

$$d_s = \frac{B_s + s_n}{\pi} + 2s. \quad (\text{XVIII.1})$$

В некоторых сварочных станах (например, станы 10—60 конструкции ВНИИМЕТМАШ) вместо направляющего ножа применяют направ-

ляющие ролики (рис. 346). В этом случае диаметр заготовки

$$d_3 = \frac{B_s + s_{ш}}{\pi} \quad (\text{XVIII.1a})$$

Подаваемая в стан заготовка касается сварочных роликов сначала в нижней части калибра, а затем по всему периметру калибра (сечение 2—2, рис. 345). При дальнейшем продвижении соприкасаются нижние

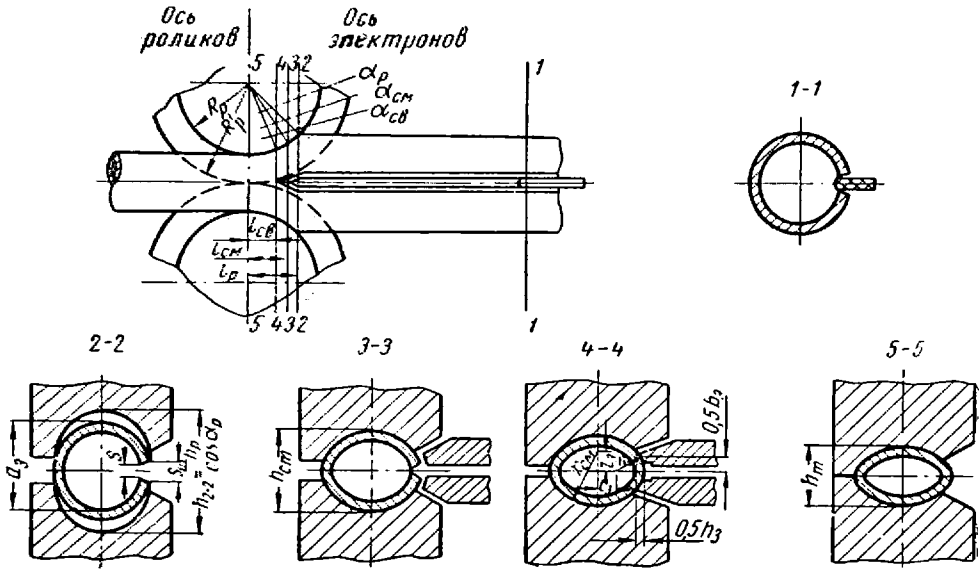


Рис. 345. Схема деформации в сварочном калибре

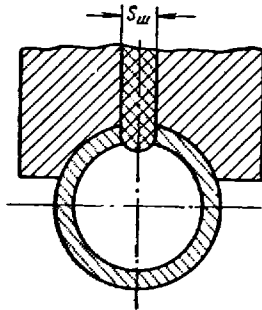


Рис. 346. Форма направляющей шайбы в направляющих роликах сварного стана

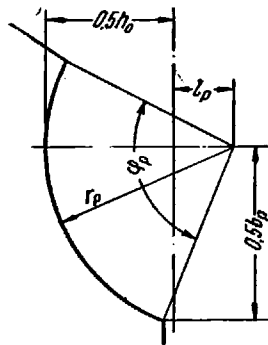


Рис. 347. Калибр сварочных роликов

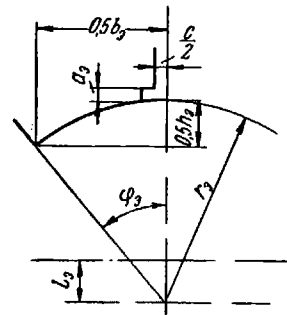


Рис. 348. Калибр сварочных электродов

кромки заготовки (сечение 3—3, рис. 345), а затем и верхние (сечение 4—4, рис. 345). Начиная с этого момента происходит сварка кромок, которая заканчивается, когда заготовка выходит из сварочных роликов. Вследствие овальной формы калибра свариваемая заготовка постепенно овализируется.

Калибр сварочных роликов (рис. 347) имеет овальную форму и размеры его определяются величинами r_p и l_p . Центральный угол

$$\varphi_p \approx 135^\circ.$$

Калибр сварочных электродов (рис. 348) имеет также овальную форму и размеры его определяются величинами r_a и l_a , причем $r_a \neq r_p$ и $l_a \neq l_p$.

Центральный угол $\varphi = 45^\circ$.

В вершине калибра сварочных электродов делается выточка размерами c_a и a_a .

Рассматривая сечение начала соприкосновения заготовки с роликами (см. рис. 348), легко видеть, что $b_p = d_a$. Используя уравнение (XXI. 1), получаем

$$b_p = \frac{B_s + s_n}{\pi} + 2s \quad (\text{XVIII.2})$$

или

$$b_p = \frac{B_s + s_{ш}}{\pi}. \quad (\text{XVIII.2a})$$

Угол соприкосновения роликов с заготовкой α_p можно определить из равенства

$$\cos \alpha_p = 1 - \frac{h_{2-2} - h_{5-5}}{R_p}. \quad (\text{XVIII.3})$$

где h_{2-2} — расстояние между вершинами калибра роликов в сечении 2—2 (в месте захвата роликами заготовки);

h_{5-5} — расстояние между вершинами калибра роликов в сечении 5—5 (в месте выхода трубы из роликов).

Расстояние между вершинами калибра в сечении 2—2

$$h_{2-2} = \frac{2(r_p - l_p)}{\cos \alpha_p} \approx b_p. \quad (\text{XVIII.4})$$

Длина очага соприкосновения ролика с заготовкой

$$l_p = R_p \sin \alpha_p. \quad (\text{XVIII.5})$$

В момент стыковки кромок (сечение 3—3, рис. 349) средний диаметр заготовки

$$d_{ст} = \frac{B_s}{\pi} + 2s.$$

Учитывая, что

$$d_{ст} \approx \frac{h_{ст} - b_{ст}}{2} \quad \text{и} \quad b_{ст} = b_p,$$

получаем

$$h_{ст} = \frac{2B_s}{\pi} + 4s - b_p. \quad (\text{XVIII.6})$$

Расстояние от оси роликов до точки соприкосновения кромок

$$l_{ст} = R_p \sin \alpha_{ст}, \quad (\text{XVIII.7})$$

где

$$\cos \alpha_{ст} = 1 - \frac{h_{ст} - h_{5-5}}{2R_p}. \quad (\text{XVIII.8})$$

В момент полной стыковки кромок (сечение 4—4, рис. 345) начинается процесс сварки, который заканчивается в сечении 5—5, т. е. в

момент прекращения действия сварочных роликов. Аналогично приведенному выше для сечения 4—4 получаем

$$h_{св} = \frac{2B_s}{\pi} - b_p, \quad (\text{XVIII.9})$$

$$\cos \alpha_{св} = 1 - \frac{h_{св} - h_{5-5}}{2R_p}, \quad (\text{XVIII.10})$$

$$l_{св} = R_p \sin \alpha_{св}. \quad (\text{XVIII.11})$$

На оси сварочных роликов (сечение 5—5, рис. 345) процесс сварки трубы заканчивается и труба имеет овальное поперечное сечение с размерами

$$b_{\tau} = b_p \quad (\text{XVIII.12})$$

и

$$h_{\tau} = h_{5-5} = \frac{2(B_s - \Delta B_c)}{\pi} - b_p = h_p, \quad (\text{XVIII.13})$$

где ΔB_c — ширина ленты, предназначенная для образования грата.

Величина

$$\Delta B_c = ks. \quad (\text{XVIII.14})$$

Учитывая равенство (XVIII.13), получаем

$$h_p = \frac{B_s - (2\pi + k)s - s_{ш}}{\pi} \quad (\text{XVIII.14a})$$

или

$$h_p = \frac{B_s - ks - s_{ш}}{\pi}. \quad (\text{XVIII.14б})$$

Используя значение $h_{2-2} = h_{\tau}$, из формул (XVIII.2), (XVIII.4), (XVIII.8) и (XVIII.10) получаем

$$\cos \alpha_p = 1 - \frac{(4\pi + 2k)s + 2s_{ш}}{2\pi R_p} \quad (\text{XVIII.3a})$$

или

$$\cos \alpha_p = 1 - \frac{(2\pi + 2k)s + 2s_{ш}}{2\pi R_p}, \quad (\text{XVIII.4б})$$

$$\cos \alpha_{с\tau} = 1 - \frac{(4\pi + 2k)s}{2\pi R_p}, \quad (\text{XVIII.8a})$$

$$\cos \alpha_{св} = 1 - \frac{ks}{\pi R_p}. \quad (\text{XVIII.10a})$$

Найденные зависимости для b_p и $h_p = h_{\tau}$ из формул (XVIII.10) и (XVIII.13) позволяют построить овальный калибр:

$$r_p = \frac{h_p^2 + b_p^2}{4h_p}, \quad (\text{XVIII.15})$$

$$l_p = r_p - 0,5h_p. \quad (\text{XVIII.16})$$

Необходимо отметить, что полученные формулы для определения размеров сварочного калибра являются общими для различных методов сварки и могут применяться также при индукционной аргоно-дуговой и радиочастотной сварке.

Эти результаты позволяют, кроме расчета размеров сварочного калибра, роликов и электродов, определить также ряд параметров процесса. Так, для определения плотности тока необходимо знать поверх-

ность соприкосновения заготовки с электродами. Горизонтальная проекция этой поверхности

$$F_3 \approx b_3 l_3$$

или

$$F_3 = b_3 R_3 \sin \alpha_3. \quad (\text{XVIII.17})$$

Давление металла на электроды

$$P_3 = \rho F_3$$

или

$$P_3 = \rho b_3 R_3 \sin \alpha_3, \quad (\text{XVIII.18})$$

где ρ — удельное давление.

Давление P_p металла на сварочные ролики можно приближенно определить, пренебрегая давлением до момента соприкосновения кромок (которое относительно незначительно):

$$P_p \approx \rho b_p l_{\text{ст}}$$

или

$$P_p = \rho b_p R_p \sin \alpha_{\text{ст}}. \quad (\text{XVIII.19})$$

Сварочное давление в кромках свариваемой заготовки

$$P_{\text{св}} = \rho_{\text{св}} l_{\text{св}} s$$

или

$$P_{\text{св}} = \rho_{\text{св}} s R_p \sin \alpha_{\text{св}}. \quad (\text{XVIII.20})$$

Удельное сварочное давление

$$\rho_{\text{св}} = \rho \frac{b_p \sin \alpha_{\text{ст}}}{s \cdot \sin \alpha_{\text{св}}}. \quad (\text{XVIII.21})$$

Из полученного выражения видно, что при $\alpha_{\text{ст}} \approx \alpha_{\text{св}}$ удельное сварочное давление $\rho_{\text{св}}$ значительно (в 15—25 раз) больше удельного давления на поверхности сварочных роликов.

2. ПЕЧНАЯ СВАРКА

Печной сваркой в стык изготавливают трубы диаметром от 10,2 до 114 мм и толщиной стенки 1,8—5 мм из низкоуглеродистой мартеновской стали Ст. 1 и Ст. 2, бессемеровской (0,06—0,09% С и 0,30—0,60% Mn) и томасовской стали.

Печную сварку труб в стык осуществляют на непрерывных валковых станах. Исходным материалом являются горячекатаные штрипсы прямоугольной и трапецидальной формы в поперечном сечении, поставляемые в рулонах. Толщина штрипса на 1,0—1,5 мм больше толщины стенки готовой трубы. Ширина штрипсов равна 73,5—400 мм.

На рис. 349 представлена схема расположения оборудования установки для непрерывной печной сварки труб. Рулон штрипса транспортером подается в разматыватель 1, где передний конец отгибается и задается в правильную машину 2, а затем обрезается на ножницах 3. В стыковарочной машине 4 к заднему концу предыдущего рулона приваривают передний конец последующего. Так создается бесконечная лента, которая поступает в нагревательную печь 6. Перед печью расположен петлеобразователь 5, в котором образуется запас штрипса в виде петли, необходимый для непрерывного движения штрипса в печи во время стыковой сварки. В первой клетки формовочно-сварочного стана 7 нагретый штрипс сворачивается в трубу, во второй клетки кромки трубы славливаются и свариваются. В последующих клетях формовочно-

сварочного стана и в редуционном стане 9 осуществляется редуцирование трубы. После калибровочного стана 10 бесконечная труба на ходу разрезается летучей пилой 11 на мерные длины. Разрезанные трубы охлаждаются на винтовом холодильнике 12, а затем на цепном холодильнике 13, оборудованном душирующим устройством.

Далее трубы делительным устройством 14 направляются на четыре автоматизированные поточные линии отделки. В горячей линии установ-

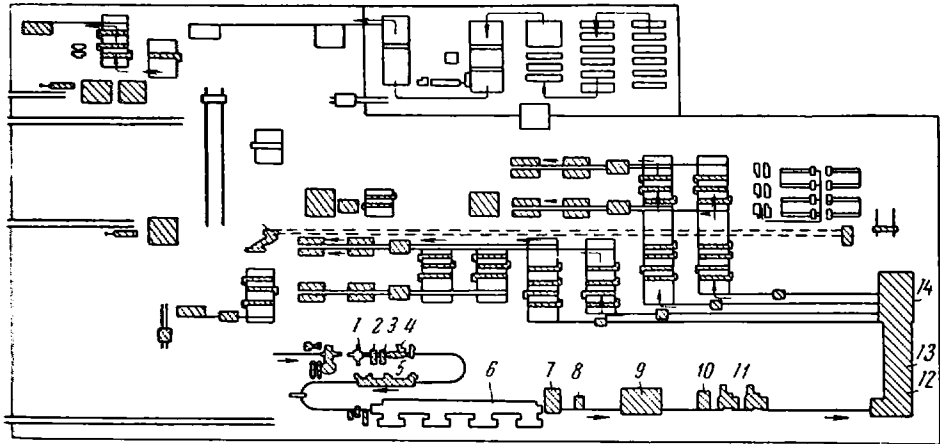


Рис. 349. Схема расположения оборудования агрегата непрерывной печной сварки труб

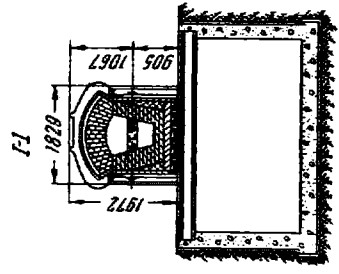
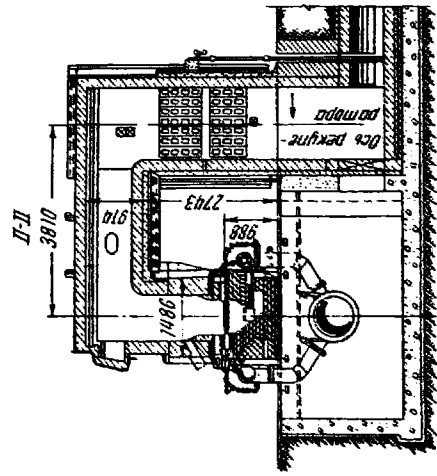
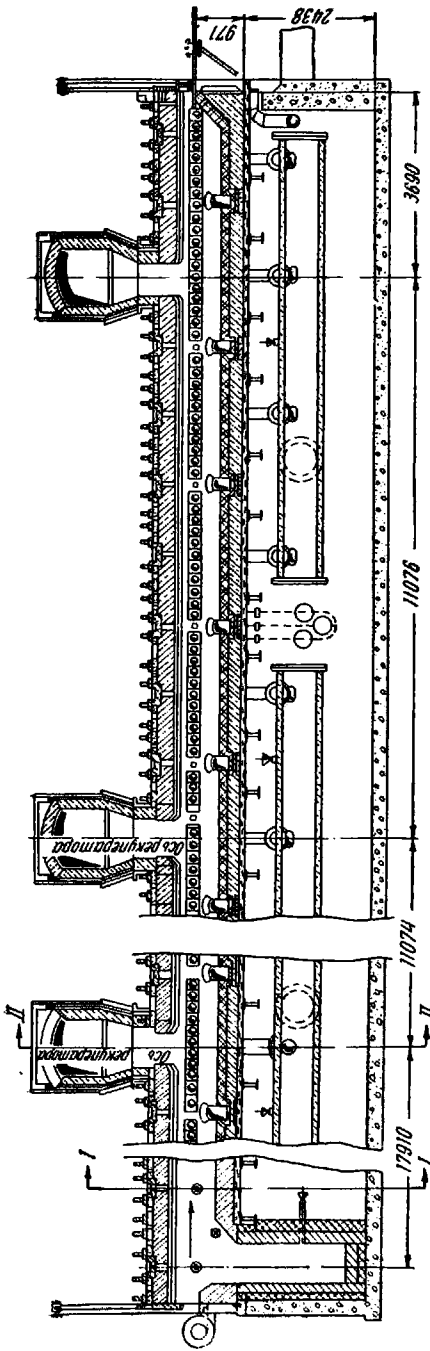
лены летучие ножницы 8, которые включаются в аварийных случаях и для отрезки «иглы» при заправке стана.

Главной особенностью агрегата непрерывной печной сварки труб является непрерывность технологического процесса и высокая степень его механизации и автоматизации. Это достигнуто созданием ряда новых машин, в том числе редуционного стана, летучей пилы, безимпульсного барабанного выбрасывателя и др. Такие машины позволили осуществить компоновку оборудования горячей линии, при которой формовочно-сварочный, редуционный и калибровочный станы расположены в одной непрерывной линии, а летучая пила установлена после калибровочного стана. Это обеспечивает надежное прохождение бесконечной трубы через клетки станков с высокой скоростью.

В агрегате реализован наиболее совершенный технологический процесс отделки труб, осуществляемый в автоматизированных станочных линиях, связанных непрерывным потоком с горячей линией.

Непрерывные станы (трех основных типоразмеров) применяют для производства труб диаметром 10—33,5 мм, 21—60 мм и 33,5—114 мм.

Основная особенность нагрева штрипса при непрерывной печной сварке — неравномерное распределение температуры по сечению. Кромки штрипса нагреваются до температуры, которая значительно выше, чем температура его середины, благодаря чему можно создавать более высокое давление в сварочном калибре и тем самым повысить качество сварки. Более низкая температура в средней части способствует также сохранению прочности штрипса, достаточной для того, чтобы штрипс выдержал усилие растяжения, которому он подвергается при транспортировке через печь.



Р и с. 350. Нагревательная печь

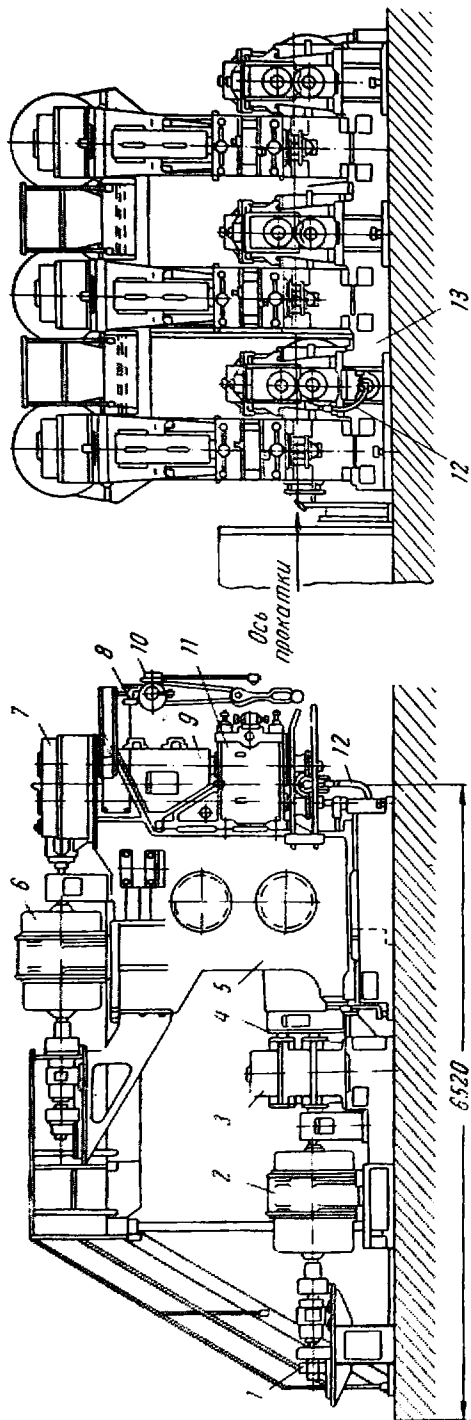


Рис. 351. Формовочно-сварочный стан с индивидуальным приводом

Температура середины штрипса по выходе его из печи составляет $1280\text{--}1320^\circ\text{C}$, а температура кромок на $40\text{--}80$ град выше. Дальнейшее повышение температуры кромок (на $50\text{--}80$ град) достигается за счет окисления металла обдувкой их воздухом от вентилятора непосредственно по выходе из печи. Кромки при обдувке одновременно очищаются от окалины и шлака. Повторная обдувка воздухом кромок штрипса около сварочной клетки позволяет довести температуру до точки плавления ($1500\text{--}1520^\circ\text{C}$).

Для обеспечения высокой производительности стана штрипсы нагревают за небольшой промежуток времени ($20\text{--}50$ сек), при этом соответственно увеличивается скорость нагрева, что обеспечивается высокой температурой газов у свода печи $1300\text{--}1550^\circ\text{C}$ непосредственно у штрипса $1500\text{--}1700^\circ\text{C}$.

Для нагрева штрипса при непрерывной печной сварке в стык применяют печи туннельного типа большой длины (рис. 350).

Формовочно-сварочные станы имеют $6\text{--}12$ клеток с вертикальными и горизонтальными валками. На станах с большим числом клеток скорость выхода трубы больше.

Существуют формовочно-сварочные станы двух основных типов: с общим приводом и индивидуальным приводом каждой клетки.

Формовочно-сварочные станы с индивидуальным приводом (рис. 351) клеток имеют значительные преимущества перед станами с групповым приводом; на этих станах можно применять валки одинакового диаметра для всех клеток, более точно подбирать скорость для различных раз-

меров труб, исправлять неточности изготовления или настройки валков и т. д.

Стан состоит из шести чередующихся вертикальных и горизонтальных клетей с индивидуальным приводом. Рабочий механизм 11 клетки выполнен в виде отдельного узла, унифицированного для всех клеток. При вертикальной установке его крепят к станине 5, а при горизонтальной — непосредственно на плитовине 13 стана. Рабочий механизм состоит из корпуса, в котором неподвижно установлена подушка. В подушке на подшипниках качения смонтирован вал, на коническом хвостовике которого разжимной цангой закреплен рабочий валок. Подушка с валом может настраиваться в радиальном и осевом направлениях. Радиальная настройка осуществляется винтами, зазоры в резьбе винтов выбираются пружинами в соответствии с направлением реакции от усилия прокатки. Осевую настройку производят винтами, которые перемещают подушку посредством рычагов. После настройки подушка фиксируется клином.

Горизонтальные валки приводятся от электродвигателя 2 через комбинированный редуктор 3 и муфты 4, а вертикальные валки — от электродвигателя 6 через комбинированный редуктор 7 и универсальные шпиндели 9.

В первой клетке стана штрипс формируется, образуя незамкнутую дугу с центральным углом примерно 220° , обращенную вогнутостью книзу. Во второй клетке кромки штрипса смыкаются, при этом в месте контакта создается необходимое сварочное давление. В остальных клетях труба частично редуцируется.

Между первой и второй клетями установлено сварочное сопло 12, которое направляющим клином заходит в щель между несомкнувшимися кромками штрипса, предотвращая скручивание трубы при прохождении через стан. Клин сопла имеет отверстия, через них на кромки сформованного штрипса от компрессора подается сжатый воздух, сдувающий окалину и дополнительно нагревающий кромки до сварочной температуры.

Для перевалки стан оборудован монорельсом 8 с тельфером 10. Скорость вращения валков каждой клетки фиксируется фотоимпульсным датчиком 1, показания которого сообщаются на пульт управления.

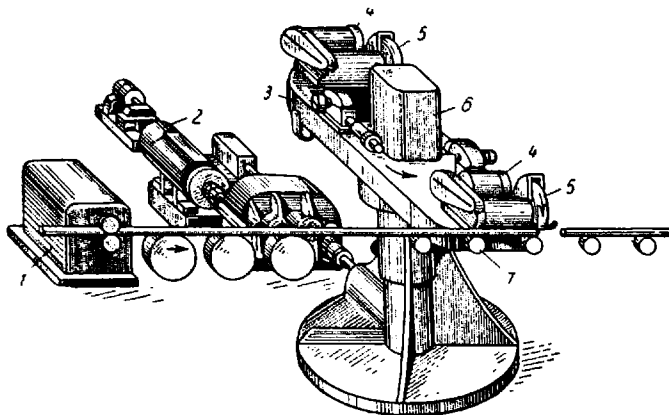
Механизмы формовочно-сварочного стана предохраняют от попадания в них окалины, сдуваемой в большом количестве со штрипса, проходящего через стан. Чтобы предотвратить прилипание окалины к поверхности валков, вторая пара их обдувается паром.

Бесконечная труба, выходящая из формовочно-сварочного или редуциционного стана, должна быть разрезана на выходном рольганге. Резка на ходу производится пилами и ножницами различной конструкции (рис. 352).

В агрегатах непрерывной печной сварки труб максимальная эффективность использования оборудования достигается прежде всего за счет редуцирования труб в многоклетевом непрерывном стане, работающем с повышенными натяжениями при высоких обжатиях в клетях. Увеличение обжатия в каждом калибре позволяет применять для сварки более широкий штрипс, а повышенные натяжения обеспечивают унификацию его размеров по толщине и получение тонкостенных труб.

Редуциционный стан состоит из 14 чередующихся клеток с вертикальными и горизонтальными валками. Клетки отличаются от клеток формовочно-сварочного стана только передаточными числами редукторов. Между клетями укреплены трубчатые проводки. Скорость вращения валков фиксируется фотоимпульсными датчиками.

Основные задачи калибровки непрерывного трубосварочного ста- на заключаются в определении формы и геометрических размеров ка- либров, валков и штрипса. Современная методика расчета калибровки валков основана на применении максимально допустимых деформаций трубы в редуцирующих клетях. При этом коэффициент вытяжки со-



Р и с. 352. Легучая пила:

1 — устройство для синхронизации скорости пилы со скоростью трубы; 2 и 3 — столы; 4 — каретка; 5 — диск пилы; 6 — механизм резания

ставляет 1,06—1,09. Преимущества этого метода заключаются в воз- можности повышения производительности при неизменной скорости на- грева штрипса, а также в возможности улучшить качество шва благо- даря повышенному обжатию.

Расчет калибровки обычно ведется против хода прокатки. Разме- ры калибра последней n -й клетки формовочно-сварочного стана опреде- ляют по формуле

$$h_n = b_n = d_n = D_T (1 + \alpha T_{св}) + \Delta D_k,$$

где h_n, b_n — высота и ширина калибра;

d_n — диаметр калибра;

$T_{св}$ — температура выхода трубы из формовочно-сварочного стана (1000—1100 °C);

ΔD_k — абсолютное обжатие трубы по диаметру в калибровочном стане-окалиноломателе;

D_T — наружный диаметр трубы.

Абсолютное обжатие трубы в калибровочном стане можно опреде- лить по эмпирическим формулам:

$$\Delta D_k = 0,4 \sqrt{D_T} - 0,03 D_T,$$

$$\Delta D_k = \frac{m_k}{100} d_n,$$

где

$$m_k = \frac{45}{\sqrt{D_T (1 + \alpha T_{св})}} - 2,8.$$

Если установка не имеет в составе калибровочного стана, то для определения диаметра калибра последней клетки можно пользоваться формулой

$$d_n = D_T (1 + \alpha T_{св}).$$

В табл. 40 приведены основные данные калибровки непрерывных станов печной сварки труб в стык для случая прокатки овальной трубы в овальном калибре. Данными таблицы можно пользоваться для дальнейшего расчета размеров калибра формовочно-сварочного стана. Для случая прокатки овальной трубы в круглом калибре обжатие следует принимать в два раза меньше.

Таблица 40

Основные данные для калибровки валков непрерывных станов печной сварки труб в стык

Номинальный диаметр труб, мм	Обжатие по диаметру трубы в клетях станов, %		Коэффициент овальности	Расстояние между ребрами формовочного вала, мм
	калибровочного	формовочно-справочного		
10,1—26,8	5,0—6,0	7,0—10,0	1,07—1,10	8—12
33,5—48,0	4,0—6,0	6,0—9,0	1,07—1,14	12—15
60,0—71,0	1,5—3,5	5,0—8,0	1,06—1,12	20—25
83,0—114	1,25—1,5	3,0—6,0	1,05—1,10	30—35

В формовочно-калибровочном стане первый и последний калибры обычно круглые, а остальные — овальные. Средний диаметр калибра предпоследней клетки определяют по формуле

$$d_{n-1} = \frac{d_n}{100 - m_n} 100,$$

где m_n — относительное обжатие по наружному диаметру.

Обжатие

$$m = \frac{d_{c.н} - d_{c.к}}{d_{c.н}} 100,$$

где $d_{c.н}$ и $d_{c.к}$ — средние наружные диаметры трубы до прокатки и после нее.

Высоту калибра h_{n-1} принимают меньше диаметра калибра последней клетки d_n на величину уширения Δb_n .

Обычно уширение Δb_n принимают равным 0,1—0,25 мм; большие значения соответствуют большему диаметру трубы и большему обжатию.

Зная коэффициент

$$\lambda_{n-1} = \frac{h_{n-1}}{d_{n-1}},$$

можно определить коэффициент овальности калибра ξ_{n-1} или относительный эксцентриситет калибра c_{n-1} , а затем и ширину калибра

$$b_{n-1} = \xi_{n-1} h_{n-1} = h_{n-1} \sqrt{1 + 2c_{n-1}}.$$

Для случаев малой овальности калибров, т. е. при $\xi < 1,1$ и $c_{n-1} < 0,1$, эту формулу можно упростить:

$$b_{n-1} = (1 + c_{n-1}) h_{n-1}.$$

Средний диаметр третьего (против хода прокатки) калибра определяют по формуле

$$d_{n-2} = \frac{d_{n-1}}{1 - \frac{m_{n-1}}{100}}.$$

Для определения коэффициента овальности можно рекомендовать следующие эмпирические формулы:

для труб диаметром до 76 мм

$$\xi = 1 + \frac{m_i + 1}{100};$$

для труб диаметром более 76 мм

$$\xi = 1 + \frac{m_i + 2}{100},$$

где m_i — относительное обжатие в данной клетке.

Относительный эксцентриситет определяют по формулам:

для труб диаметром до 76 мм

$$c_i = \frac{m_i + 1}{100};$$

для труб диаметром более 76 мм

$$c_i = \frac{m_i + 2}{100}.$$

Далее по ξ_{n-2} или c_{n-2} определяют коэффициент λ , высоту и ширину калибра:

$$h_{n-2} = \frac{d_{n-2}}{\lambda_{n-2}};$$

$$b_{n-2} = \xi_{n-2} h_{n-2} = h_{n-2} \sqrt{1 - 2c_{n-2}}.$$

Аналогично можно рассчитать все остальные калибры до сварочного включительно. Рассчитаем формовочный калибр. Обычно он круглый. Диаметр калибра определяют по формуле

$$d_1 = d_2 \frac{100}{100 - m_2},$$

где m_2 — условное обжатие в сварочной клетке, равное 20—25% (большие значения принимают для труб меньших размеров).

В формовочном калибре радиусы закруглений в верхней и нижней частях принимают различные.

Для обеспечения сближения кромок штрипса между первой и второй парами валков ось формующего калибра должна быть ниже оси прокатки на 12—20 мм.

Для станов с групповым приводом катающий диаметр определяют по формуле

$$D_{ki} = \frac{D_{k(i+1)}}{\mu_{i+1}} \left(1 + \frac{\omega_{i+1}}{100} \right) i,$$

где D_{ki} и $D_{k(i+1)}$ — катающий диаметр в данной и последующих клетках.

μ_{i+1} — коэффициент вытяжки в $i+1$ клетке;

ω_{i+1} — натяжение.

Коэффициент вытяжки

$$\mu_{i+1} = \frac{Q_i}{Q_{i+1}},$$

где Q_i и Q_{i+1} — площадь поперечного сечения трубы после i -той и последующей клетей.

Наружный диаметр валка

$$D_i = D_{ки} + \lambda_{1i} d_i,$$

где λ_{1i} — коэффициент, определяемый по графику рис. 353.

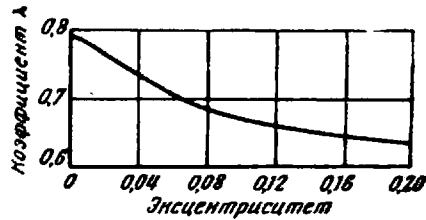


Рис. 353. График для определения коэффициента λ

Для станов с индивидуальным приводом можно принять, что $D_{к(i+1)} = D_{ки}$. Тогда число оборотов валков

$$n_i = \frac{n_{i+1}}{u_{i+1}} \left(1 + \frac{\omega_{i+1}}{100} \right).$$

Натяжение $\omega_i = 3-5\%$.

Для упрощения расчета можно пользоваться эмпирическими формулами. Для станов с групповым приводом наружный диаметр

$$D_{i+1} = \left(D_i - \frac{2}{3} d_i \right) \frac{d_i - s}{d_{i+1} - s} + \frac{2}{3} d_{i+1}.$$

Для станов с индивидуальным приводом число оборотов

$$n_{i+1} = n \frac{D - \frac{2}{3} d_i}{D_i - \frac{2}{3} d_{i+1}} \frac{d_i - s}{d_{i+1} - s}.$$

С учетом угара металла во время нагрева штрипса в печи его толщину принимают несколько большей толщины стенки готовой трубы.

При выборе ширины штрипса необходимо учитывать относительное обжатие m_c в сварочном калибре, от которого в значительной степени зависит прочность сварного шва. На основании исследований ряда авторов можно принимать $m_c = 5-7\%$. Величину m_c определяют по формуле

$$m_c = \frac{d_s - d_k}{d_s} 100\%,$$

где d_s — средний диаметр заготовки в момент соприкосновения ее кромок;

d_k — диаметр сварочного калибра.

Для определения ширины штрипса можно пользоваться следующей формулой, учитывающей угар и температурное расширение:

$$B_s = \frac{\pi (d_k - s) + \frac{m_c}{100 - m_c} d_s}{\left(1 - \frac{a}{100} \right) (1 + aT_{св})},$$

где a — угар металла в печи, %.

3. КОНТАКТНАЯ ЭЛЕКТРОСВАРКА

При производстве труб контактной электросваркой различают сварку сопротивлением и сварку оплавлением («вспышкой»). Сварку сопротивлением разделяют на сварку с нагревом только кромок свариваемой трубы и сварку с нагревом всего поперечного сечения.

Сваркой сопротивлением с нагревом только кромок сваривают трубы диаметром 6—630 мм и толщиной стенки 0,5—20 мм, используемые в качестве конструкционных труб (до диаметра 168—219 мм) и нефтегазопроводных труб (диаметром более 114 мм).

Сварку сопротивлением с нагревом всего поперечного сечения применяют для производства газовых труб (усиленных, нормальных и облегченных) диаметром 3,2—101,6 мм.

Сваркой оплавлением изготавливают трубы диаметром 168—815 мм, толщиной стенки 7—15 мм и длиной до 12 м. Трубы, полученные этим методом, применяют для магистральных трубопроводов газа, нефти и нефтепродуктов.

При производстве труб сваркой сопротивлением с нагревом кромок свариваемой трубы в качестве исходной заготовки применяют холоднокатаную ленту, штрипс, холоднокатаную и горячекатаную (травленая или нетравленая) листовую сталь в рулонах. Основные операции подготовки заготовки — разматывание рулонов, правка, сварка конца одного рулона с началом последующего, обрезка кромок, зачистка от окалины (для штрипса и горячекатаной листовой стали).

При производстве труб сваркой сопротивлением с нагревом всего поперечного сечения свариваемой трубы в качестве исходной заготовки применяют штрипс в рулоне. Основные операции подготовки заготовки — разматывание рулона, правка и сварка конца одного рулона с началом последующего.

При производстве труб оплавлением в качестве исходной заготовки применяют горячекатаную листовую сталь мерной длины (8—12 м). Основные операции подготовки — травление, правка и строжка кромок.

Оборудование для подготовки заготовки при сварке сопротивлением отличается от оборудования, применяемого для подготовки штрипса при непрерывной печной сварке труб, простотой конструкции в связи с меньшими скоростями.

Для правки листов и ленты применяют валковые правильные машины, аналогичные применяемым в листопрокатном производстве.

Постоянство ширины свариваемой ленты имеет очень большое значение для качества шва, так как обеспечивает постоянное сварочное давление. Для получения минимальных отклонений в ширине штрипса установки для сварки труб сопротивлением имеют дисковые ножницы или кромкострогальное устройство. Последнее часто является частью формовочного стана.

При производстве труб из нетравленого горячекатаного штрипса в состав установки входят специальные устройства для сбивки окалины с поверхности его кромок.

Непрерывность процесса обеспечивается сваркой концов рулонов между собой и петлевым устройством. В некоторых случаях рулоны после сварки концов наматывают на барабан большого диаметра, с которого полосы поступают в трубосварочный стан. Непрерывность процесса при этом не достигается, однако потери времени на заправку следующего рулона относительно небольшие.

Основные операции в процессе сварки труб сопротивлением — формовка заготовки в трубу, сварка кромок заготовки, калибровка, резка на ходу готовой трубы.

Решающее значение для получения качественного шва при сварке труб всеми методами имеет качество формовки штрипса. При формовке кромок штрипса испытывают значительные растягивающие напряжения. Процесс формовки штрипса надо вести так, чтобы растягивающие напряжения на кромках не превышали предела текучести. Это зависит от

калибровки валков, числа рабочих клеток и расстояния между ними. Существенное значение для получения качественной формовки имеют также направляющие холостые вертикальные ролики. Таким образом, успешная формовка трубной заготовки в значительной степени зависит от конструкции формовочного стана.

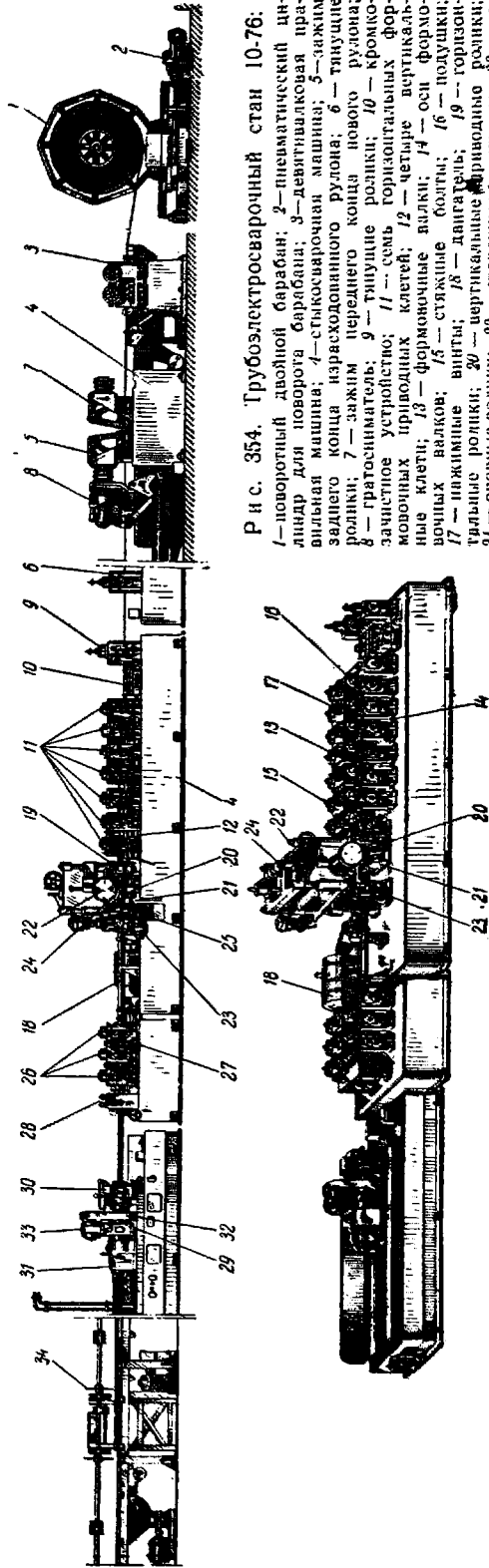
По конструкции формовочные станы разделяют на станы с консольным креплением валков и станы с двухопорным креплением валков. Формовочные станы с консольным креплением валков применяют для производства тонкостенных труб диаметром до 60 мм.

Наибольшее распространение имеют станы с двухопорным креплением валков. Станы для производства труб диаметром до 100 мм имеют рабочие клетки закрытого типа, а для труб большего диаметра — открытого. На рис. 354 представлен наиболее распространенный трубоэлектросварочный стан 10-76 с рабочими клетями открытого типа с двухопорным креплением валков.

Для труб большего диаметра (до 273 мм) применяют формовочные станы с рабочими клетями открытого типа и шпиндельной передачей вращения валкам.

В некоторых конструкциях современных станом обеспечена возможность изменять положение нижнего валка по высоте.

Между клетями с горизонтальными валками расположены клетки с вертикальными валками и холостыми направляющими валками. Перед первой формовочной клетью установлены



Р и с. 354. Трубоэлектросварочный стан 10-76:

- 1 — поворотный двойной барабан; 2 — пневматический цилиндр для поворота барабана; 3 — пневматическая привальная машина; 4 — стыковочная машина; 5 — зажим заднего конца израсходоанного рулона; 6 — тнущие ролики; 7 — зажим переднего конца нового рулона; 8 — гратосниматель; 9 — тнущие ролики; 10 — кромкозащитное устройство; 11 — семь горизонтальных формовочных приводных клеток; 12 — четыре вертикальные клетки; 13 — формовочные валки; 14 — ось формовочных валков; 15 — стяжные болты; 16 — подшипники; 17 — нажимные винты; 18 — дататель; 19 — горизонтальные ролики; 20 — вертикальные направляющие ролики; 21 — опорные ролики; 22 — сварочные электроды; 23 — ролики гратоснимателя; 24 — валки для закатки шва;

- 25 — барабан для смятия стружки; 26 — горизонтальные направляющие клетки; 27 — вертикальные направляющие клетки; 28 — патроны перед отрезным устройством; 29 — картка обрезного устройства; 30 — патроны после отрезного устройства; 31 — патроны за отрезным устройством; 32 — резцовый головка; 33 — электродводитель-резцовой головкой; 34 — абразивный материал.

кромкострогальное устройство или ролики с трапецидальными канавками, в которых закатываются заусенцы на кромках штрипса, получившиеся при обрезке его на дисковых ножницах.

Для формовки трубной заготовки большого диаметра (до 529 мм) применяют формовочные станы также с рабочими клетями открытого типа. Рабочие клетки, в которых лист свертывается меньше чем на 180° , близки по конструкции к описанным. Основные конструктивные отличия имеют формовочные клетки, в которых лист свертывается больше чем на 180° . В этих клетях калибр для уменьшения габарита валков образуется четырьмя валками: двумя приводными и двумя холостыми.

Сформованная трубная заготовка поступает в трубосварочный стан, где кромки ее сближаются и свариваются. Образовавшийся при сварке

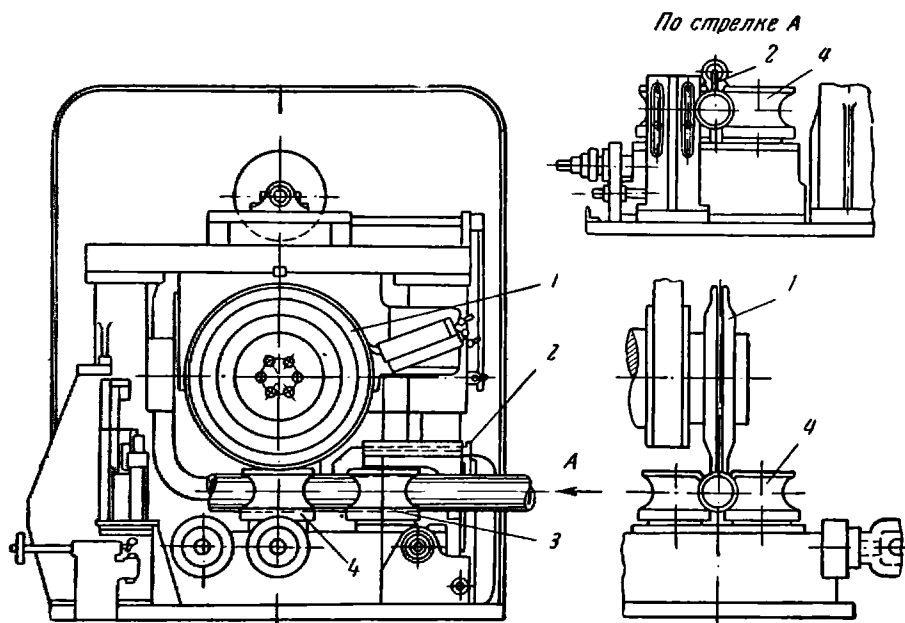


Рис. 355. Стан сварки труб сопротивлением

внутренний и наружный грат удаляют специальными устройствами. В соответствии с указанными операциями трубосварочный стан имеет следующие узлы: механизм для задачи, продвижения и направления трубы во время сварки; сварочные электроды с устройством для подвода тока к ним и механизмы для удаления наружного и внутреннего графа. Кроме того, трубосварочный стан имеет устройство для проточки электродов на стане.

Для подачи сформованной заготовки к электродам 1 (рис. 355) без перекоса и зазора между кромками имеются специальные направляющие приспособления в виде плоского направляющего «ножа» 2 или в виде горизонтальных роликов с направляющей шайбой в верхнем ролике. Заготовка в процессе сварки сжимается при помощи двух пар вертикальных приводных роликов. Относительно оси вращающихся электродов опорные ролики в станах различных конструкций расположены не одинаково.

В станах, имеющих направляющий нож, первая пара роликов 3 (см. рис. 355) предназначена для сближения кромок заготовки и подачи ее к сварочным электродам. Вторая пара роликов 4 расположена непо-

средственно под сварочными электродами; она предназначена для создания необходимого сварочного давления в процессе и после сварки до охлаждения металла.

При наличии направляющих валков нет необходимости в установке вертикальных роликов специально для сближения кромок заготовки, так как достаточное сближение кромок достигается в направляющих роликах. Первая пара вертикальных роликов 20 (см. рис. 354) расположена непосредственно под сварочными электродами 22; ось их несколько смещена в направлении входа трубы, чем достигается прижатие кромок до прохождения через них тока. Ролики обеспечивают необходимое сварочное давление. Вторая пара роликов 21 установлена на некотором

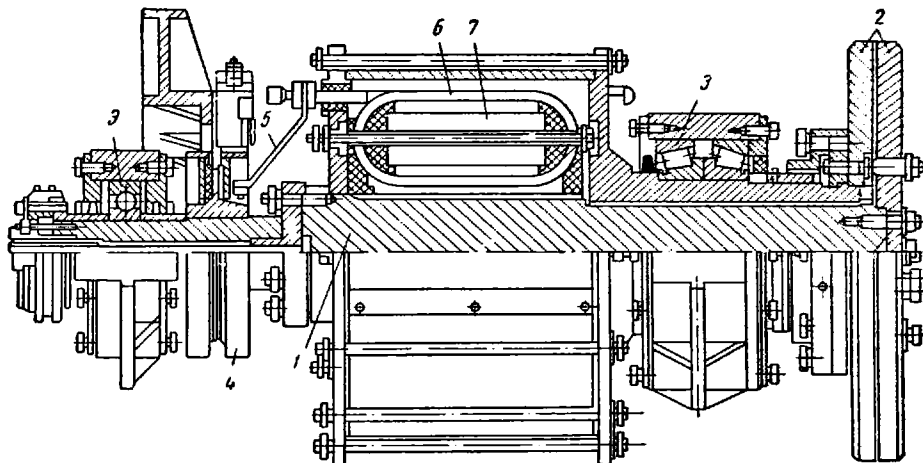


Рис. 356. Вращающийся сварочный трансформатор:

1 — вал; 2 — электродные кольца; 3 — опорные подшипники; 4 — контактные кольца; 5 — токоподводящие шины; 6 — первичная обмотка; 7 — сердечник из листового железа

расстоянии за осью электродов и обеспечивает необходимое давление на кромки металла во время его остывания.

Электроды трубосварочного стана обычно крепят консольно (рис. 356). В некоторых станах электроды крепят на двух опорах. Консольное крепление электродов обеспечивает быструю их смену. Крепление электродов на двух опорах позволяет создавать большие сварочные давления. Вращение электродов достигается вследствие трения между ними и свариваемой трубой.

Материал электродов должен обладать высокой электропроводностью и в то же время высокой износоустойчивостью. Такими свойствами обладают сплавы меди, серебра и кадмия (их электропроводность составляет 85% электропроводности меди, а стойкость в два раза больше стойкости электродов из чистой меди). При производстве труб из легированных сталей применяют электроды из сплавов меди, цинка и хрома, имеющих очень высокую твердость и электропроводность, равную 80% электропроводности чистой меди.

При конструировании станов электросварки труб сопротивлением большое внимание уделяют передаче электроэнергии к вращающимся сварочным электродам. Применение скользящих контактов ведет к большим потерям, достигающим 40—50%, так как применяют сварочный ток большой силы. Для станов, работающих на постоянном токе, передача электроэнергии электродам еще полностью не отработана, что препят-

ствует широкому их распространению, несмотря на возможность получать высокие скорости сварки.

Для трубосварочных станков, работающих на переменном токе, применяют вращающиеся трансформаторы, которые имеют высокий коэффициент полезного действия (90—95%).

Все современные станки для сварки труб сопротивлением снабжены механизмами для удаления наружного и внутреннего грата. Наиболее распространенным методом удаления наружного грата является зачистка резцом с последующей закаткой в валках 24 (см. рис. 354). Режущая кромка резца заточена по радиусу, равному наружному радиусу трубы. Срезанная стружка наматывается на барабан 25, соединенный фрикционной муфтой с индивидуальным электродвигателем или через ременную передачу с главным электродвигателем.

Внутренний грат удаляется оправкой (с резцом или роликом), которая закреплена на кронштейне между второй и третьей клетями, формовочного стана (считая от сварочного трансформатора) и проходит внутри трубы до гратоснимающей клетки. Труба, проходя через валки гратоснимающей клетки, несколько сплющивается, причем внутренний грат срезается (резцом) или раскатывается (роликом). При удалении внутреннего грата резцом образующаяся стружка остается внутри трубы и удаляется из нее вручную после разрезания трубы на мерные длины.

Труба, выходящая из сварочного стана, имеет поперечное сечение овальной формы, причем вертикальный ее диаметр всегда больше горизонтального. Для придания ей точной формы и требуемых размеров предназначен калибровочный стан.

При работе станков для сварки труб сопротивлением выходящая из стана бесконечная труба разрезается на мерные длины на ножницах гильотинного типа, пилах и резцовых отрезных устройствах. Ножницы применяют для резки на ходу труб диаметром до 50 мм. Однако при резке конец трубы несколько сминается, что ведет к повышенному расходу металла.

Пилы применяют для резки на ходу труб диаметром до 100 мм и при производстве профильных труб, где пилы являются единственным механизмом для резки труб на ходу.

Для формовки трубной заготовки наибольшее распространение получили калибровки валков I—III типов, показанные на рис. 357.

Наиболее распространенным является I тип калибровки. Профиль калибра по этой калибровке строят одним постоянным радиусом, уменьшающимся от клетки к клетке в направлении формовки.

Калибры II типа строят двумя радиусами — крайние участки малым радиусом, равным радиусу готовой трубы и постоянным во всех калибрах, а центральный участок — радиусом, постоянным в данной клетке, но уменьшающимся от клетки к клетке до радиуса готовой трубы. При этом ширина периферийных участков постепенно увеличивается, а центрального — уменьшается.

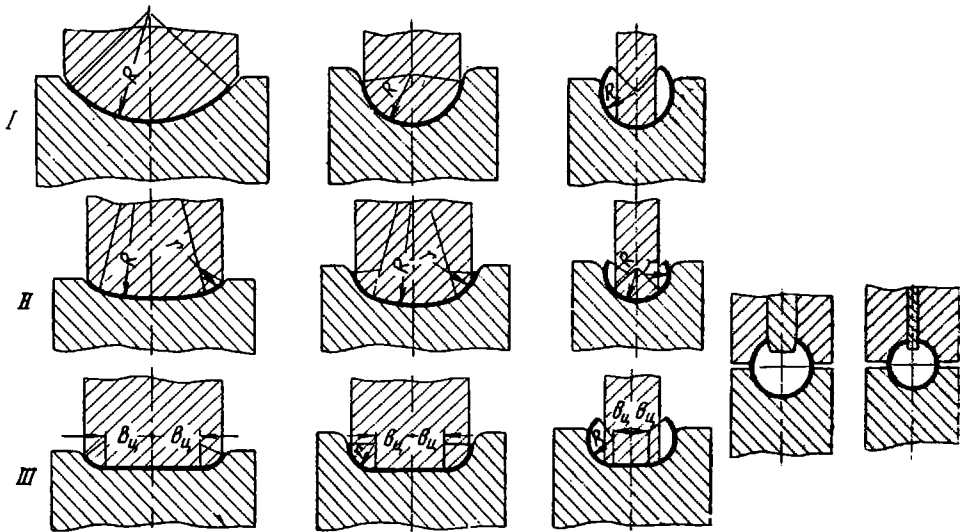
Калибры III типа калибровки строят одним постоянным радиусом, во всех клетях равным радиусу готовой трубы. Этот тип калибровки является частным случаем II типа при условии, что большой радиус равен бесконечности, т. е. центральный участок плоский.

Каждая из этих калибровок имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе калибровки для каждого конкретного случая. Прежде всего необходимо учитывать технологичность калибровки, т. е. насколько высока устойчивость ленты в процессе формовки и насколько легко осуществляется настройка. Наиме-

нее технологичным является I тип калибровки. В калибре выполненном одним радиусом, лента легко может сместиться в сторону. В калибре выполненном двумя радиусами, лента при смещении в сторону должна разогнуться с одной стороны и согнуться с другой, т. е. должна получить дополнительную деформацию. Устойчивость ленты в валках, выполненных по II типу калибровки, значительно выше.

Повышенной устойчивостью обладает также III тип калибровки. Однако необходимо учитывать, что даже при правильном распределении радиусов сворачивания по клетям формовочного стана подъем кромок происходит не плавно от клетки к клетю, а скачкообразно.

Из валков лента выходит с почти параллельными кромками, а при подходе к следующей клетю они начинают резко подгибаться. Зону



Р и с. 357. Схема различных типов калибровки валков формовочных станов

подъема кромок называют внеконтактной зоной деформации. Длина внеконтактной зоны деформации зависит от толщины металла, его механических свойств, профиля калибра и др. Чем больше металла по ширине калибра участвует в подгибке, тем больше длина внеконтактной зоны деформации и тем меньше, следовательно, возникающие в кромках растягивающие напряжения.

В связи с этим наилучшими являются I и II типы калибровки. III тип калибровки при производстве труб малых и средних диаметров почти не применяют.

При выборе типа калибровки немалое значение имеет степень сложности изготовления валков. Выполнение ручья калибра с высокой точностью (допуск на радиус калибра для производства труб малых и средних диаметров находится в пределах 0,03—0,1 мм) и высокой чистотой поверхности (обычно чистота поверхности ручья $\nabla 8$ — $\nabla 10$) является весьма трудоемкой операцией и требует высокой квалификации изготовителей.

Наиболее прост в изготовлении I тип калибровки, так как его калибры выполнены одним радиусом. Одним из преимуществ этого типа калибровки является то, что валки клетей с открытыми калибрами можно использовать для труб нескольких размеров.

При применении остальных типов калибровок каждый размер свариваемой трубы полностью оснащается отдельным комплектом валков. Таким образом, применение I типа калибровки позволяет значительно сократить парк валков.

При проектировании современных труботэлектросварочных станов малых и средних типоразмеров применяют обычно I и II типы калибровок валков. Последний обычно применяют там, где нужна повышенная устойчивость ленты и необходимо выпускать трудоемкие трубы (малые диаметры, малое отношение толщины стенки к диаметру и т. д.) Применяют II тип калибровки также в тех случаях, когда сортамент стана весьма ограничен или стан не имеет стыкосварочного аппарата и т. д.

Калибровку I типа целесообразно применять там, где большой сортамент выпускаемых труб и велико число станов. Этот тип калибровки лучше всего применять для труб малых и средних диаметров. Если его применение сопряжено с технологическими трудностями, следует переходить на калибровку II типа. При производстве труб больших диаметров также следует применять II тип калибровки, так как в этом случае фактор диаметра валков становится решающим.

Калибровку III типа применяют для подгибки кромок трубной заготовки при изготовлении труб большого диаметра.

Последовательность расчета калибровки:

- 1) расчет профиля калибров для максимального диаметра труб в сортаменте стана по I типу калибровки;
- 2) определение диаметров валков;
- 3) определение передаточного отношения привода каждой клетки.
- 4) расчет профиля калибров для всех размеров труб сортамента по тем типам калибровок, которые наиболее целесообразны для трубы каждого размера.

Прежде чем приступить к расчету профиля калибров, необходимо выбрать длину очага формовки L_{ϕ} , т. е. длину формовочного стана, и определить число клеток.

Длину формовочного стана принимают равной 50 максимальным диаметрам трубы, свариваемой на данном стане. Число клеток выбирают на основании практических данных.

Далее необходимо определить ширину исходной ленты для производства трубы данного размера. Эту ширину определяют независимо от типа калибровки по длине нейтральной линии поперечного сечения трубы с добавкой припусков на смятие кромок в формовочном стане ΔB_{ϕ} , на оплавление кромок и образование грата во время сварки ΔB_c и на обжатие при калибровке трубы ΔB_k .

Определение профиля калибров, построенных по I типу калибровки, заключается в определении радиуса нейтральной линии в каждой клетке (рис. 358) и центрального угла α .

Наиболее просто определить радиус r_i из условия равномерного распределения деформаций по клетям:

$$r_i = \frac{n}{i} R_T,$$

где n — порядковый номер первой клетки с разрезной шайбой;

i — порядковый номер клетки;

R_T — радиус готовой трубы.

Центральный угол

$$\alpha = \frac{B}{R_0}.$$

Можно определять R_i и a по графику (рис. 359), построенному из условия расположения кромки ленты при формовке по винтовой линии, т. е. по кратчайшему расстоянию. Оба метода незначительно отличаются один от другого. Практика эксплуатации некоторых отечественных установок показывает, что более целесообразно определять эти параметры либо по кривой 3 (рис. 359), либо по формуле

$$\alpha = \frac{40,60^{1,8666}}{1,8666^{\alpha}}$$

где $\alpha = \frac{x}{x_{\Phi}}$ — отношение расстояния данной клетки от начала очага формовки к полной длине очага формовки.

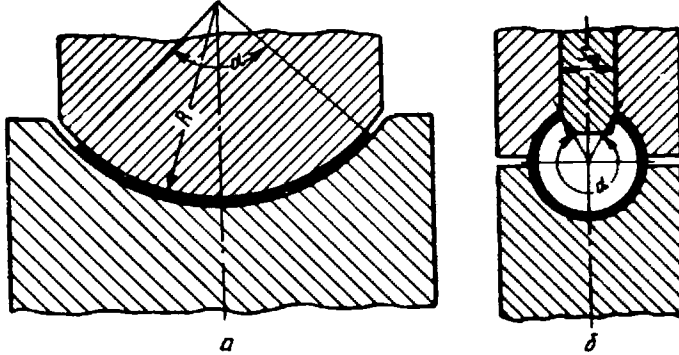


Рис. 358. Калибры первого типа:
а — открытый; б — закрытый

Для клеток с разрезной шайбой необходимо знать толщину шайбы $s_{ш}$. Ее обычно определяют по формуле

$$s_{ш} \approx (2\pi - \alpha_i) R_i.$$

Толщину шайбы корректируют по опытным данным.

Радиус калибра вертикальных валков обычно принимают равным полусумме радиусов калибров предыдущего и последующего рабочих валков. Однако в связи с тем, что в настоящее время калибровка должна быть универсальной (возможность формовки ленты из различных сталей, в том числе и нержавеющей, и формовки тонкостенных труб), расчет радиусов калибров вертикальных валков следует вести по следующей методике.

Все эджерные валки разделяют на следующие группы: 1) валки для участков ленты, сформованных на угол менее 180° ; 2) валки для участков ленты, сформованных на угол более 180° , до клеток с разрезной шайбой; 3) валки между клетями с разрезной шайбой; 4) вертикальные валки калибровочного стана.

Профиль эджерных валков первой группы (рис. 360) строят радиусом, равным радиусу калибра следующей клетки. В случае, когда лента имеет большой радиус, она не заполняет калибр (рис. 361). Высоту калибра определяют из условия положения точки на кромке ленты между клетями:

$$h = h_1 + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} \left(1 - \cos \frac{2B}{R_n + R_{n-1}} \right),$$

где h_1 — постоянная для данной калибровки величина, определяемая положением нижних точек трубной заготовки:

R_{n-1} и R_n — радиус калибра предыдущей и последующей клетей;
 B — половина ширины ленты.

В этой формуле значение величины h_1 среднее. Более точное ее положение достигается настройкой валков по высоте.

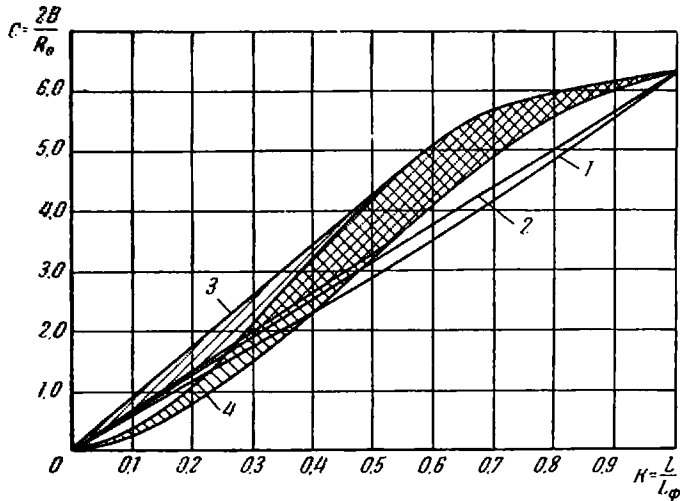


Рис. 359. Кривые оптимальных радиусов сворачивания штрипса:

1 — по кратчайшему расстоянию; 2 — по упрощенной формуле;
 3 — рекомендуемые для нормальных отношений толщины и стенки к диаметру; 4 — то же, для толстостенных и легированных труб

Внутренний диаметр D_v эджерных валков определяют конструктивно, а наружный диаметр — по формуле

$$D_n = D_v + R_k \left(2 \sin \frac{B}{R_k} - 0,175 \right),$$

где R_k — радиус калибра вертикальных валков.

Для второй группы вертикальных валков радиус калибров принимают равным радиусу калибра следующей клетки, а зазор между валками 0,5—2 мм.

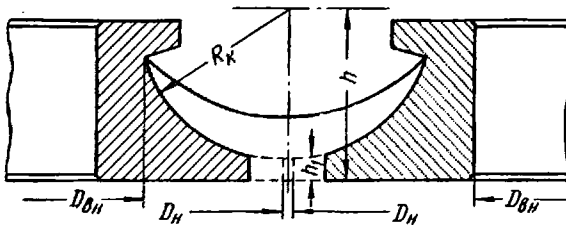


Рис. 360. Профиль вертикальных валков первой группы клетей

Положение центра калибра для валков данной группы, как и валков следующих групп, определяют прибавлением к радиусу калибра постоянной величины h_1 .

Радиус калибра вертикальных валков третьей группы принимают равным радиусу калибра предыдущей клетки. Зазор между валками определяют по формуле

$$s_n = R_{n-1} - R(R_n + 0,5).$$

Поскольку калибровка калибровочного стана построена по системе овал — круг, радиус калибра вертикальных валков определяют как сум-

му радиуса калибра следующей клетки и зазора между валками (на одну сторону) в той же клетке.

Для труб из нержавеющей сталей зазор s_n следует принимать несколько больше.

После определения профилей всех калибров можно выбирать диаметры валков. В каждой клетке диаметр по дну (нижние валки) или по вершине калибра (верхние валки) является постоянной величиной. Это объясняется тем, что лента находится одновременно в нескольких клетках, поэтому если скорость ленты будет переменной, то может случиться, что например, из предыдущей клетки лента выходит с большей скоростью, чем входит в последующую. В этом случае лента будет образовывать петлю, в которую будет уходить лишний металл, и нормальная работа стана станет невозможной. Возможен и другой случай, когда скорость ленты в следующей клетке больше скорости в предыдущей. В этом случае возникает скольжение металла по валкам, вызывающее повышенный расход энергии, задиры и преждевременный износ валков, а в некоторых случаях и обрыв ленты. Поэтому учет скоростей имеет очень большое значение для нормальной работы стана.

Диаметр валка, которому соответствуют точки, имеющие скорость, равную скорости выхода ленты, называют катающим диаметром.

Для соблюдения указанного условия необходимо, чтобы

$$\frac{D_{в.к}}{D_{н.к}} = \frac{n_в}{n_н}$$

где $D_{в.к}$ и $D_{н.к}$ — катающие диаметры верхнего и нижнего валков; $n_в$ и $n_н$ — числа оборотов верхнего и нижнего валков.

Так как $\frac{n_н}{n_в} = 1$, следовательно, $\frac{D_{в.к}}{D_{н.к}} = 1$.

Превышение катающего диаметра следующего валка над диаметром предыдущего определяют по формуле

$$\Delta D = 0,035 D_k^{2/3}$$

После определения катающих диаметров и передаточных отношений в клетках можно рассчитывать калибровки для всего сортамента труб.

4. ДУГОВАЯ СВАРКА ТРУБ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

Дуговой сваркой под слоем флюса изготавливают трубы большого диаметра, предназначенные для магистральных трубопроводов газа, нефти и нефтепродуктов.

По направлению шва трубы могут быть с прямым швом и со спиральным швом.

Дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом изготавливают трубы диаметром 426—1420 мм, толщина стенки 6—13 мм и длиной 6—12 м, а со спиральным швом — трубы диаметром 426—1220 мм, толщиной стенки 5—10 мм и длиной 12—18 м.

Трубы изготавливают из горячекатаных листов низколегированных или углеродистых сталей с пределом прочности до 600 Мн/м² (60 кгс/мм²) и пределом текучести до 350 Мн/м² (35 кгс/мм²).

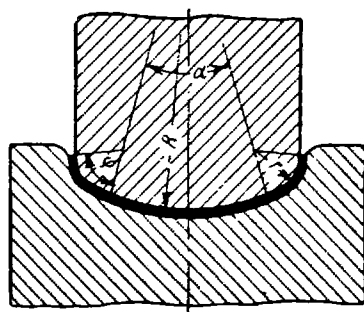


Рис. 361. Калибр второго типа

При производстве труб дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом исходной заготовкой является горячекатаная листовая сталь мерной длины (6—12,5 м), а для труб со спиральным швом — горячекатаная листовая сталь в рулонах.

При производстве труб с прямым швом основные операции подготовки исходной заготовки — правка, строжка кромок, обрезка переднего и заднего концов листа и зачистка кромок от окалины (рис. 362).

При производстве труб со спиральным швом основные операции подготовки заготовки — разматывание, правка, обрезка переднего и заднего концов рулона, сварка концов рулонов, строжка кромок и зачистка их от окалины (рис. 363).

Для правки листовой стали применяют обычные девятивалковые правильные машины. Для строжки продольных кромок при сварке труб

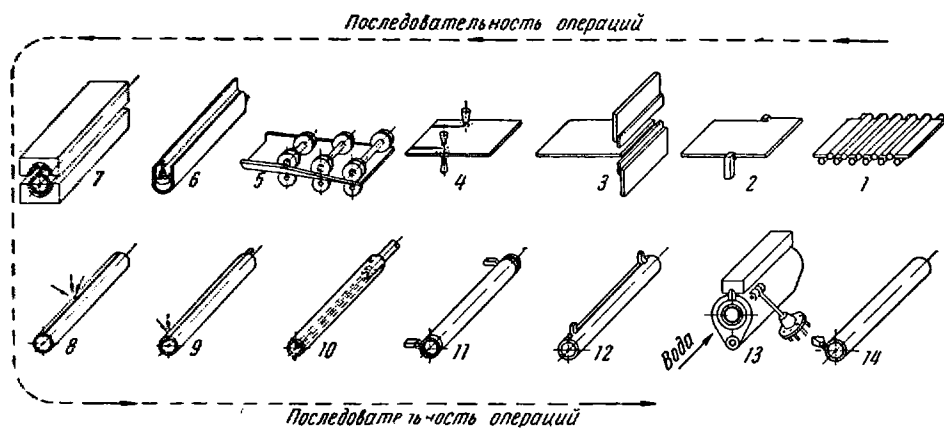


Рис. 362. Схема технологического процесса производства сварных труб под слоем флюса:

1 — правильная машина; 2 — кромкострогальный станок; 3 — ножницы; 4 — дробеметная машина; 5 — стан для загиба кромок листа; 6 — пресс предварительной формовки; 7 — пресс окончательной формовки; 8 — непрерывный стан для наружной сварки; 9 — проходной стан; 10 — стан для внутренней сварки; 11 — трубобрезный станок (обрезка торцов); 12 — станок для снятия валика шва; 13 — пресс (калибровка, раздача и испытание); 14 — трубобрезный станок (снятие фасок)

с прямым швом применяют специальные кромкострогальные станки. Для удаления припуска по ширине листа и получения кромок заданной формы установлено последовательно два одинаковых станка.

Лист сначала поступает на транспортер первого кромкострогального станка, оборудованного центрирующим устройством. На этом станке снимают припуск до 8 мм с каждой стороны листа. По выходе из первого кромкострогального станка лист поступает по транспортеру во второй кромкострогальный станок. Последний дополнительно снимает с каждой стороны листа 4—5 мм, придает ему точную ширину и скашивает под углом 25% продольные кромки под сварку (с нижней стороны листа) с притуплением 1—2 мм. Передний и задний конец листа обрезают на обычных ножницах гильотинного типа.

Для очистки от окалины кромок листа (шириной 50—70 мм снизу и сверху) применяют дробеструйные и дробеметные машины.

Производство труб дуговой сваркой с прямым швом. Трубы большого диаметра изготовляют из одного листа (диаметром 529—820 мм) и из двух листов (диаметром 920—1220 мм). Основные операции при производстве труб сваркой под слоем флюса следующие: формовка цилиндрической заготовки, сварка наружного шва, затем внутреннего.

При производстве труб из двух листов основные операции следующие: формовка полуцилиндров, сварка наружных швов (первого, затем второго), сварка внутренних швов (первого, затем второго).

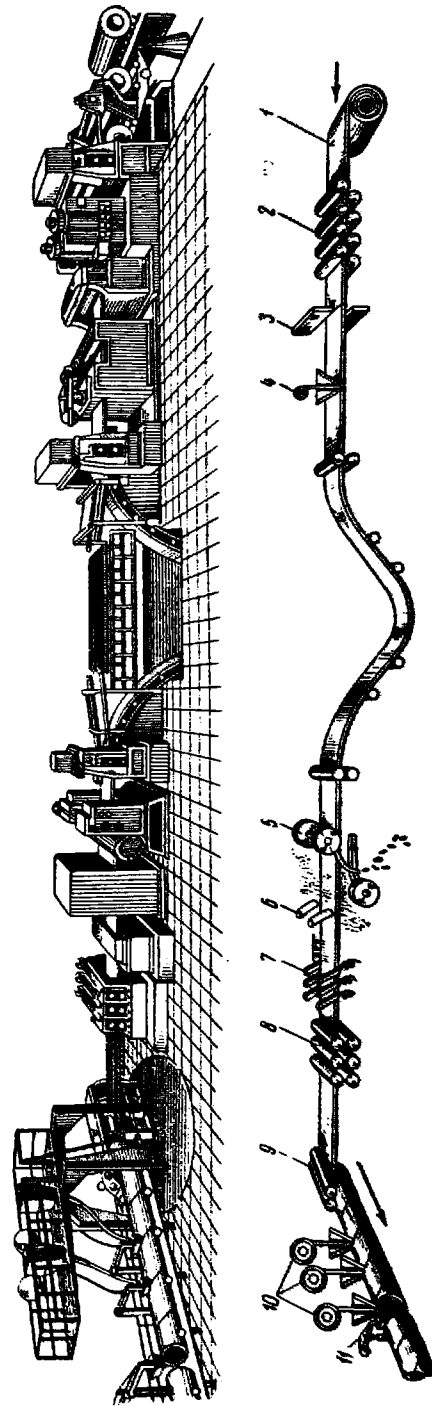
Производство труб из двух листов может быть организовано и по следующей схеме: сварка двух листов в «карту», формовка цилиндрической заготовки, сварка швов (наружного, затем внутреннего).

Сварные трубы подвергают различным отделочным операциям, из которых наибольший интерес представляет раздача труб внутренним гидравлическим давлением.

Листы формуют на листогибочных вальцах и прессах. При этом способе производства труб валковые формовочные станы не применяют, так как между кромками по краям заготовки получается зазор значительно больше, чем в ее средней части; это не позволяет получить по концам трубы качественный шов. Применение специальных обжимных прессов для концов труб не обеспечивает достаточно хорошего качества шва конечных участков трубы при сварке под слоем флюса.

Существенный недостаток формовки в вальцах заключается в том, что крайние участки получаются плоскими. Плоский участок тем длиннее, чем больше толщина стенки отличается от зазора между верхним и каждым из боковых валков. Для получения цилиндрической формы заготовки применяют предварительную формовку краев на валковом стане или на прессе, а также применяют вальцы специальной конструкции, обеспечивающие формовку без плоских участков.

Гидравлические прессы наиболее широко применяют для формовки заготовки при сварке



Р и с. 363. Схема расположения оборудования стана спиральной сварки:

1 — резательная машина; 2 — привальная машина; 3 — ножницы; 4 — спиральное устройство; 5 — дисковые ножницы; 6 — дробегазная машина; 7 — кромкообразующее устройство; 8 — подающая машина; 9 — формовочный стан; 10 — сварочный стан; 11 — стрелочное устройство

труб под слоем флюса. При формовке на прессах получается наиболее точное и однообразное по длине соприкосновение кромок сформованной заготовки.

Процесс формовки состоит из трех отдельных операций: 1) предварительной гибки кромок листа в валковом формовочном стане; 2) гибки листа на прессе в корытообразную форму; 3) окончательной гибки листа в цилиндрическую форму (рис. 364).

Стан для предварительной гибки кромок листа состоит из четырех клеток: одной задающей с цилиндрическими валками и трех гибочных с профилированными валками.

Лист с загнутыми кромками двухленточным транспортером подается к гидравлическому прессу усилием 18 Мн (1800 тс) для предвари-

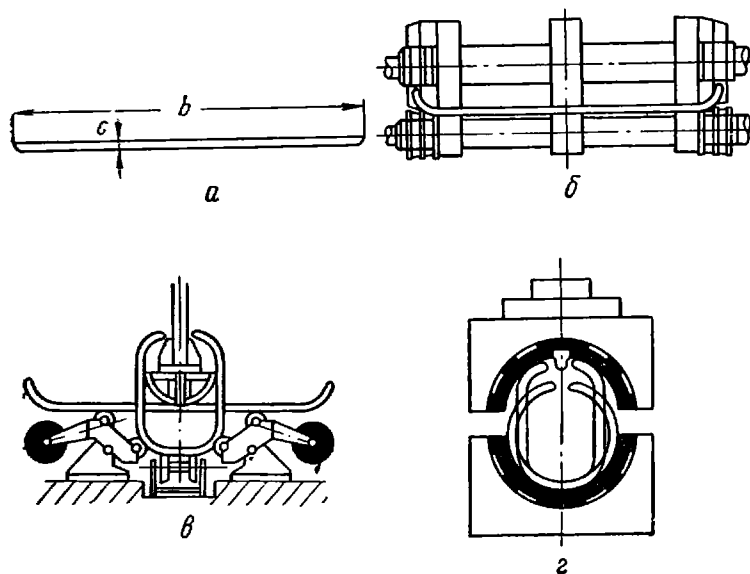


Рис. 364. Схема процесса формовки:

a — лист, обработанный по ширине на кромкострогальных станках; *б* — I операция — загибка кромок листа; *в* — II операция — предварительная формовка; *г* — III операция — окончательная формовка

тельной формовки. Листовая заготовка задается в пресс подающим устройством до упора.

Сформованная заготовка при подаче очередной заготовки по роликам пневматических подъемников выталкивается из прессы на рольганг, а очередная заготовка достигает упора. Направляющие наклонные ролики зажимают исходное положение.

На пресс окончательной формовки заготовки подают с прессы предварительной формовки с помощью приводного рольганга и заталкивающего механизма, служащего для окончательной досылки заготовки в штамп до упора. После этого осуществляется формовка за один ход прессы. В начале сжатия между половинами штампа происходит изгиб стенок заготовки, которые, прижимаясь к рабочей поверхности штампа, приобретают цилиндрическую форму.

Операция окончательной формовки заканчивается общим обжимом заготовки при напряжениях в металле трубы, превышающих предел текучести. После выдержки в нижнем положении подвижные траверсы со штампами поднимаются. Полученная трубная заготовка проталкивается по роликам следующей заготовкой.

Для устранения перекосов подвижных траверс и синхронного движения обоих прессов на верхних траверсах установлены четыре пары цилиндров (две пары действуют при ходе вверх и две при ходе вниз).

Прямолинейность щели между краями трубной заготовки обеспечивается шпонкой в верхней половине штампа, в которую в процессе формовки упираются кромки листа.

Сформованная заготовка передается на станы для наружной сварки труб (рис. 365). Стан осуществляет сварку наружным швом трубных заготовок, движущихся в непрерывном потоке. Он состоит из блока клетей, установленных на подъемном устройстве; подъемно-поворотных роликов; цепных заталкивателей и т. п.

Блок клетей представляет собой совокупность трех горизонтальных, двух вертикальных и одной сварочной клетей. Между валками клетей размещается оправка с гусеничным башмаком.

Конструкция клетей рассчитана на сварку труб шести диаметров. Перевалка валков производится клетями при помощи крана. Непрерывный сварочный стан с помощью вертикальных и горизонтальных валков производит сборку (сближение кромок) трубной заготовки перед сваркой.

После окончания наружной сварки к переднему и заднему концам трубы приваривают планки, которые предназначены для зажигания дуги и окончания процесса сварки. Затем трубы поступают на один из станов для внутренней сварки, который представляет собой эстакаду, по которой перемещается тележка со штангой, имеющей на конце сварочную головку. Тележка снабжена специальным механизмом подъема трубы с рольганга до уровня сварки.

Для поворота трубы швом вниз на тележке установлен механизм кантовки. Все операции подъема и кантовки трубы и перемещения тележки механизированы.

Сварка наружного и внутреннего швов осуществляется под слоем флюса двумя электродами, направленными в одну ванну. Качество сварки зависит от марки флюса и режима сварки. Марку флюса выбирают в зависимости от марки свариваемой стали. При выборе режима двусторонней сварки трубной заготовки необходимо соблюдать следующее:

1) провар наружного и внутреннего швов должен быть не менее $\frac{2}{3}$ толщины стенки трубы для каждого шва;

2) смещение вертикальных осей наружного и внутреннего швов не должно превышать 5 мм;

3) перекрытие наружного и внутреннего швов должно быть не менее 3 мм;

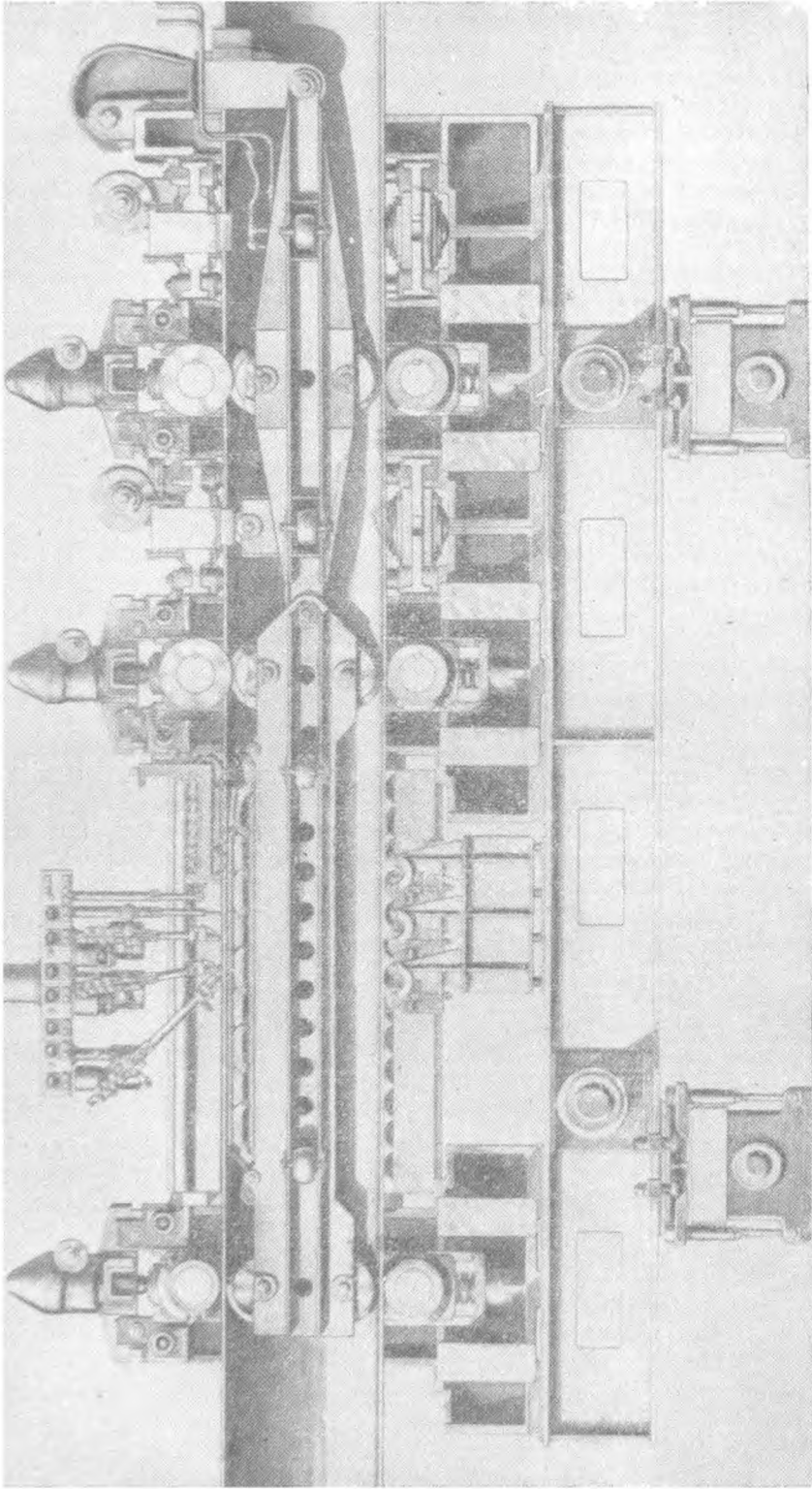
4) ширина шва должна находиться в пределах 24—33 мм;

5) высота усиления наружного шва должна быть в пределах 0,5—3 мм;

6) переход от валика усиления шва к основному металлу трубы должен быть плавным, без острых углов, подрезов и наплывов.

При наружной сварке питание обеих дуг осуществляется переменным током от сварочных трансформаторов. При сварке внутренних швов питание первой дуги осуществляется постоянным током от сварочных преобразователей. Питание второй дуги осуществляется переменным током от сварочных трансформаторов.

Основной отделочной операцией труб, характерной для процесса сварки под слоем флюса, является раздача их в прессе-расширителе (рис. 366).

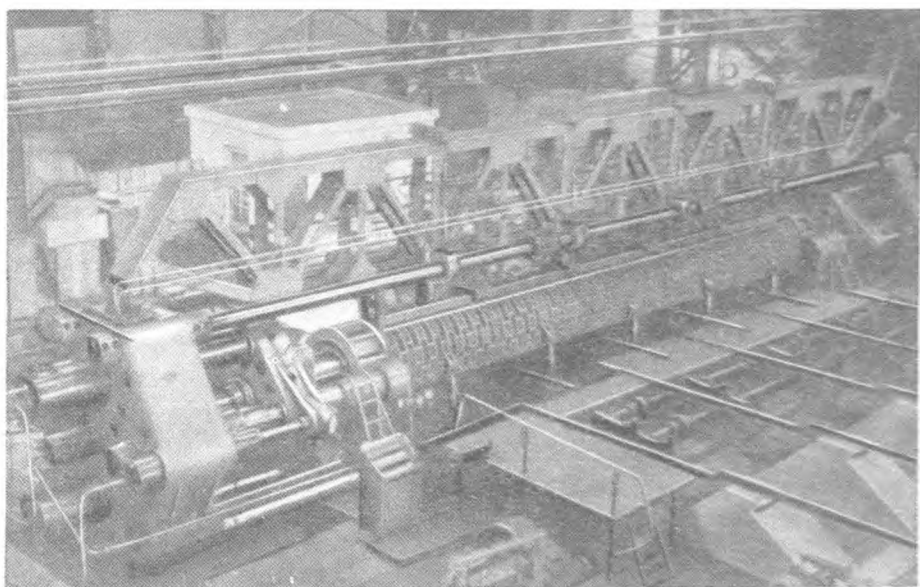


Р и с. 365. Непрерывный стан для наружной сварки труб

Пресс осуществляет калибровку, правку и упрочнение, раздачу трубы внутренним гидравлическим давлением и гидравлическое испытание трубы. Он полностью заменяет ранее применявшиеся прессы для калибровки концов труб и для испытания, осуществляя их операции более качественно. Кроме того, пресс осуществляет в отличие от калибровочных прессов калибровку трубы по всей ее длине с одновременным упрочнением и правкой, а также является наиболее надежной машиной по испытанию качества сварного шва.

На прессе трубы раздаются по наружному диаметру примерно на 1%, поэтому исходный наружный диаметр труб принимают соответственно меньше. Раскрывающиеся штампы прессы имеют размеры, соответствующие требуемому наружному диаметру труб.

Ширину листа при дуговой сварке труб под слоем флюса принимают равной длине нейтральной линии поперечного сечения трубы после



Р и с. 366. Пресс-расширитель

сварки с учетом припуска на обжатие трубы при окончательной формовке, который составляет 0,003—0,016 длины нейтральной линии.

Диаметр трубы после сварки обычно меньше диаметра готовой трубы на величину раздачи трубы в калибровочном гидропрессе.

Дальнейший расчет калибровки осуществляется против хода технологического процесса производства труб.

Диаметр матриц калибровочного гидропресса ориентировочно принимают на 1—2 мм больше диаметра готовой трубы с учетом уменьшения диаметра трубы после раздачи ее под давлением за счет упругой деформации.

Стан наружной сварки труб состоит из двух вертикальных, трех горизонтальных и одной сварочной клетки. Радиус вала третьей горизонтальной клетки равен радиусу трубы после сварки. Размеры валков остальных клеток принимают конструктивно.

Для определения диаметра штампа прессы окончательной формовки

труб обычно принимают зазор между кромками листа равным 25 мм, а обжатие на прессе 0,3—1,6%. Тогда диаметр штампа

$$D_{ш.ок} = \frac{B_n + a}{\pi} = \frac{(0,997 \div 0,984 B_n) + a}{\pi} + s_r,$$

где a — зазор между кромками;

s_r — толщина стенки.

Все остальные размеры штампов определяют конструктивно.

При расчете калибровки прессы предварительной формовки обычно принимают радиус трубы после прессы предварительной формовки на 10—20 мм меньше радиуса штампа окончательной формовки. Это делается для того, чтобы трубная заготовка после прессы предварительной формовки могла легко войти в штамп прессы окончательной формовки.

Поскольку после выхода заготовки из прессы происходит некоторое ее распухивание, средний радиус трубы до съема ее со штампа определяют по формуле

$$R_{ср.тр} = \frac{0,971s_r}{1 + 0,005r}.$$

где r — относительный средний радиус трубы после съема ее со штампа предварительной формовки.

Радиус штампа определяют, прибавляя к среднему радиусу трубы до съема ее со штампа половину толщины стенки трубы.

По приведенным выше формулам радиусы штампов прессы предварительной формовки для стенок всех толщин получаются разными. С целью уменьшения парка инструмента для трубы каждого диаметра следует принимать только один штамп со средним радиусом на весь диапазон толщин стенок. Кроме того, для уменьшения распухивания трубы после съема ее со штампа прессы предварительной формовки вводят прямой участок в нижней части профиля. Все остальные размеры штампов принимают конструктивно.

Кромкозагибочный стан имеет много общего с непрерывным формовочным станом, поэтому расчет калибровки этого стана ведут по методике расчета непрерывных формовочных станом.

Обычно на кромкозагибочном стане используют калибровку с плоским центральным участком. Радиус калибра нижнего валка принимают равным радиусу готовой трубы. Радиус верхнего валка определяют для максимальной толщины стенки трубы.

Производство труб дуговой сваркой со спиральным швом

Основное преимущество этого метода сварки заключается в возможности применять относительно узкие полосы (листы) для производства труб большого диаметра, что значительно сокращает их себестоимость. Кроме того, спиральный шов повышает механические свойства трубы; это позволяет применять относительно меньшую толщину стенки при равных эксплуатационных условиях.

Наиболее сложной частью агрегата для сварки труб со спиральным швом является формовочно-сварочный стан.

Формовка полосы в спиральную заготовку-трубу выполняется двумя методами (рис. 367 и 368): 1) на стане с односторонней сваркой и верхней задачей полосы — в формовочной машине валкового типа; 2) на стане с двухсторонней сваркой и нижней задачей полосы — в формовочной машине втулочного типа.

Подаваемая полоса изгибается и навивается по спирали. Угол спирали

$$\alpha = \arccos \frac{B_s}{\pi D_T},$$

где B_s — ширина полосы;

D_T — наружный диаметр трубы.

Формовочный стан, сварочный стан, устройство для резки труб на ходу и приемный рольганг расположены под углом к подающей маши-

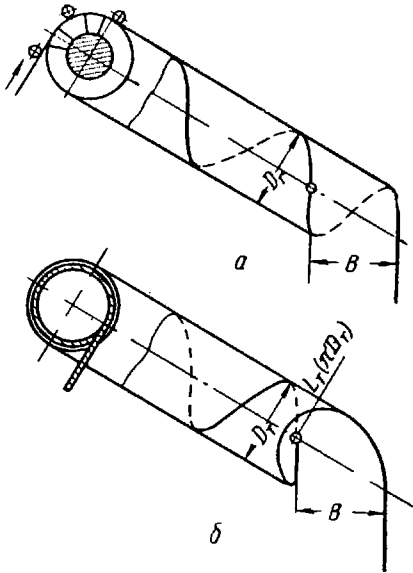


Рис. 367. Методы формовки полосы в заготовку с задачей полосы:
а — верхней; б — нижней

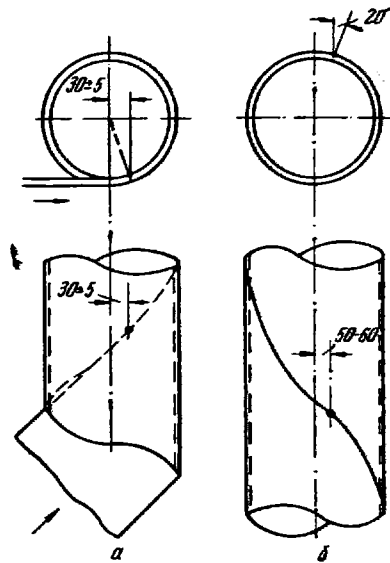


Рис. 368. Установка электродов при сварке внутреннего (а) и наружного (б) швов

не и могут передвигаться по рельсам, изменяя в случае необходимости угол спирали.

Сформованная в валковом стане труба сваривается в сварочном стане двумя последовательно установленными электродами. Первая дуга питается постоянным током, а вторая — переменным.

Заготовка, сформованная в машине втулочного типа, сваривается внутренним и наружным швом (двумя головками). Трубы с двусторонним швом выше по качеству, чем трубы с односторонним швом.

Бесконечную трубу, выходящую из стана, разрезают на ходу специальным устройством. Отрезанная труба поступает на тележку, которая, передвигаясь по рельсам, подает ее на приемный рольганг. Затем труба поступает на отделочные операции — обрезку, калибровку концов и гидравлическое испытание.

5. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ ИНДУКЦИОННОЙ СВАРКОЙ

Индукционную сварку труб, получившую распространение только в последние годы, применяют для производства водогазопроводных труб диаметром 21—165 мм, а также для производства труб, используемых для строительства магистральных трубопроводов газа и нефти, диаметром до 426 мм.

Принципиальная схема индукционной сварки труб приведена на рис. 369. Высокочастотный индуктор 1 устанавливается над стыком кромок предварительно сформованной трубной заготовки 3. Переменное электромагнитное поле, возникающее при прохождении через индуктор электрического тока высокой частоты, возбуждает вихревые токи в кромках заготовки. Эти токи на отрезке заготовки, равном примерно длине индуктора, пересекают кромки в направлении, параллельном расположению стыка кромок, разогревая их до температуры сварки. Нагретые кромки с помощью сварочных валков 2 сближаются под давлением P , достаточным для того, чтобы произвести сварку и выдавить окислы металла в грат, который затем механически удаляют. Нагрев кромок происходит постепенно по мере их прохождения под индуктором. Применение тока высокой частоты обеспечивает равномерный прогрев кромок по всей длине очага нагрева. Поэтому шов при индукционной сварке не имеет ярко выраженной строчечной структуры.

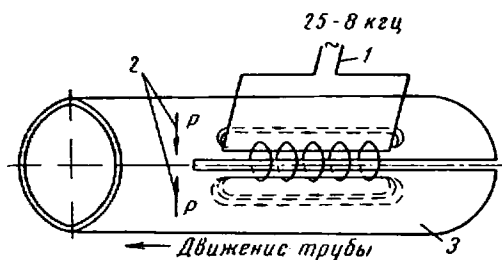


Рис. 369. Принципиальная схема индукционной сварки труб

как при контактной сварке сопротивлением токами промышленной частоты.

Рабочую частоту тока выбирают в соответствии с материалом штрипса и его толщиной так, чтобы обеспечить проникновение тока по всему сечению толщины стенки трубы. Толщина слоя, по которому идет ток, или эффективная глубина проникновения тока δ_t , зависит от частоты тока и свойств нагреваемого материала:

$$\delta_t = 5000 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ см,}$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{сек}$;

μ — магнитная проницаемость стали, гн/м ;

f — частота электрического тока, гц .

Схема технологического процесса производства труб индукционной сваркой аналогична рассмотренной выше схеме производства труб контактной электросваркой сопротивлением.

Обычно для индукционной сварки труб используют установки следующих типоразмеров: 10—60, 20—102, 73—219 или 1/2—2", 2—4", 1—3", 3—8" и т. д.

Часто в линии станов для индукционной сварки труб устанавливают редуцирующие станы, что позволяет значительно расширить диапазон выпускаемых труб и повысить производительность установки.

При индукционной сварке благодаря бесконтактному способу нагрева качество сварки не зависит от физического состояния кромок трубной заготовки. Поэтому горячекатаный штрипс, применяемый в качестве исходной заготовки, не требует предварительной очистки от окалины и специальной обработки торцов кромок.

Кроме того, бесконтактный подвод тока имеет и другое преимущество перед контактным — не происходит изнашивания токоподводя-

щих устройств. Поэтому в линию подготовки штрипса для стана индукционной сварки труб обычно не входят дисковые ножницы и установки для очистки кромок от окалины.

Исходной заготовкой для индукционной сварки труб является горячекатаный штрипс в рулонах из мартеновской или конвертерной стали.

Если в составе установки отсутствует редуцирующий стан, ширину штрипса выбирают с учетом припуска на грат (при сварке трубы образуется довольно большой наружный и несколько меньший внутренний грат). Величина этого припуска обычно находится в пределах толщины полосы. Допускаемые отклонения, при которых гарантируется удовлетворительное качество сварного шва, по ширине штрипса равны $+3,0$ мм и по толщине $\pm 1,5\%$.

Основной особенностью процесса формовки при индукционной сварке труб является необходимость получения цилиндрической заго-



Рис. 370. Общий вид установки для индукционной сварки труб диаметром до 220 мм

товки. Это достигается применением специальной калибровки валков формовочного стана.

Некоторые формовочные станы имеют формовочную воронку. Стан состоит из двух горизонтальных клетей, в которых осуществляется гибка штрипса на 180° . За ними установлена формующая воронка, в которой лента сворачивается в цилиндрическую форму. После воронки установлены две клетки, имеющие горизонтальные валки с разрезной шайбой.

Общий вид установки для индукционной сварки труб диаметром до 220 мм представлен на рис. 370. Сварочный стан 2 располагают непосредственно за формовочным станом 1. На общей станине установлены последовательно один или два индуктора (сварочных поста) для разогрева кромок. Число индукторов выбирают в зависимости от необходимой скорости сварки. Перед каждым индуктором установлены две пары неприводных горизонтальных валков, предназначенных для точной ориентации кромок заготовки под индуктором.

После второго индуктора расположена пара неприводных горизонтальных (сварочных) валков, создающих необходимое сварочное давление. Диаметр этих валков несколько больше диаметров валков двух предыдущих клетей. Далее расположено устройство для снятия наружного грата, состоящее из двух резовых головок, работающих попеременно. Следующая пара неприводных горизонтальных валков предназначена для поддержания давления в кромках после сварки.

Ввиду того, что зазор между индуктором и кромками нагреваемой заготовки должен быть постоянным, необходимо исключить провисание заготовки в зоне разогрева. С этой целью в состав сварочного стана включена «тяговая» клеть с парой приводных вертикальных валков (аналогичная по конструкции клетям формовочного стана). Скорость прокатки в этой клетке несколько выше, чем в последней клетке формо-

вочного стана. Это создает значительное натяжение штрипса (2,5—3%), исключая возможность его провисания. За тяговой клетью расположено охлаждающее устройство.

Индуктор или сварочная головка состоит из корпуса, набранного из трансформаторной стали П-образной формы. Внутри корпуса находится индуктор с магнитопроводом, представляющий собой профильную медную трубку с водяным охлаждением.

Индукторы имеют длину 350—850 мм при ширине индуктирующего провода 10—14 мм. Длина индуктора связывается с мощностью сварочного узла и составляет примерно 0,6—0,8 квт/мм.

Наибольшее распространение получили две схемы питания индуктора: 1) с конденсаторами, включенными после понижающего трансформатора; 2) с конденсаторами, включенными до понижающего трансформатора.

Преимущество первой схемы состоит в том, что понижающий трансформатор находится вне колебательного контура и рассчитывается на значительно меньшую кажущуюся мощность. Недостатками этой схемы является то, что она требует применения низковольтных конденсаторов (150—300 в) и в случаях значительного изменения напряжения на индукторе реактивная мощность конденсаторной батареи используется не полностью. Эта схема связана с передачей тока колебательного контура на сравнительно большие расстояния (2—2,5 м), что требует применения токопроводов больших сечений.

После сварки бесконечная труба охлаждается в охладительном устройстве 3, а затем калибруется в калибровочном стане 4.

Рабочие клетки калибровочных станов по конструкции аналогичны клетям формовочных станов.

В отрезном станке использован индукционный нагрев узкой кольцевой зоны трубы с последующим разрывом. Кольцевая часть трубы, охваченная индуктором, разогревается до 1100—1200 °С и усилием пневматических захватов разрывается в осевом направлении.

Независимо от скорости движения трубы, ее диаметра и толщины стенки продолжительность резки остается постоянной, так как мощность, затрачиваемая на нагрев кольцевой части трубы, может быть соответственно отрегулирована. Подбором режима индукционного нагрева и прилагаемого усилия можно получить ровные торцы разрываемых труб.

Главным преимуществом такого способа резки является отсутствие режущего инструмента. Кроме того, механическая часть станка очень простая и надежная в эксплуатации.

При изменении диаметра разрезаемых труб достаточно заменить индукционную катушку и четыре зажима. При этом не требуется специальная механическая регулировка и настройка станка.

Обычно частота тока отрезного устройства та же, что и на индукторах сварочного стана.

К недостаткам этого типа отрезных устройств следует отнести некоторую утяжку стенки трубы в месте разрыва.

6. РАДИОЧАСТОТНАЯ СВАРКА

В настоящее время электросваркой токами (высокой) радиочастоты главным образом сваривают сравнительно тонкостенные трубы диаметром 12—220 мм с толщиной стенки 0,25—4 мм. Однако в практике известно успешное применение этого способа для сварки труб средних и больших диаметров (до 900 мм) с толщиной стенки до 16 мм.

Основные преимущества этого способа сварки труб следующие:

1) возможность значительного увеличения скорости сварки труб из углеродистых сталей при одновременном повышении качества сварного шва;

2) возможность сварки труб из легированных и высоколегированных сталей, в том числе и нержавеющей сталей, цветных и редких металлов и сплавов с высокой скоростью (до 150 м/мин и более) без специальной защиты зоны сварки от окружающей среды;

3) возможность получения труб с качественным швом из горячекатаной нетравленной стали;

4) значительное уменьшение удельного расхода электроэнергии на 1 т готовых труб.

Одним из важных преимуществ этого процесса является также возможность применения одного и того же сварочного оборудования при сварке различных металлов. При этом изменяются лишь потребляемая мощность и скорость сварки. Скорость сварки определяется в основном толщиной стенки свариваемых труб и незначительно зависит от их диаметра.

Установлено, что на стабильность процесса сварки и качество сварного соединения значительное влияние оказывает изменение размеров (толщины и ширины) ленты.

Допуски по ширине и толщине на ленту, предусмотренные ГОСТом для контактной сварки сопротивлением, не удовлетворяют требованиям радиочастотной сварки. Колебания по толщине 0,1—0,2 мм вызывают неравномерность нагрева кромок. Отклонения от заданной ширины на 0,5—0,6 мм создают изменение сварочного давления.

Для получения удовлетворительных результатов по сварке труб с толщиной стенки 1,0—2,5 мм допуски на ленту не должны выходить за пределы по ширине 0,2—0,3 мм, по толщине 0,07—0,12 мм.

Способ сварки труб токами радиочастоты основан на использовании эффекта близости, который проявляется при протекании токов частотой от нескольких десятков до сотен и тысяч килогерц (радиочастот).

Если на некотором расстоянии от проводника, по которому протекает переменный ток поместить металлическую деталь, то в результате воздействия переменного магнитного поля, возникающего вокруг проводника, в ней возбуждаются вихревые токи.

Линии токов в близлежащих участках проводника и детали в любой момент времени противоположны по направлению и как бы взаимно притягиваются, создавая максимальную концентрацию электромагнитного поля. Это явление называют эффектом близости.

В практике получают распространение два способа передачи тока высокой частоты от источника его получения к свариваемой трубе: контактный и индукционный. В обоих случаях заготовка формируется в трубу в валковых станах, после чего зазор между кромками закрывается с помощью обжимных валков. При закрывании зазора еще не заваренного шва сходящиеся кромки образуют острый угол (рис. 371), в вершине которого находится точка сварки. Когда ток высокой частоты (350—450 тыс. гц) подводится к металлу с помощью пары контактов, расположенных на небольшом расстоянии от обжимных роликов, образуется два возможных пути тока: один — от первого контакта ко второму по контуру трубы, а другой от первого контакта вдоль кромки трубы до точки сварки и вдоль противоположной кромки ко второму контакту.

Высокочастотная сварка сопротивлением основана на том, что ток высокой частоты протекает через трубы по второму пути, параллель-

ному кромкам трубной заготовки, разогревая их до температуры сварки за счет преобразования электрической энергии в тепловую. Кромки, приобретая температуру сварки, сдавливаются обжимными роликами и соединяются (свариваются) друг с другом в пластическом состоянии.

Естественный путь тока — путь по линии наименьшего электрического сопротивления. В данном случае путем наименьшего сопротивления (индуктивного) для труб диаметром более 20—25 мм является путь

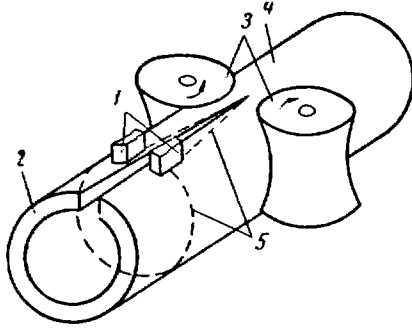


Рис. 371. Схема высокочастотной сварки с контактным подводом тока:

1 — контакты; 2 — заготовка; 3 — валки; 4 — место сварки; 5 — возможные пути тока

вдоль кромок трубной заготовки. С уменьшением диаметра трубы путь тока по периметру трубы может оказаться с меньшим сопротивлением, чем путь вдоль кромок. В этом случае для обеспечения прохождения тока вдоль кромок свариваемой заготовки внутрь заготовки в зоне сварки вставляют магнитный сердечник (ферритный стержень), что увеличивает индуктивное сопротивление тока по периметру трубы.

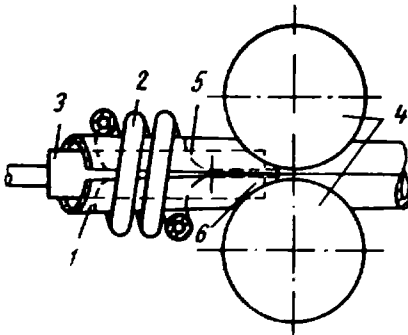


Рис. 372. Схема высокочастотной сварки с индукционным подводом тока:

1 — заготовка; 2 — индуктор; 3 — магнитный сердечник; 4 — валки; 5 — возможный путь тока; 6 — зона сварки

При индукционном способе передачи энергии свариваемую заготовку помещают в цилиндрический индуктор (рис. 372). При этом ток, индуцируемый в заготовке, проходит по ее периметру, достигает максимальной концентрации на свариваемых кромках и замыкается в точке их схождения.

Для усиления этого эффекта внутрь трубы также вводят магнитный сердечник, набираемый обычно из ферритных колец. Глубину проникновения тока в сталь при частотах 70 и 450 кГц рассчитывают по упрощенной формуле:

$$\Delta = \frac{k}{\sqrt{f}} \text{ мм,}$$

где k — коэффициент, зависящий от электрических и магнитных свойств металла;

f — частота тока, гц.

Выбор частоты тока для сварки труб определяется не только удельным расходом энергии, но и рядом технологических факторов, зависящих от толщины стенки труб, качества подготовки кромок и т. д.

Передача энергии к кромкам свариваемой заготовки через скользящие контакты является менее энергоемким и более эффективным способом по сравнению с индукционным. При контактном способе передачи энергии несколько повышаются скорости сварки по сравнению с индукционным способом при одинаковой мощности генераторов. Однако давление контактов на сформованную заготовку требует тщательной регулировки во избежание отслаивания металла от кромок полосы и повышенного износа контактов.

При индукционном способе отсутствуют быстро изнашивающиеся контакты, допускается большее отклонение размеров ленты от расчетных, отсутствует влияние вибрации трубы на качество сварки и др. Этот способ эффективно применяют также при сварке труб из титана и некоторых сплавов с титаном.

При сварке труб токами высокой частоты возможны три варианта разогрева кромок заготовки:

1) ниже температуры плавления металла с последующим обжатием в опорных валках (так же, как при печной сварке или контактной сварке сопротивлением токами обычной частоты);

2) с оплавлением в точке схождения кромок с последующим обжатием в опорных валках;

3) с оплавлением до точки схождения кромок.

Затраты электрической энергии в каждом из этих процессов различны: наименьшие в первом случае, несколько большие во втором и наибольшие в последнем случае.

Выбор того или иного варианта ведения сварочного процесса зависит от свойств металла трубы и качества поверхности заготовки. Так, при наличии на поверхности металла плотных тугоплавких окислов (сталь типа X18H10T) для их удаления из зоны шва наиболее эффективным оказался третий способ сварки. В дальнейшем, при схождении кромок, происходит интенсивный выброс оплавленного металла, сопровождающийся разрушением окислов и выбросом их из зоны шва.

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются при разогреве кромок ниже температуры оплавления (первый вариант) и в расплавленном состоянии. В первом случае давление на свариваемые кромки должно быть большим, чем в случае сварки с расплавлением, что ведет к образованию ровного, но значительного внутреннего грата (высота до 0,8—1 мм при толщине стенки 1,5—2 мм). Поэтому целесообразнее вести процесс с расплавлением в точке схождения кромок. Давление, создаваемое опорными валками, в этом случае значительно ниже, а высота грата при толщине стенки 1,5—2 мм не превышает 0,25—0,3 мм.

Соотношение высот грата на наружной и внутренней поверхностях трубы может регулироваться расположением скошенных кромок. Если скошенные кромки сходятся вверх, то они нагреваются до более высокой температуры по сравнению с нижними расходящимися краями, и металл выжимается вверх; наоборот, металл будет выжиматься вниз (внутри трубы), если «корень» шва находится внизу.

7. ДУГОВАЯ СВАРКА ТРУБ С ЗАЩИТОЙ ДУГИ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

Дуговую сварку с защитой дуги инертным газом (гелием или аргонем) применяют для производства тонкостенных труб с прямым швом диаметром 6—426 мм и толщиной стенки 0,2—5 мм из некоторых высоко-

колегированных сталей (нержавеющих и жаропрочных), никеля и его сплавов (монеля, инконеля и др.), а также из цветных металлов (алюминия, магния и др.) и их сплавов. Этим методом изготавливают также трубы со спиральным швом диаметром 13—152 мм и толщиной стенки 0,4—4,0 мм.

Скорость сварки труб в зависимости от материала, размера свариваемых труб и применяемой защитной атмосферы составляет 0,5—4 м/мин. Существенным преимуществом этого метода является возможность сварки нержавеющей сталей, содержащих титан и ниобий. Недостатком способа являются сравнительно низкие скорости сварки.

Источником тепла при дуговой сварке в инертном газе является дуга, возбуждаемая между электродом и основным металлом. Электрод может быть металлическим плавким и неплавким. В первом случае расплавленный металл электрода расходуется на образование шва, во втором — материал электрода не участвует в образовании шва и последний получается в результате расплавления основного металла и в необходимых случаях за счет дополнительно вводимого в зону сварки присадочного металла.

Сварку в инертном газе с плавящимся электродом вследствие недостаточной изученности процесса еще не применяют, несмотря на ряд существенных преимуществ — скорость сварки в 3—4 раза больше, а удельный расход газа в 1,5—2 раза меньше, чем при сварке с неплавящимся электродом.

Для защиты дуги применяют гелий и аргон. Гелий — одноатомный инертный газ. Его основные физические свойства: высокая теплопроводность (почти в шесть раз больше теплопроводности воздуха), высокая удельная теплоемкость (почти в шесть раз больше теплоемкости воздуха) и малая плотность (почти в восемь раз меньше плотности воздуха и в десять раз меньше плотности аргона).

Высокая теплопроводность и теплоемкость гелия способствуют созданию таких условий в зоне нагрева металла, при которых повышаются механические свойства шва и улучшаются условия работы вольфрамового электрода. Существенным недостатком применения гелия является его повышенный расход вследствие низкой плотности.

Аргон также инертный одноатомный газ. Теплопроводность и теплоемкость аргона значительно ниже, чем гелия, а плотность значительно выше. Теплопроводность аргона почти равна теплопроводности воздуха, а теплоемкость почти в два раза меньше теплоемкости воздуха. Поэтому при использовании аргона зона термического влияния значительно больше, чем в случае применения гелия. Условия службы электрода при работе с аргоном ухудшаются, что выражается в понижении допустимой силы тока при данном диаметре электрода; при этом удельный расход электродов повышается. Низкая стоимость и меньший расход аргона по сравнению с расходом гелия делают применение аргона весьма экономичным, несмотря на указанные существенные недостатки.

Хорошие результаты получаются в случае применения очищенного аргона (98—99%), однако на практике чаще применяют технический аргон (80—87%).

При сварке труб из нержавеющей и жаропрочных сталей, а также из различных железоникелевых сплавов (инконель, монель и т. п.) допускается применение технического аргона. Недопустимо наличие водорода в составе атмосферы у горячей дуги, так как это может вызвать насыщение металла шва водородом.

Рабочее давление защитного газа составляет 15—100 кн/м² (0,15—1,0 ат).

Сварку с защитой дуги инертными газами можно вести постоянным током прямой полярности, постоянным током обратной полярности и переменным током. Постоянный ток обратной полярности (к электроду подключают положительный полюс) применяют при производстве труб из алюминия, магния и их сплавов. При производстве труб из нержавеющей стали и хромоникелевых сплавов можно использовать переменный и постоянный ток прямой полярности.

Вольфрам применяют при дуговой сварке в среде инертных газов в качестве материала для неплавящегося электрода.

При сварке труб с защитой дуги инертным газом кромки сформованной трубной заготовки оплавляют и затем сваривают под давлением в зоне электрической дуги, горящей между кромками и электродом.

Шов трубы 1 (рис. 373) сваривают вольфрамовым электродом 2, обдуваемым инертным газом (аргоном или гелием), непрерывно вытекающим через керамическое сопло 3 специальной сварочной горелки. Электрическая дуга 4 горит между кромками трубы и концом неплавящегося вольфрамового электрода. Кромки трубной заготовки, к которым прикладывается давление шовосжимающих роликов 5, оплавляются и свариваются.

Инертный газ защищает металл и электрод от окисления, ограничивает зону распространения тепла, концентрируя его около шва, способствуя тем самым лучшему провару соединения.

Дуговая сварка труб с защитой дуги инертным газом осуществляется только в стык (с прямыми и спиральными швами). Боковое давление, которое оказывают сварочные ролики, выдавливает значительную часть расплавленного металла в грат. Для уменьшения внутреннего графа внутрь трубы подают защитный газ под давлением, который создает газовый подпор жидкого металла внутри трубы. Подачу газа осуществляют через специальное сопло.

Химический состав металла шва в процессе сварки обычно не изменяется.

Основные параметры при выборе режима сварки с защитой дуги инертным газом следующие: напряжение, сила тока, длина дуги, давление и расход защитного газа, диаметр электрода и скорость сварки.

Сварка труб из хромоникелевых нержавеющей и жаропрочных сталей, а также из никелевых сплавов осуществляется постоянным током прямой полярности или переменным током повышенной частоты (180—360 гц).

Длина дуги при сварке переменным током несколько больше, чем при сварке постоянным током, и составляет 8—10 мм. Напряжение дуги при этом обычно 20—25 в (10—12 в при сварке постоянным током).

Независимо от рода применяемого тока ось вольфрамового электрода при сварке нержавеющей сталей должна находиться под углом 75—85° к оси трубы. Диаметр электродов выбирают в соответствии с силой сварочного тока.

На некоторых установках для повышения скоростей при сварке труб из нержавеющей сталей применяют двуслойную защиту дуги. Внутренний слой гелия интенсифицирует процесс нагрева, а наружный слой аргона защищает металл ванны от окисления.

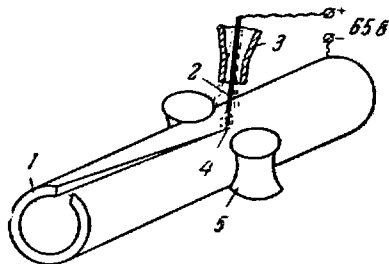


Рис. 373. Схема дуговой электросварки труб с защитой дуги инертным газом

Состав оборудования станов аргоно-дуговой сварки, за исключением узла сварки, не отличается от состава оборудования, обычно применяемого при электросварке труб сопротивлением. Кроме того, в станах аргоно-дуговой сварки для тщательной очистки ленты от следов жира перед сварочной головкой устанавливают специальные протирающие устройства (щетki, смачиваемые обезжиривающим раствором).

Очистка кромок ленты от следов смазки, эмульсии и грязи имеет очень большое значение, так как сварка необезжиренной ленты приводит к науглероживанию металла шва. Такой металл обладает повышенной склонностью к межкристаллитной коррозии.

В настоящее время проведен ряд работ по совершенствованию технологии аргоно-дуговой сварки. Разработаны установки для обезжиривания ленты с помощью ультразвука в потоке стана, внедрена зачистка наружного грата в линии стана, освоена сварка труб с поддувом, позволяющая получать трубы с минимальным внутренним графом.

ОСНОВЫ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ**1. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ**

Поперечно-винтовая (косая) прокатка является одной из основных операций при производстве бесшовных труб. Косую прокатку применяют для получения полых заготовок (гильз), для готовых труб (в трех-валковых раскатных станах), некоторых специальных изделий (шаров, периодических профилей и т. п.). В зависимости от конструкции и назначения станы поперечно-винтовой прокатки имеют различное число, форму и расположение рабочих валков.

Одна из основных особенностей процесса поперечно-винтовой (так же как и поперечной) прокатки — разрушение сердцевины сплошной заготовки и образование осевой полости [I. 7; VI. 7, 8, 18].

При поперечно-винтовой прокатке круглая заготовка нагружается двумя усилиями от валков. Установлено, что при упругих деформациях в центре заготовки в направлении сжимающих внешних усилий действуют сжимающие напряжения, а в перпендикулярном — растягивающие. Таким образом, в области упругих деформаций под действием внешних сжимающих сил в центре заготовки возникает разноименная схема напряженного состояния со значительными растягивающими напряжениями. С увеличением поперечных усилий возникают сначала две не связанные одна с другой области пластической деформации (рис. 374, а). С увеличением усилия (обжатия) область пластической деформации распространяется на большую глубину и достигает центра заготовки (рис. 374, б). При дальнейшем увеличении усилия области пластической деформации соединяются, образуя непрерывную область (рис. 374, в). Разрушение сердцевины заготовки вызвано дополнительными напряжениями, возникающими в результате силового взаимодействия между зонами интенсивной и затрудненной пластической деформации. В области интенсивной пластической деформации действуют объемные напряжения одного знака (сжимающие), а в области затрудненной пластической деформации — объемная разноименная схема напряжений с двумя растягивающими, максимальное значение которых соответствует центральным слоям заготовки. Вращение заготовки приводит к тому, что эти напряжения относительно постоянного направления в металле становятся знакопеременными. Это и является причиной образования центральных разрушений металла при поперечно-винтовой прокатке без оправки. Максимальное растягивающее напряжение, разрушающее сердцевину заготовки, направлено перпендикулярно к линии действия деформирующих сил.

Поперечно-винтовую прокатку с оправкой целесообразно вести, не разрушая металл перед носком оправки, иначе качество внутренней поверхности гильзы значительно снижается вследствие образования плен и трещин.

При прокатке на оправке характер деформации и напряженное состояние существенно изменяются (рис. 375). Вблизи приложения усилий со стороны валков и оправки возникают разобщенные зоны пластической деформации сжатия; на перпендикулярном диаметре на внутренней поверхности возникают зоны пластического сжатия, а на на-

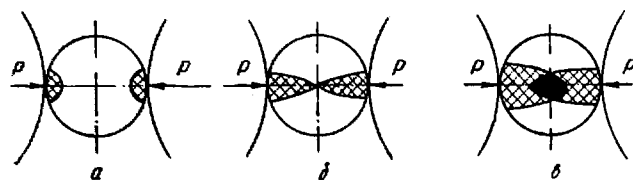


Рис. 374. Распределение зон пластической деформации при поперечно-винтовой прокатке сплошной заготовки (зона интенсивной деформации заштрихована; зона затрудненной деформации зачернена):

a—a — стадии распределения пластической деформации по мере увеличения действующего усилия

ружной поверхности — зоны пластического растяжения. Вращение заготовки приводит к тому, что участки пластической деформации взаимно меняются местами и толщина стенки гильзы уменьшается. Наличие зо-

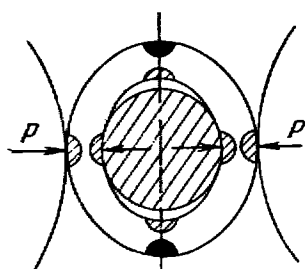


Рис. 375. Распределение зон пластической деформации при поперечно-винтовой прокатке заготовки (зона пластического сжатия заштрихована; зона пластического растяжения зачернена)

ны пластического растяжения на наружной поверхности может вызвать появление на ней различных пороков (рванин, плен). Для уменьшения зоны пластического растяжения на наружной поверхности применяют различные устройства (направляющие валки, линейки), ограничивающие деформации в направлении, перпендикулярном действующим силам

Валки станов поперечно-винтовой прокатки состоят из двух или нескольких усеченных конусов с промежуточными цилиндрическими участками. Валки расположены под некоторым углом один к другому и вращаются в одном направлении. Окружная скорость любой точки поверхности валка

$$v = \frac{\pi D n}{60},$$

где D — диаметр валка в рассматриваемом сечении;

n — скорость вращения валка, *об/мин*.

В точке соприкосновения с валком металл имеет скорость

$$v_m = \eta v,$$

где η — коэффициент скольжения (коэффициент скорости).

Если $\eta > 1$, то скорость металла больше скорости валка, что соответствует опережению; если $\eta < 1$, то скорость металла меньше скорости валка, что соответствует скольжению.

Вектор скорости v валка можно разложить по направлению осевого перемещения заготовки и по направлению ее вращения (рис. 376, *a*):

$$v_o = v \sin \varphi,$$

$$v_r = v \cos \varphi,$$

где φ — угол наклона валков в вертикальной плоскости (угол подачи).

Составляющие векторы скорости металла

$$v_{o.м} = \eta_o v_o = \eta_o v \sin \varphi, \tag{XIX.1}$$

$$v_{т.м} = \eta_{т} v_{т} = \eta_{т} v \cos \varphi, \tag{XIX.2}$$

где η_o — коэффициент осевого скольжения;
 $\eta_{т}$ — коэффициент тангенциального скольжения.

Направление скорости металла зависит от соотношения коэффициентов осевого и тангенциального скольжения. Если эти коэффициенты равны (рис. 376, б), то направление скорости металла совпадает с на-

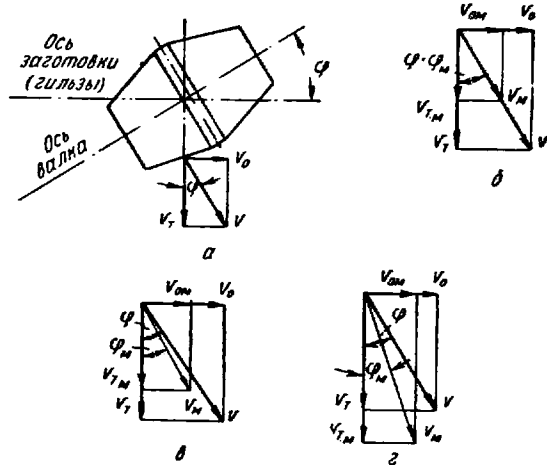


Рис. 376. Схемы разложения вектора окружной скорости вала (а) и соотношения между составляющими скоростей металла (б, в, г) соответственно при $\eta_o = \eta_{т} < 1$; $\eta_{т} \neq \eta_o$; $\eta_o < \eta_{т} < 1$ и $\eta_o \neq \eta_{т}$. $\eta_o > 1$, $\eta_{т} > 1$

правлением окружной скорости вала. Если значения этих коэффициентов различны, то и направление скорости металла отлично от направления окружной скорости вала.

Абсолютная скорость металла может быть больше или меньше абсолютной окружной скорости вала в зависимости от коэффициента η , который определяют по формуле

$$\eta = \sqrt{\eta_o^2 \sin^2 \varphi + \eta_{т}^2 \cos^2 \varphi}.$$

Полученная зависимость имеет общий характер: при поперечной прокатке $\varphi = 0$ и $\eta = \eta_{т}$; при продольной прокатке $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\eta = \eta_o$. Учитывая, что при поперечно-винтовой прокатке угол φ обычно мал, можно для приближенных расчетов принимать $\eta \approx \eta_{т}$.

Определим скорость вращения валков. Очевидно, скорость вращения заготовки

$$v_{т.м} = \pi \frac{\xi d n_3}{60},$$

где d — диаметр заготовки в рассматриваемом сечении;
 ξ — коэффициент овализации рассматриваемого сечения заготовки, равный $1,03 \div 1,12$;

n_3 — число оборотов заготовки в минуту.

Используя формулу (XIX.2), получаем

$$n_3 = \frac{D}{\xi d} n \eta_{т} \cos \varphi. \tag{XIX.3}$$

Для определения поступательной скорости металла используем закон постоянства секундных объемов:

$$F_1 v_{01} = F_2 v_{02} = \dots = F v_0 = F_r v_{0.r}, \quad (\text{XIX.4})$$

где F — площадь рассматриваемого поперечного сечения заготовки;
 $F_1, F_2, F_3 \dots$ — площади ряда последовательных поперечных сечений заготовки;
 F_r — площадь поперечного сечения гильзы;
 $v_{01}, v_{02}, v_{03} \dots$ — осевые скорости ряда последовательных сечений;
 $v_{0.r}$ — осевая скорость выхода гильзы.

По аналогии с формулой (XIX.1) можно написать

$$v_{0.r} = \eta_{0.r} \frac{\pi D_B n}{60} \sin \varphi, \quad (\text{XIX.5})$$

где D_B — диаметр валка в сечении выхода гильзы;
 $\eta_{0.r}$ — коэффициент осевого скольжения на выходе.
 Из уравнений (XIX.4) и (XIX.5) получаем

$$v_0 = \eta_{0.r} \frac{\pi D_B n}{60} \frac{F_r}{F} \sin \varphi. \quad (\text{XIX.6})$$

Зная осевую и тангенциальную скорости перемещения металла, можно приближенно определить шаг винтовой линии перемещения металла, пренебрегая изменением скорости подачи за один оборот заготовки и угловой скорости вращения:

$$s = v\tau, \quad (\text{XIX.7})$$

где τ — продолжительность одного оборота заготовки, равная $60/n_s$.

Используя выражение (XIX.3), получаем

$$\tau = \frac{60}{n_s} = \frac{60 \xi d}{D n \eta_r \cos \varphi}.$$

Подставив это значение в выражение (XIX.7) и используя уравнение (XIX.6), получаем

$$s = \pi \xi d \frac{F_r}{F} \frac{D_B}{D} \frac{\eta_0}{\eta_r} \operatorname{tg} \varphi$$

или

$$s = \pi \xi d \frac{F_r}{F} \frac{D_B}{D} \operatorname{tg} \varphi_m.$$

По данным различных исследований, коэффициент скольжения изменяется в очень широких пределах. Для ориентировочного определения коэффициентов скольжения можно пользоваться следующими эмпирическими формулами:

при прошивке слитков

$$\eta_0 = 0,75 + 0,01 \Delta d_n - 0,008 \varphi \sqrt{d_c - 300} ;$$

при прошивке заготовок

$$\eta_0 = \frac{3,2}{v} + 0,005 \Delta d_n + (0,025 + 0,000135 d_s) \varphi.$$

где d_c и d_s — диаметры прошиваемого слитка и заготовки, мм.

φ — угол наклона валков к оси прошивки, град.:

Δd_n — обжатие заготовки (слитка) в пережиме, мм.

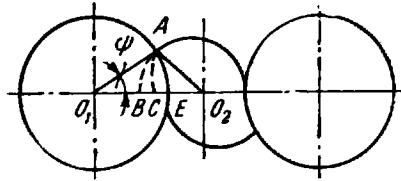
v — окружная скорость валков, м/сек.

По данным различных исследователей, коэффициент тангенциального скольжения изменяется в пределах 0,95—1,05, поэтому приближенно можно принимать $\eta_T \approx 1,0$.

2. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ

Для определения давления металла на валки необходимо найти величину контактной поверхности. Длину очага деформации легко най-

Рис. 377. Схема для определения ширины поверхности соприкосновения металла с валками при поперечно-винтовой прокатке



ти из параметров настройки стана; ширину площади контакта металла с валками можно определить из схемы (рис. 377)

$$b = AE = O_1A\psi = R\psi, \quad (\text{XIX.8})$$

где R — радиус валков в рассматриваемом сечении.
Обжатие заготовки по радиусу

$$\Delta r = BE = BC + CE = \Delta r_1 + \Delta r_2. \quad (\text{XIX.9})$$

Из рис. 377 имеем

$$AC = \sqrt{O_1A^2 - O_1C^2} = \sqrt{O_2A^2 - O_2C^2}$$

или

$$\sqrt{R^2 - (R - \Delta r_1)^2} = \sqrt{r - (r - \Delta r_2)^2}.$$

где r — радиус заготовки.

После элементарных преобразований

$$\Delta r_2 = \frac{R}{r} \Delta r_1. \quad (\text{XIX.10})$$

Очевидно

$$\psi = \arccos \frac{R - \Delta r_2}{R}.$$

Используя уравнения (XIX.8), (XIX.9) и (XIX.10), получаем

$$b = R \arccos \left(1 - \frac{\Delta r}{R + r} \right). \quad (\text{XIX.11})$$

Обжатие заготовки по радиусу Δr можно определить, зная шаг винтовой траектории перемещения металла s и угол β наклона образующей соответствующего участка. Тогда

$$\Delta r = \frac{s}{2} \operatorname{tg} \beta$$

или

$$\Delta r = \frac{\pi}{2} \xi d \frac{F_r}{F} \frac{D_b}{D} \frac{\eta_0}{\eta_T} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \beta.$$

Длина контактной поверхности l_n равна длине используемого участка бочки валка. Поверхность контакта валков с заготовкой-гильзой ограничивается сложной кривой. Площадь отдельных участков вычисля-

ют как площадь трапеции и суммируют. Для приближенных расчетов можно принимать

$$F_k = \frac{b_{\text{вх}} + b_{\text{пер}} + b_{\text{вых}}}{3} l_n,$$

где $b_{\text{вх}}$, $b_{\text{пер}}$, $b_{\text{вых}}$ — ширина контактной поверхности соответственно на входе, в пережиме и на выходе.

Если принять, что на входе и выходе заготовка-гильза соприкасается с валками только в одной точке, то

$$F_k \approx \frac{b_{\text{пер}}}{3} l_n.$$

Из рассмотрения условий равновесия заготовки А. И. Целиков получил следующее выражение для удельного давления p при поперечно-винтовой прокатке:

$$p = 2\sigma_T \left(1,25 l_n \frac{2r}{b} + 1,25 \frac{b}{2} - 0,25 \right), \quad (\text{XIX.12})$$

где σ_T — предел текучести при температуре прокатки;

b — ширина поверхности соприкосновения, определяемая формулой (XIX.11);

r — переменный радиус заготовки.

Полученное уравнение справедливо при

$$1 \leq \frac{2r}{b} \leq 8,5.$$

На участке поперечной раскатки на оправке для определения удельного давления можно использовать формулу Прандтля:

$$p = 2\sigma_T \left(1 + \frac{\pi}{2} \right) \approx 5,14\sigma_T. \quad (\text{XIX.13})$$

По экспериментальным данным различных авторов, средние удельные давления составляют при прошивке слитков 90—120 Мн/м^2 (9—12 кгс/мм^2), заготовок из углеродистых сталей 80—140 Мн/м^2 (8—14 кгс/мм^2), из нержавеющей сталей 150—180 Мн/м^2 (15—18 кгс/мм^2).

Усилия на валок и оправку возрастают с увеличением диаметра исходной заготовки (слитка) и гильзы, прочности прокатываемого металла, коэффициентов вытяжки и с понижением температуры. Увеличение угла наклона осей валков к оси заготовки ведет к снижению усилий на валки и увеличению осевого усилия на оправку.

3. МОМЕНТЫ ПРОКАТКИ, РАСХОД ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТЬ ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Полученные результаты позволяют определить момент, необходимый для вращения валков при отсутствии оправки

$$M = P_y b_{\text{пер}} + P_z D_{\text{пер}};$$

при наличии оправки

$$M = P_y b_{\text{пер}} + (P_z + Q_{\text{оп}} \sin \varphi) D_{\text{пер}},$$

где $D_{\text{пер}}$ — диаметр валка в пережиме.

Приведенные выражения не учитывают момента от силы трения в подшипниках, который может быть вычислен по обычным формулам. Мощность прокатки

$$N = M\omega = \frac{\pi n}{60} M$$

и расход энергии

$$A = \frac{N}{T},$$

где ω — угловая скорость валков;

T — продолжительность прошивки.

Учитывая относительно небольшое изменение диаметра валков, машинное время прошивки можно определить по выражению

$$T \approx \frac{L_0 + L_r}{v_{0,r}},$$

где $L_0 + L_r$ — путь, проходимый передним терцом заготовки-гильзы;

L_0 — используемая длина бочки валков;

L_r — длина гильзы;

$v_{0,r}$ — выходная скорость гильзы, определяемая по формуле (XIX.12).

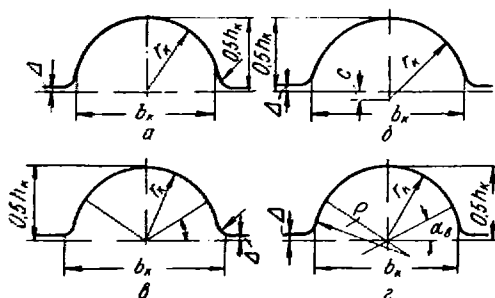
Полученные выше выражения позволяют определить действующие усилия, моменты, необходимую мощность и расход энергии.

**ОСНОВЫ ПРОДОЛЬНОЙ И ПЕРИОДИЧЕСКОЙ
ПРОКАТКИ ПОЛЫХ ТЕЛ**

1. КИНЕМАТИКА И НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ

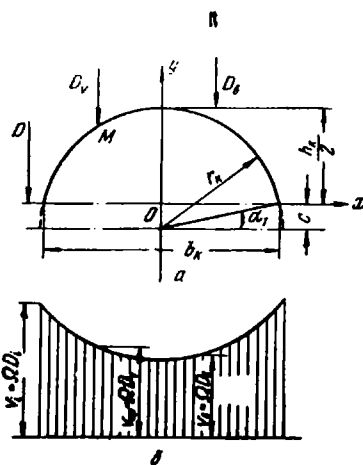
При прокатке труб применяют четыре типа калибров (рис. 378): круглый, овальный, с выпусками по касательной и дуге окружности. Геометрические размеры калибров (высота и ширина b_k) могут быть определены по основным параметрам калибра и из элементарных геометрических соотношений.

Форма калибров оказывает существенное влияние на скорость выхода трубы из валков, а следовательно, на основные параметры процесса и производительность стана. Рассмотрим



Р и с. 378. Калибры:

а — круглый; б — овальный; в — с выпусками по касательной; г — с выпусками по дуге окружности



Р и с. 379. Схема овального калибра (а) и эпюра распределения скоростей валка (б)

прокатку в овальном калибре (рис. 379). Угловая скорость Ω_k вращения валка постоянна:

$$\Omega_k = \frac{\pi n}{60},$$

где n — скорость вращения валков, об/мин.

Скорость валка в калибре изменяется от v_l (скорость по бочке, т. е. по идеальному диаметру) до v_v (скорость в вершине калибра).

Очевидно, на периметре калибра может быть найдена точка M , соответствующая средней скорости калибра:

$$v_{cp} = \frac{F_3}{b_k}, \tag{XX.1}$$

где F_3 — площадь эпюры скоростей, определяемая уравнением

$$F_3 = 2 \int_{v_i}^{v_b} v dx.$$

Учитывая, что для овального калибра

$$v = \Omega_b [D_i - 2 \sqrt{r_k^2 - c^2} + 2c],$$

$$v_i = \Omega_b D_i,$$

$$v_b = \Omega_b [D_i - 2(r_k - c)].$$

После интегрирования и подстановки пределов получаем

$$F_3 = \Omega_b \left[D_i - 2r_k \left(\frac{c}{2r_k} + \sqrt{1 - \left(\frac{c}{r_k} \right)^2} \right) \cdot \arcsin \sqrt{1 - \left(\frac{c}{r_k} \right)^2} \right]. \quad (\text{XX.2})$$

Подставляя в выражение (XX.1) значения F_3 из формулы (XX.2) получаем

$$v_{\text{ср}} = \Omega_b \left[D_i - d_k \left(\frac{1}{2\sqrt{1-e^2}} \arcsin \sqrt{1-e^2} + \frac{e}{2} \right) \right],$$

где

$$d_k = 2r_k; \quad e = \frac{c}{r_k}.$$

Средняя скорость прокатки в калибре

$$v_{\text{ср}} = \omega_b (D_i - \lambda_v d_k) = \omega_b D_{\text{ср}}, \quad (\text{XX.3})$$

находим значения коэффициента

$$\lambda_v = \frac{1}{2\sqrt{1-e^2}} \arcsin \sqrt{1-e^2} + \frac{e}{2}.$$

Для круглого калибра $c = e = 0$, тогда $\lambda_v = \frac{\pi}{2}$.

Вследствие опережения скорость металла больше средней скорости вала:

$$v_M = \omega_{\text{оп}} v_{\text{ср}} = \omega_b D_k, \quad (\text{XX.4})$$

где D_k — катающий диаметр вала;

$\omega_{\text{оп}}$ — условный коэффициент опережения.

Из приведенных выражений находим

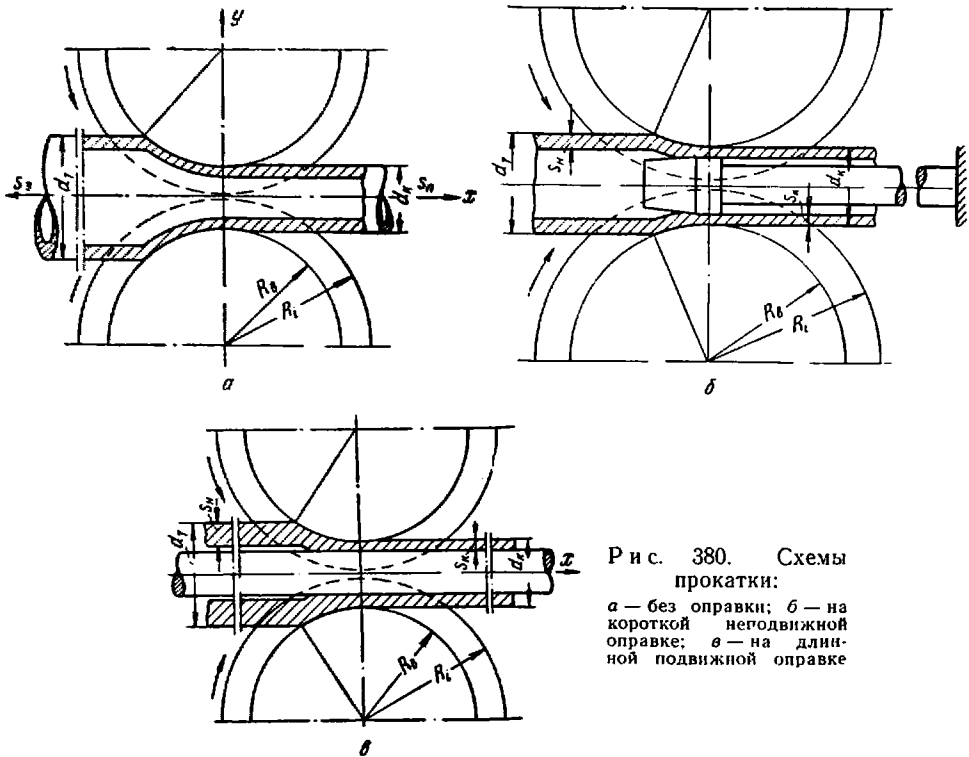
$$\omega_{\text{оп}} = \frac{D_k}{D_{\text{ср}}}.$$

По экспериментальным данным, коэффициент опережения при прокатке в круглых и овальных калибрах обычно составляет 1,03—1,07, поэтому для большинства практических расчетов можно принимать

$$D_k \approx D_{\text{ср}} \approx D_i - \lambda_v h_k. \quad (\text{XX.5})$$

Прокатку труб осуществляют тремя основными способами: 1) без оправки (рис. 380, а); 2) на короткой неподвижной оправке (рис. 380, б); 3) на длинной подвижной (380, в) оправке. Наиболее широко применяют прокатку труб без оправки на редуционных и калибровочных станах, на непрерывных станах печной сварки труб и трубоэлектросварочных станах. Прокатку труб на короткой оправке применяют на автоматических раскатных станах, а на длинной оправке — на непрерывных и пилигримовых станах.

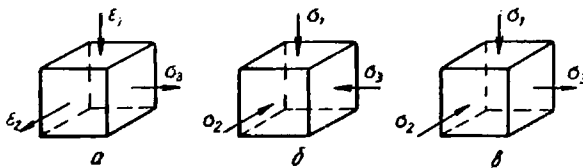
Прокатка труб в круглых калибрах осуществляется с неодинаковой деформацией по ширине калибра. Неравномерность деформации по диаметру и стенке трубы в пределах ширины калибра приводит к неодинаковой деформации и возникновению напряжений различных знаков в вершине и в выпусках калибров. Наибольшая неравномерность де-



Р и с. 380. Схемы прокатки:
 а — без оправки; б — на короткой неподвижной оправке; в — на длинной подвижной оправке

формации наблюдается в калибрах с большим развалом, наименьшая — в калибрах, близких к круглым.

При прокатке труб на любом участке калибра происходит деформация гильзы, состоящая из осаживания ϵ_1 по диаметру и стенке, уширения ϵ_2 и вытяжки ϵ_3 (рис. 381, а). В разных участках калибра на-



Р и с. 381. Схема главных деформаций (а) и главных напряжений в вершине (б) и выпусках (в) калибра

пряженное состояние неодинаково. На участках, прилегающих к вершине калибра, происходит всестороннее неравномерное сжатие: в направлениях осадки σ_1 , уширения σ_2 и вытяжки σ_3 . Для участков, находящихся в выпусках калибра (и к ним прилегающих), имеются соответственно напряжения сжатия σ_1 и σ_2 и растяжения σ_3 .

Таким образом, очаг деформации при продольной прокатке труб представляет собой поле с неравномерным напряженным состоянием. На большей части очага наблюдается всестороннее неравномерное сжатие.

2. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ

Поверхность овального калибра представляет собой часть тора. П. Т. Емельяненко предложил, пренебрегая уширением труб при прокатке, принять, что поверхность соприкосновения валка с металлом ограничена линией пересечения тора с цилиндром. Если уравнение поверхности тора $f_1(x, y, z) = 0$, а уравнение поверхности цилиндра $f_2(y, z) = 0$, то линия пересечения этих тел может быть найдена совместным решением системы этих уравнений.

Для нахождения горизонтальной проекции контактной поверхности необходимо определить проекцию линии пересечения на плоскость xoz , исключив y из системы уравнений. Если уравнение проекции этой линии $f_3(x, z) = 0$, то площадь

$$F_r = \iint_{(F)} dF = \iint_{(F)} f_3 dx dy.$$

Однако решение такого интеграла в декартовой системе координат в конечной форме невозможно, и поэтому А. П. Чекмарев и Я. Л. Ваткин рекомендовали для определения контактной поверхности криволинейные гауссовы координаты, пользуясь которыми можно получить

$$F_r = 2r_k d_3 \left\{ R_i - 0,5 \left[1 + \left(1 + \frac{P}{2r_k} \right) \sin^2 \alpha_s \right] r_k \right\}. \quad (\text{XX.6})$$

По формуле (XX.6) можно определить горизонтальную проекцию поверхности соприкосновения при прокатке труб без оправки (редуцирование) и при прокатке труб на оправке.

Для определения основных показателей процесса прокатки труб (усилий, расхода энергии и т. д.) необходимо знать удельные давления металла на

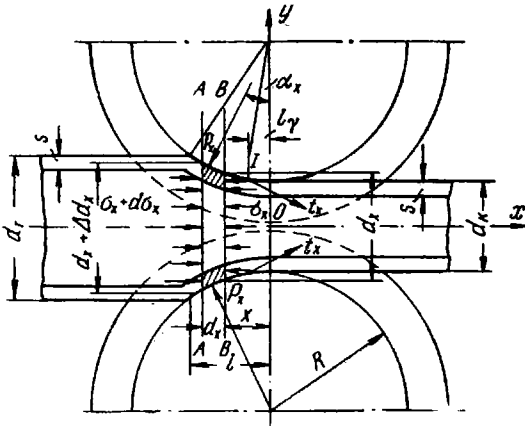


Рис. 382. Схема к определению удельного давления при прокатке труб в овальном калибре

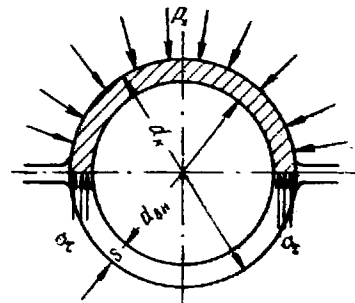


Рис. 383. Схема к определению связи напряжений P_x и σ_x

валки. Однако опытных данных по удельным давлениям совершенно недостаточно. Теоретические методы расчета являются приближенными, так как точно не известны граничные условия и истинные сопротивления деформации. Кроме того, при выводе теоретических формул сделаны допущения, требующие дополнительной экспериментальной проверки.

В основу вывода формул для определения удельных давлений металла в очаге деформации при прокатке труб положен метод, разработанный А. И. Целиковым, и сделаны известные допущения, принятые при решении задачи для случая прокатки полосы по гладкой бочке.

Вследствие сложности процесса прокатки труб при выводе формул для определения удельного давления неизбежны дополнительные допущения:

1) ввиду малости уширения ширину трубы принимаем постоянной. т. е. $b = 2r_k$;

2) пренебрегаем изменением толщины стенки трубы, тогда $s_n = s_k = s$;

3) вследствие того, что схема всестороннего сжатия характерна для наибольшей части очага деформации, она распространена на весь очаг деформации;

4) границей между зоной опережения и отставания является вертикальное сечение, расположенное под углом γ к вертикальной оси (рис. 382).

Из известных геометрических соотношений (рис. 383) при рассмотрении условий равновесия в полукольце поперечного сечения трубы найдем связь между радикальными и тангенциальными напряжениями:

$$\sigma_r = \rho_x \frac{r_k + r_x}{2s}$$

Но $\frac{r_k + r_x}{2s} > 1$,

тогда $\sigma_r > \rho_x > \sigma_x$.

Напишем уравнение пластичности

$$\sigma_r - \sigma_x = \beta \sigma_T, \quad (\text{XX.7})$$

где σ_T — предел текучести металла в условиях прокатки.

Подставив в уравнение (XX.7) значение σ_r , получаем

$$\sigma_x = \rho_x \frac{r_k + r_x}{2s} - \beta \sigma_T, \quad (\text{XX.8})$$

$$d\sigma_x = \rho_x \frac{dr_x}{2s} + \frac{r_k + r_x}{2s} d\rho_x. \quad (\text{XX.9})$$

Подставляя значения σ_x и $d\sigma_x$ из выражений (XX.8) и (XX.9) в формулу (XX.7), после упрощений получаем

$$\rho_x (r_k + r_x) dr_x - \beta \sigma_T dr_x + \frac{(r_k + r_x)^2}{2} d\rho_x - \rho_x (r_k + r_x) (\operatorname{tg} \alpha_x + f) dx = 0. \quad (\text{XX.10})$$

Чтобы упростить полученное дифференциальное уравнение, заменим дугу 1—2 (см. рис. 382) хордой, что при малых углах захвата вполне допустимо. Тогда

$$r_x = r_k + \operatorname{tg} \alpha_3 x, \quad dr_x = \operatorname{tg} \alpha_3 dx.$$

Подставляя эти значения в уравнение (XX.10), получаем

$$\frac{(2r_k + \operatorname{tg} \alpha_3 x)^2}{2d\rho_x} - f\rho_x (2r_k + \operatorname{tg} \alpha_3 x) dx - \beta \sigma_T \operatorname{tg} \alpha_3 dx = 0.$$

Введем вспомогательную функцию d_x :

$$d_x = 2r_k + \operatorname{tg} \alpha_3 x; \quad (\text{XX.11})$$

$$dd_x = \operatorname{tg} \alpha_3 dx. \quad (\text{XX.12})$$

После интегрирования и преобразований получаем

$$\rho_{cp} = \frac{4s}{d_T - d_k} \frac{\beta \sigma_T}{\epsilon} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\epsilon} \right) \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_T} \right)^\epsilon \right] - \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_T} \right)^2 \right] \right\}, \quad (\text{XX.13})$$

где $\epsilon = 1 + \frac{2f}{\operatorname{tg} \alpha_3}$.

Анализируя полученное выражение, видим, что среднее удельное давление зависит от коэффициента трения, угла захвата металла, предела текучести при условиях прокатки, степени деформации и размеров трубы. Предельное значение угла захвата равно удвоенному углу трения: этому значению будет соответствовать максимальное значение удельного давления. Поэтому для приближенных вычислений можно принять

$$\operatorname{tg} \alpha_s \approx 2f, \quad \varepsilon = 2$$

и получить упрощенную формулу

$$p_{\text{cp}} \approx \beta \sigma_T \frac{2s}{d_r - d_k} \left(1 - \frac{d_k}{d_r}\right)^2. \quad (\text{XX.14})$$

Аналогичным методом можно получить и средние удельные давления металла на валок при прокатке труб на короткой и длинной оправке.

Полное давление

$$P = p_{\text{cp}} F_r. \quad (\text{XX.15})$$

При отсутствии внешних сил полное давление металла на валки направлено вертикально. При прокатке труб на короткой оправке возникает продольное усилие Q . По экспериментальным данным для тонкостенных труб

$$Q = (0,4 \div 0,5) P.$$

а для толстостенных труб

$$Q = (0,15 \div 0,20) P.$$

При прокатке труб в многоклетевых редуцированных станах с натяжением и на длинной оправке максимальное давление возникает при входе трубы в валки каждой клетки. При установившемся процессе давление значительно снижается вследствие натяжения между клетями, а затем на выходе трубы из предыдущих клеток вновь повышается.

3. МОМЕНТЫ, РАСХОД ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТЬ ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Наиболее точный метод определения момента прокатки — подсчет его по усилиям, действующим на валки. Момент прокатки (рис. 384), приложенный к одному из валков, в случае вертикального направления равнодействующей (при отсутствии внешних сил)

$$M = Pa,$$

где P — полное давление металла на валки, определяемое по формуле (XX.15);

a — плечо приложения равнодействующей давления металла на валки.

Плечо равнодействующей давления металла на валки при отсутствии внешних сил равно расстоянию от линии, соединяющей центры валков, до центра тяжести эпюры удельного давления, построенной на горизонтальной проекции дуги захвата (рис. 385):

$$a = \frac{\int_{(F)} p_x x dx}{\int_{(F)} p_x dx}. \quad (\text{XX.16})$$

Зная крутящий момент, легко найти необходимую мощность:

$$N = 2M\Omega, \quad (\text{XX.17})$$

где $\Omega = \frac{\pi n}{60}$ — угловая скорость вращения валков.

Расход энергии

$$A = NT_{\text{пр}}, \quad (\text{XX.18})$$

где $T_{\text{пр}}$ — продолжительность прокатки одной трубы.

Продолжительность прокатки

$$T_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{тр}}}{v_t}, \quad (\text{XX.19})$$

где $L_{\text{тр}}$ — длина трубы.

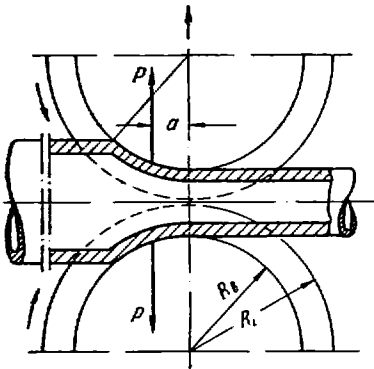


Рис. 384. Схема к определению момента прокатки

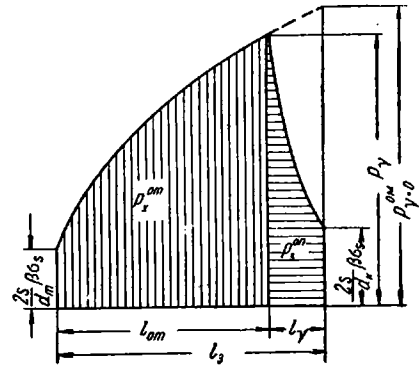


Рис. 385. Схема распределения удельных давлений по длине поверхности соприкосновения

Скорость выхода трубы из валков

$$v_t = \Omega D_{\text{ср}}, \quad (\text{XX.20})$$

где $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр валка.

Из выражений (XX.16 — XX.20) находим

$$A = 2M \frac{L_{\text{тр}}}{D_i - \lambda_v d_k}.$$

Таким образом, расход энергии на прокатку зависит от крутящего момента, длины прокатываемой трубы и среднего (катающего) радиуса валка. Дополнительный расход энергии (на трение в шейках валков и т. п.) может быть найден по обычной методике.

4. ОСОБЕННОСТИ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКЕ

В некоторых трубопрокатных станках (пилигримовых, валковых, роликовых и планетарных холодной прокатки труб) процесс обжатия осуществляется периодически. При этом способе прокатки металл обжимается в калибре, выточенном так, что его размеры по мере движения валков за период рабочего хода постепенно уменьшаются. Размеры максимального калибра соответствуют размерам прокатываемого изделия. Так как при этом способе металл прокатывается в калибрах переменного сечения, очаг деформации, а следовательно, обжатие, давление металла, контактная поверхность и другие факторы в течение

одного прохода изменяются соответственно изменениям сечений калибра и прокатываемого изделия.

За период подачи металла в валки обжатие и давление металла на валки, очевидно, равны нулю, так как размеры зева, в который подают заготовку, несколько больше размеров исходного сечения заготовки (гильзы). При последующем движении валков заданный металл вследствие уменьшения размеров калибра соприкасается с валками и обжимается. Особенность процесса периодической прокатки состоит в определении переменных границ очага деформации, знание которых позволит определить обжатие, давление металла на валки, моменты и другие характеристики процесса на протяжении всего рабочего хода валков.

Сначала рассмотрим плоскую схему деформации, т. е. представим себе цилиндрический пилигримовый валок, прокатывающий плоскую полосу (рис. 386). Положение валка относительно полосы показано в момент выхода начального радиуса r_0 на линию центров. Обжатый металл будет смещаться в направлении уменьшения высоты, вследст-

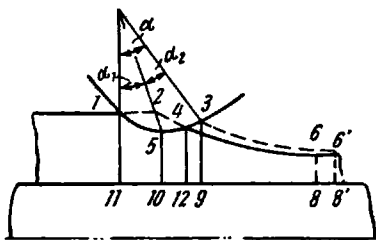


Рис. 386. Схемы пилигримовой прокатки в момент выхода на линию центров начального радиуса рабочей части валка

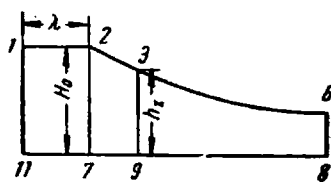


Рис. 387. Схема «плоской» пилигримовой головки

вие чего кривая гребня валка пересечется с кривой пилигримовой головки не в точке 4 (точке геометрического пересечения), а в некоторой точке 3, положение которой определяется из условия постоянства объема металла до деформации и после нее.

Если пренебречь уширением, то равенство объемов металла может быть заменено равенством соответствующих площадей. Участок 3—6—8—9 остается недеформированным и имеет объем, равный объему участка 3—6—8—9 (рис. 387) или объему участка 4—6—8—12 (см. рис. 386), т. е. участок 3—6—8—9 пилигримовой головки, не деформируясь, сместился на расстояние, равное длине отрезка 8—8 или 12—9. Очевидно, что объем, соответствующий площади 1—2—3—9—11 (см. рис. 387), будет равен объему 1—5—4—3—9—11 (см. рис. 386). Следовательно, недеформированный участок пилигримовой головки будет начинаться с такого сечения 3—9 (см. рис. 387), для которого справедливо равенство объемов

$$V_{1-2-7-11} = V_{5-4-3-9-12-10}$$

На основании этого равенства можно определить обжатия в любом сечении пилигримовой головки.

Объем $V_{1-2-7-11}$ называют объемом подачи V_t .

Объем подачи

$$V_t = H_0 f,$$

где f — величина подачи;

H_0 — высота сечения до деформации.

Объем $V_{5-4-3-9-12-10}$ есть объем части пилигримовой головки, заключенной между сечением, высота которого соответствует высоте до

деформации H_x , и сечением, высота которого соответствует высоте h_x после деформации, т. е.

$$V_{5-4-3-2-12-10} = V_{H_x-h_x}$$

или

$$V_t = V_{H_x-h_x}$$

Таким образом, обжатие в периодической части профиля пилигримовой головки равно разности между высотой рассматриваемого сечения и высотой сечения, отстоящего от первого на таком расстоянии, при котором объем металла пилигримовой головки, заключенного между этими сечениями, равен объему подачи металла.

Очевидно, это правило останется справедливым и для общей объемной схемы пилигримовой прокатки (рис. 388 и 389).

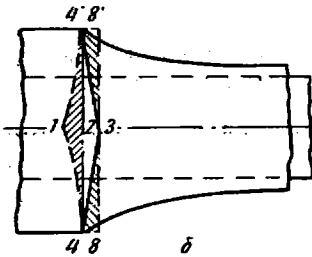
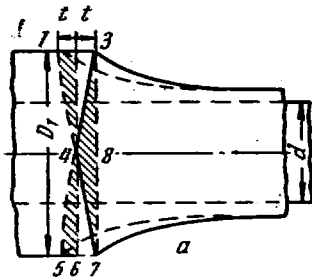


Рис. 388. Схема для определения объема подачи металла:
а — вид сбоку; б — вид сверху

При пилигримовой прокатке на участке, равном величине подачи, горизонтальный диаметр гильзы не обжимается вследствие равенства диаметра гильзы ширине калибра. Поэтому границей начала пилигримовой головки будет не прямая линия, а некоторая кривая 3—4—7—4—3 (рис. 388, а).

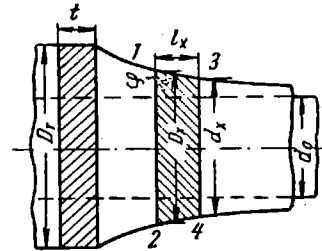


Рис. 389. Схема к определению обжатия

После кантовки и подачи вперед на величину t участок $2t$ будет обжат по гребню пилигримовой головки, а по ширине калибра обжатие отсутствует. Границей начала пилигримовой головки является линия 1—4—5—4'—1 (рис. 388, б).

Объем подачи, очевидно, заключается между этими двумя кривыми, т. е.

$$V_t = V_{1-2-3-4-5-6-7-4'-1'}$$

Так как

$$V_{1-2-4-5-6-4'-1'-2} = V_{3-4-8-7-4'-8'-3}$$

можно определить объем подачи

$$V_t = F_T t,$$

где F_T — площадь поперечного сечения гильзы.

Выражая площадь гильзы F_r через средний диаметр D_r и диаметр дорна d , получаем:

$$V_i = \xi \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{d^2}{D_r^2}\right) D_r^2 t,$$

где ξ — коэффициент овализации.

Для того чтобы найти обжатие сечения 1—2 (см. рис. 389), надо найти такое сечение пилигримовой головки 3—4, которое отделяет объем пилигримовой головки, равный объему подачи, т. е.

$$V_{1-3-4-2} = V_i.$$

Объем 1—3—4—2—1 может быть определен так:

$$V_{1-3-4-2-1} = \frac{F_r + f_x}{2} l_x,$$

или, выражая через средний диаметр

$$V_{1-3-4-2-1} = \frac{\pi}{8} \left[\xi_1 \left(1 - \frac{d^2}{D_x^2}\right) D_x^2 + \xi_2 \left(1 - \frac{d^2}{d_x^2}\right) d_x^2 \right] l_x.$$

Ввиду незначительного обжатия при пилигримовой прокатке принимаем

$$\begin{aligned} \xi_1 &\approx \xi_2 \approx \xi; \\ 1 - \frac{d^2}{D_x^2} &\approx 1 - \frac{d^2}{d_x^2} \approx 1 - \frac{d^2}{D_r^2}. \end{aligned}$$

Тогда

$$V_{1-3-4-2-1} = \frac{\pi}{8} \xi \left(1 - \frac{d^2}{D_r^2}\right) (D_x^2 + d_x^2) l_x.$$

Длина

$$l_x \approx \frac{D_x - d_x}{2 \operatorname{tg} \varphi},$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ — тангенс угла наклона пилигримовой головки, который связан с тангенсом угла наклона кривой гребня вала $\operatorname{tg} \psi$ и коэффициентом опережения в вершине калибра следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\omega}.$$

Окончательно получаем

$$D_r^2 t = 0,25 \frac{\omega}{\operatorname{tg} \psi} (D_x^2 + d_x^2) (D_x - d_x). \quad (\text{XX.21})$$

Решая полученное уравнение (XX.21), можно, задавшись значением D_x , найти d_x или определить обжатие при пилигримовой прокатке. Однако для определения обжатия в мгновенном очаге деформации (рис. 390) необходимо найти сечение, определяющее длину поверхности соприкосновения и угол захвата.

Недеформированная часть пилигримовой головки начинается по некоторой кривой 3—15—7. Однако для упрощения можно предположить, что недеформированная часть пилигримовой головки начинается с сечения 3—7, соответствующего средней длине поверхности соприкосновения $l_{\text{ср}}$. Можно написать, что объем пилигримовой головки до деформации (рис. 391) равен объему головки после деформации (см. рис. 390), т. е.

$$V_{10-9-4-8-7-12} + V_{9-10-12-11} = V_{1-2-3-4-8-7-6-5}.$$

Выделив на недеформированной пилигримовой головке сечение 3—7 (рис. 391), напишем следующее равенство:

$$V_t + V_{10-3-7-12} = V_{1-2-3-7-6-5}$$

или

$$V_t - V_{10-13-14-12} + V_{13-3-7-14} = V_{1-13-14-5} + V_{13-2-6-14} + V_{2-3-7-6}.$$

Так как

$$V_{10-13-14-12} = V_{1-13-14-5}$$

и

$$V_t = V_{13-2-6-14},$$

получаем следующее равенство:

$$V_{13-3-7-14} = V_{2-3-7-6}. \quad (\text{XX.22})$$

По аналогии с формулой (XX.21) можно написать

$$V_{13-3-7-14} = \frac{\pi}{4} \xi \frac{\omega}{\text{tg } \psi} \left(1 - \frac{d^2}{D_x^2} \right) (D_x^2 - d_a^2) (D_x - d_a).$$

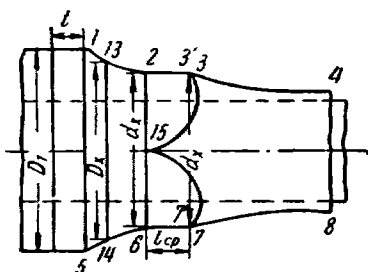


Рис. 390. Схема очага деформации при пилигримовой прокатке

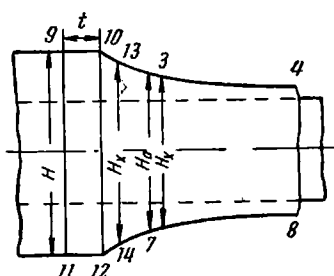


Рис. 391. Схема к определению высоты пилигримовой головки до деформации

Объем участка 2—3—7—6

$$V_{2-3-7-6} = \frac{f_a + f_x}{2} l_{cp}$$

или

$$V_{2-3-7-6} = \frac{\pi}{4} \xi \left(1 - \frac{d^2}{d_x^2} \right) (d_a^2 + d_x^2) l_{cp}.$$

Средняя длина поверхности соприкосновения

$$l_{cp} = R_{cp} \sin \alpha.$$

Подставляя эти значения в формулу (XX.22), получаем

$$(d_a^2 + d_x^2) R_{cp} \sin \alpha - (D_x^2 + d_a^2) (D_x - d_a) = 0.$$

Зная величины D_x , d_x и d_a можно найти все коэффициенты деформации при пилигримовании и получить данные, характеризующие мгновенный очаг деформации.

Для определения всех величин, характеризующих процесс деформации, применимы приведенные выше формулы для продольной прокатки труб. При определении общего давления металла на валки и момента прокатки необходимо иметь в виду, что вследствие действия внешних сил (давление подающего аппарата, силы инерции) равнодействующая составляет с вертикальной осью некоторый угол направления движения прокатываемого металла.

ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА ТРУБ

1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЫ

Трубы бесшовные горячекатаные изготавливают диаметром 57—550 мм и толщиной стенки 3—75 мм. Горячекатаные трубы меньшего диаметра (до 17 мм) изготавливают на современных редуцированных многовалковых станах с натяжением, а трубы большого диаметра (до 820 мм) — на станах-расширителях. Основной сортament бесшовных горячекатаных труб определяется ГОСТ 8732—58, а общие технические требования — ГОСТ 8731—58 [VI. 1; 7, 10, 16, 21].

Прокатка труб на автоматических станах является наиболее распространенным способом производства бесшовных труб. На этих станах прокатывают трубы диаметром 57—426 мм и толщиной стенки 3—30 мм. Трубы меньшего диаметра (до 17 мм) изготавливают на этих станах редуцированием, а большего диаметра (до 660 мм) — расширением.

Исходным материалом для прокатки труб на автоматических станах являются заготовки круглого сечения. В трубопрокатный цех заготовки поступают после удаления поверхностных дефектов и прохождения различных контрольных испытаний, предусмотренных техническими условиями.

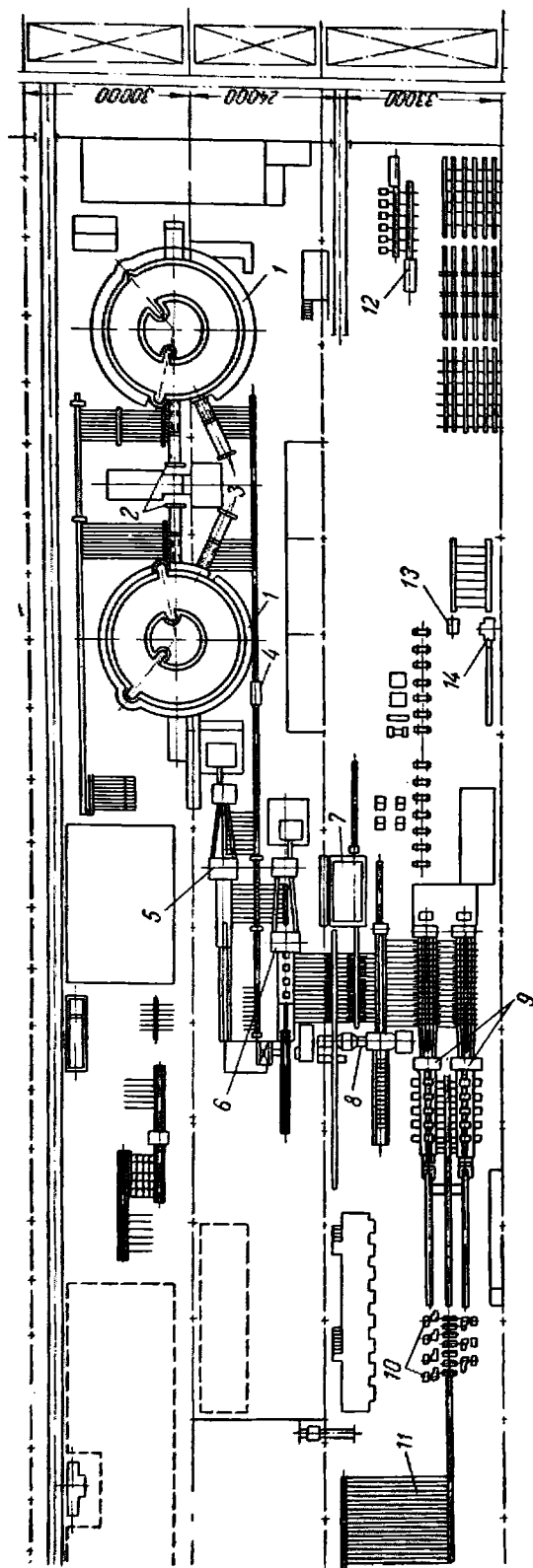
Для резки заготовок диаметром до 150 мм из углеродистой стали с пределом прочности до 600—700 Mn/m^2 (60—70 $кгс/мм^2$) используют ножницы с профилированными ножами, обеспечивающими получение ровного торца заготовки. Заготовки диаметром более 150 мм из стали с пределом прочности более 600 Mn/m^2 (60 $кгс/мм^2$) подвергают ломке на гидравлических прессах.

Автоматические станы условно можно разделить на три группы в зависимости от диаметра прокатываемых труб: большие (140—426 мм), средние (76—219 мм) и малые (57—140 мм).

На рис. 392 представлена схема расположения оборудования большого автоматического стана для прокатки труб диаметром 140—426 мм. Исходным материалом для прокатки труб являются заготовки диаметром 140—270 мм.

В последнее время для нагрева заготовок все больше применяют печи с вращающимся кольцевым подом. По сравнению с методическими печами с наклонным подом для размещения этих печей требуется меньшая площадь, а отсутствие кантовальных окон и сравнительно хорошая герметичность рабочего пространства снижают угар металла. Конструкция печей с вращающимся подом устраняет также необходимость ручной кантовки заготовок.

Посадка и выдача нагретых заготовок из печи осуществляются специальными машинами, представляющими собой тележку, несущую длинный хобот с клещами на переднем конце.



Р и с. 392. Схема расположения оборудования автоматического стана:

1 — нагревательная печь с вращающимся кольцевым подом; 2 — разгрузочная машина; 3 — разгрузочная машина; 4 — зацентровщик заготовок; 5 — первая прошивная клетка; 6 — вторая прошивная клетка; 7 — нагревательная печь перед чистой клетой; 8 — чистовая клетка; 9 — обкатные клетки; 10 — калиф-ровочные клетки; 11 — охлаждающий стол; 12 — станки для внутреннего ремонта труб; 13 — стенок для нарезки стержней; 14 — эксцентриковый пресс для правки стержней

В зависимости от химического состава стали температура нагрева заготовок находится в пределах 1100—1250 °С.

Для улучшения условий захвата заготовки при прошивке и уменьшения разностенности гильзы осуществляется центровка переднего конца заготовки. В последнее время преимущественно применяют горячую центровку, обеспечивающую большую производительность и лучшее качество труб.

Большие автоматические станы имеют две прошивные клетки и печь для нагрева гильз (если необходимо) перед прокаткой их в трубы в чистой (раскатной) клетке. В этом случае заготовку, поданную на передний стол первой прошивной клетки, пневматическим вталкивателем задают в валки для прошивки ее на оправке в толстостенную гильзу. Дальнейшее уменьшение толщины стенки гильзы осуществляют во второй прошивной клетке. После второй прошивной клетки гильзу выбрасывают на наклонную решетку и передают на передний стол чистой клетки для прокатки в трубу. В случае прокатки тонкостенных труб гильзы после второй прошивки имеют сравнительно низкую температуру. Поэтому перед прокаткой этих гильз в чистой кле-

ги их нагревают в специальной печи [1.2]. Прокатанную в чистовой клети трубу передают на передний стол этой клети, откуда выбрасывают на наклонную решетку и передают к обкатной клети. При прокатке в обкатной клети уменьшают разностенность трубы, устраняют местные утолщения, а также сглаживают внутреннюю и наружную поверхности трубы.

Обычно для обкатки труб на автоматических станах устанавливают две клети. После обкатки трубы поступают в калибровочные клети для окончательной калибровки сечения и получения заданного наружного

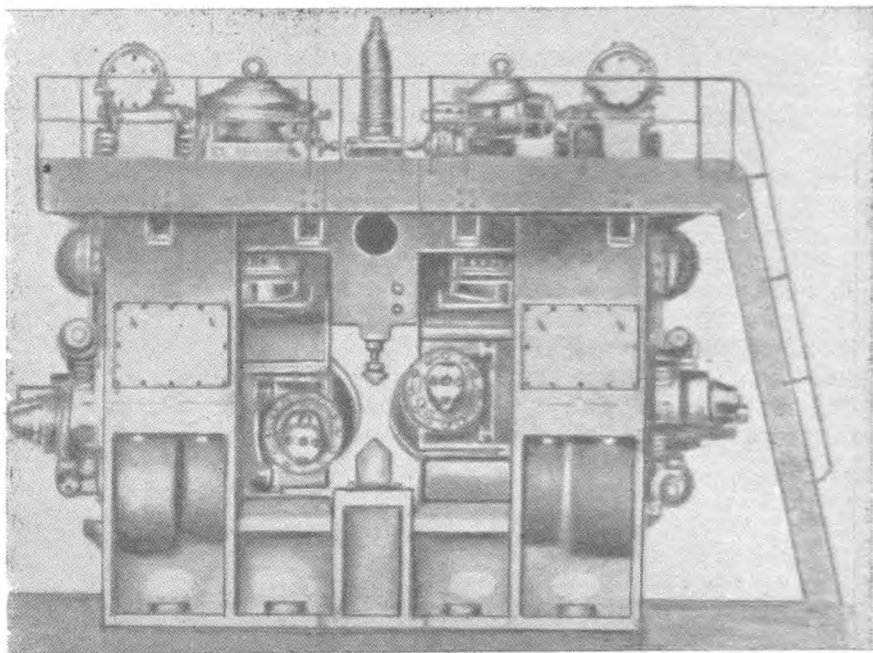


Рис. 393. Валковая прошивная клеть

диаметра. Далее трубы поступают на холодильник, а затем к правильным машинам. После правки они поступают в пролеты отделки, где их осматривают, устраняют поверхностные дефекты, обрезают концы, разрезают на мерные длины, нарезают резьбу на концах, испытывают и красят.

Средние и малые автоматические станы отличаются от больших тем, что имеют по одной прошивной клети и не имеют печей перед чистовыми клетями. На малых автоматических станах обычно осуществляют редуцирование труб; для этого устанавливают редуцирующий стан и печь для нагрева.

Для прошивки заготовки в гильзу наибольшее распространение получили валковые прошивные клети (рис. 393). Рабочая линия прошивной клети автоматического стана состоит из рабочей клети, имеющей бочкообразные валки, универсальных шпинделей, шестеренной клети редуцирующего типа, зубчатой муфты удлиненного типа и электродвигателя. Со стороны задачи заготовки в валки рабочая клеть оборудована вводным желобом и пневматическим вталкивателем заготовки, в вал-

ки проходящим через отверстие в шестеренной клетке. С выходной стороны рабочая клетка оборудована задним столом, упорным подшипником стержня и выбрасывателем гильзы на наклонную решетку.

Рабочая клетка имеет массивную станину открытого типа; в окне между стойками станины и крышкой установлены два барабана, в которых перемещаются кассеты с подшипниками валков. С помощью пружин и обратных винтов кассеты постоянно прижаты к горизонтальным нажимным винтам, привод которых для каждого валка осуществляется от отдельного электродвигателя.

Установка валков под необходимым углом к оси прошивки осуществляется специальными механизмами, поворачивающими барабаны вместе с валками при помощи массивных бесконечных цепей Галля. Угол наклона валков к оси прошивки изменяется в пределах 5—12°. Каждый рабочий валок установлен на двух четырехрядных конических роликовых подшипниках.

Верхняя линейка и линейкодержатель закреплены на фасонной траверсе, которая при установке линейки перемещается двумя винтами с приводом от отдельных электродвигателей. Нижняя линейка, передняя и задняя проводки смонтированы на неподвижной траверсе.

Для получения особо тонкостенных гильз и уменьшения их разностенности применяют приводные вращающиеся дисковые проводки.

Пневматический выталкиватель, установленный с входной стороны рабочей клетки, задает заготовку (находящуюся в желобе между шпинделями) в валки, а при замене оправки выталкивает ее в желоб с выходной стороны клетки, по которому она скатывается в бак для охлаждения.

Вводный желоб установлен на двух стойках, которые могут перемещаться в вертикальном направлении при помощи винтового механизма с приводом от электродвигателя. Это обеспечивает подачу заготовки точно по оси калибра валков.

Поддержание и центрирование стержня перед прошивкой и в начале процесса осуществляется при помощи трех центрователей роликового типа с приводом от пневматических цилиндров через систему рычагов. При подходе к ним гильзы они автоматически раскрываются и в этом положении являются роликовыми проводками для гильзы. Ролики центрователей — холостые; они установлены на подшипниках качения и имеют устройство для охлаждения водой.

Для извлечения гильзы из валков имеется приводной передний ролик, вращение которого осуществляется через шарнирный шпиндель, а его подъем и опускание — через кривошипно-рычажный механизм от отдельного электродвигателя. Для поддержания гильзы при извлечении из нее стержня на выходной стороне рабочей клетки установлены также подъемные холостые ролики. Подъем и опускание этих роликов осуществляются через систему рычагов от отдельного электродвигателя.

Удержание стержня в валках при прошивке, извлечение его из гильзы и установка в рабочее положение осуществляются при помощи перемещающегося упорного подшипника, установленного на специальных направляющих станины. Закрепление и удержание упорного подшипника при прошивке осуществляются упорно-регулирующим механизмом. Выбрасывание гильзы на отводящую решетку, по которой она скатывается в желоб чистой клетки, осуществляется при помощи выбрасывателя с круговым вращением крюков.

Рабочий валок (рис. 394) прошивной клетки состоит из бочки и вала. На входном конусе (конус прошивки) происходит подготовка ме-

талла заготовки к окончательной прошивке на оправке. На выходном конусе (конус поперечной прокатки) осуществляется утонение стенки гильзы между валками и оправкой. Поясок или пережим валков предназначен для сглаживания участка перехода деформации сжатия заготовки по наружному диаметру к деформации расширения.

На практике применяют два типа рабочих валков прошивных клетей: 1) валки с входным и выходным конусами одинаковой длины, 2) валки с входным конусом короче выходного. В этом случае наибольший диаметр валка смещен в сторону конуса прошивки на 25—80 мм.

В последнее время валки второго типа получили широкое распространение. Это объясняется тем, что большая длина выходного конуса в сочетании с правильной калибровкой оправки обеспечивает получение гильз с чистой поверхностью, точными геометрическими размерами и с большей степенью расширения.

Для выбора диаметра валков прошивной клетки Ю. М. Матвеев и Я. Л. Ваткин рекомендуют следующую формулу:

$$D_0 = 2D_{\text{т. макс}} + (400 \div 600) \text{ мм},$$

где $D_{\text{т. макс}}$ — максимальный диаметр прокатываемых на стане труб, мм.

Длина бочки валков прошивных клетей автоматических станов составляет 400—700 мм. Можно пользоваться следующей зависимостью длины бочки валка от диаметра его:

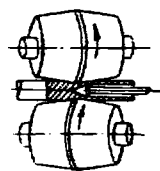
$$L_0 = (0,5 \div 0,65) D_0.$$

Углы наклона образующих входного и выходного конусов одинаковы или незначительно отличаются; в последнем случае угол выходного конуса несколько больше угла входного конуса. Для принятых на практике величин обжатия, расширения гильз и длины бочки валков эти углы можно принимать одинаковыми и равными 3—5,5°. Опыт показывает, что при этих значениях углов обеспечивается лучший захват, лучшая раскатка стенки гильзы, меньшая овализация и более чистая поверхность гильзы, чем при больших значениях углов.

В прошивных клетях можно получать гильзы необходимых размеров из заготовок различного диаметра, не меняя калибровки валков. При изготовлении труб установленного сортамента желательно иметь минимальное число заготовок различного диаметра. Практикой установлено, что большое расширение или редуцирование гильзы приводит к увеличению напряжений в металле и ухудшает качество гильз. Следует применять незначительное расширение гильзы по диаметру и по возможности избегать ее редуцирования. В связи с этим применяют заготовки с диаметром, близким к диаметру гильзы. Отклонение диаметра заготовки от необходимых размеров гильзы обычно не превышает $\pm 10\%$.

Длину заготовки выбирают в зависимости от необходимой длины трубы. При прокатке труб, длина которых не регламентируется, оптимальной длиной является такая, которая обеспечивает получение труб максимально возможной длины. Очевидно, что гильза для такой трубы должна умещаться в выходном желобе прошивной клетки.

При прокатке труб мерной длины следует проверять возможность получения их кратных размеров и выбирать длину заготовки в соответствии с максимально возможной кратной длиной трубы.



Р и с. 394. Схема прошивки заготовки в валковой прошивной клетке

Для уменьшения возможности самообразования полости перед оправкой и улучшения качества гильз носок оправки выдвигают в конус прошивки на некоторое расстояние.

Прошивку ведут с минимальной овализацией заготовки, поэтому расстояние между линейками незначительно превышает расстояние между валками. Максимальный коэффициент вытяжки при прошивке колеблется в пределах 4,5—4,8.

Основная деформация металла при прошивке сплошной заготовки в пустотелую гильзу происходит на оправке. Диаметр оправки в любом сечении очага деформации в сочетании с диаметром валка в этом же сечении определяет размер щели, от которой зависит обжатие. Следовательно, форма оправки определяет в основном распределение обжатий в зоне деформации и в значительной мере стойкость инструмента, от которой зависит качество труб. Оправка работает в тяжелых условиях, длительное время находясь в соприкосновении с горячим металлом и

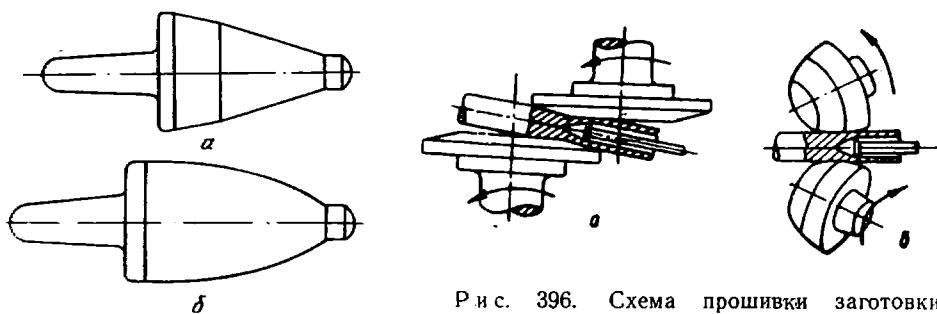


Рис. 395. Оправки прошивных клетей

Рис. 396. Схема прошивки заготовки в прошивных клетях:
а — с дисковыми валками; б — с грибовидными валками

испытывая большие давления, которые вызывают ее быстрый износ. Очень важно, чтобы износ оправки был возможно более равномерным. Местный интенсивный износ вызывает появление дефектов на внутренней поверхности гильз. Вследствие чрезмерного износа и сильного разогрева оправка приваривается к обрабатываемому металлу; в этом случае прекращается процесс прошивки и оправка остается в заготовке («закатывается»). Поэтому определение формы и размеров инструмента имеет важное значение.

Наибольшее распространение в отечественной промышленности имеет оправка, форма которой показана на рис. 395.

Рабочая поверхность оправки обычно состоит из четырех участков: носика оправки, рабочего конуса, конуса поперечной раскатки и цилиндрического пояса или обратного конуса. Впервые носик на оправке был применен советскими инженерами И. В. Дубровским и Л. И. Матлаховым. Носик на оправке предназначен для того, чтобы при прошивке участок оправки, непосредственно примыкающий к носику, соприкасался неплотно или совсем не соприкасался с деформируемым металлом и поэтому разогревался в значительно меньшей степени. Последнее обеспечивает лучший отвод тепла от носика и повышает его стойкость. Случаев приваривания оправки к металлу заготовки почти не бывает.

Рабочий конус оправки выполняют различной формы. Образующая конуса может быть прямой линией (конические оправки, рис. 395, а) или дугой окружности (сферические оправки, рис. 395, б). Применяют также оправки с рабочим конусом, очерченным по специальной кривой.

Конус поперечной раскатки предназначен для получения равномер-

ной толщины стенки; иногда его называют калибрующим. Угол этого конуса обычно равен углу выходного конуса валка.

Последний участок оправки выполняют в виде цилиндрического пояса или в виде обратного конуса. Этот участок предотвращает возможные порезы внутренней поверхности гильзы торцовой поверхностью оправки.

В последнее время на советских заводах начали применять оправки, охлаждаемые водой изнутри.

Наиболее важное значение имеет правильный выбор материала для оправки. Охлаждаемую оправку не снимают после каждой прошитой гильзы, так как во время прошивки заготовки она нагревается незначительно, а во время отвода стержня назад и последующего возврата в исходное рабочее положение успевает охладиться циркулирующей в ней водой.

При применении охлаждаемой оправки увеличивается производительность стана за счет сокращения простоев, связанных со сменой оправки, а также имеется возможность автоматизации процесса прошивки.

Прошивку заготовки в гильзу осуществляют также в прошивных клетях с дисковыми и грибовидными валками (рис. 396). Прошивные клетки с дисковыми валками в связи с рядом технологических и конструктивных недостатков не входят в состав современных автоматических станков.

В прошивных клетях с грибовидными валками проекции осей валков в горизонтальной плоскости образуют угол 60° и углы по $7^\circ 30'$ с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось прошивки. Преимуществом этих прошивных клеток по сравнению с валковыми и дисковыми прошивными клетями является то, что скольжение гильзы относительно валков минимальное. Это объясняется тем, что окружная скорость грибовидных валков по длине очага деформации непрерывно повышается в соответствии с увеличением окружной скорости гильзы.

Прошивку заготовки в гильзу на прессе применяют сравнительно редко. Одним из ее достоинств является возможность использования квадратной заготовки. Для прошивки применяют горизонтальные и вертикальные прессы, главным образом гидравлические и гидромеханические. Для уменьшения разностенности гильз заготовки предварительно калибруют на специальных прессах. Полученные на прессах гильзы раскатывают в клетях, по конструкции аналогичных валковым прошивным, но отличающихся от них калибровкой валков.

На рис. 397 показана чистовая (раскатная) клеть автоматического стана, в которой гильзу, поступившую с прошивной клетки, прокатывают в трубу. Чистовая клеть представляет собой нереверсивную клеть дуо с приводом валков от электродвигателя через редуктор с маховиками, шестеренную клеть и универсальные шпиндели. Для увеличения жесткости станины чистовой клетки выполнены закрытого типа. После каждого прохода оправку снимают со стержня, а трубу возвращают на переднюю сторону чистовой клетки при помощи роликов обратной подачи, расположенных за клетью и вращающихся в направлении, противоположном вращению валков. Для возврата трубы верхний валок несколько приподнимают, образуя увеличенный холостой калибр, а нижним роликом обратной подачи прижимают трубу к верхнему ролику. В результате трубу передают роликами через калибр рабочих валков на переднюю сторону чистовой клетки. Чтобы осуществить более быстрый подъем верхнего валка и ускорить передачу трубы роликами обратной подачи, подъем верхнего валка осуществляется клиновым механизмом, состоящим из сдвоенного клина, установленного между нажимными винтами

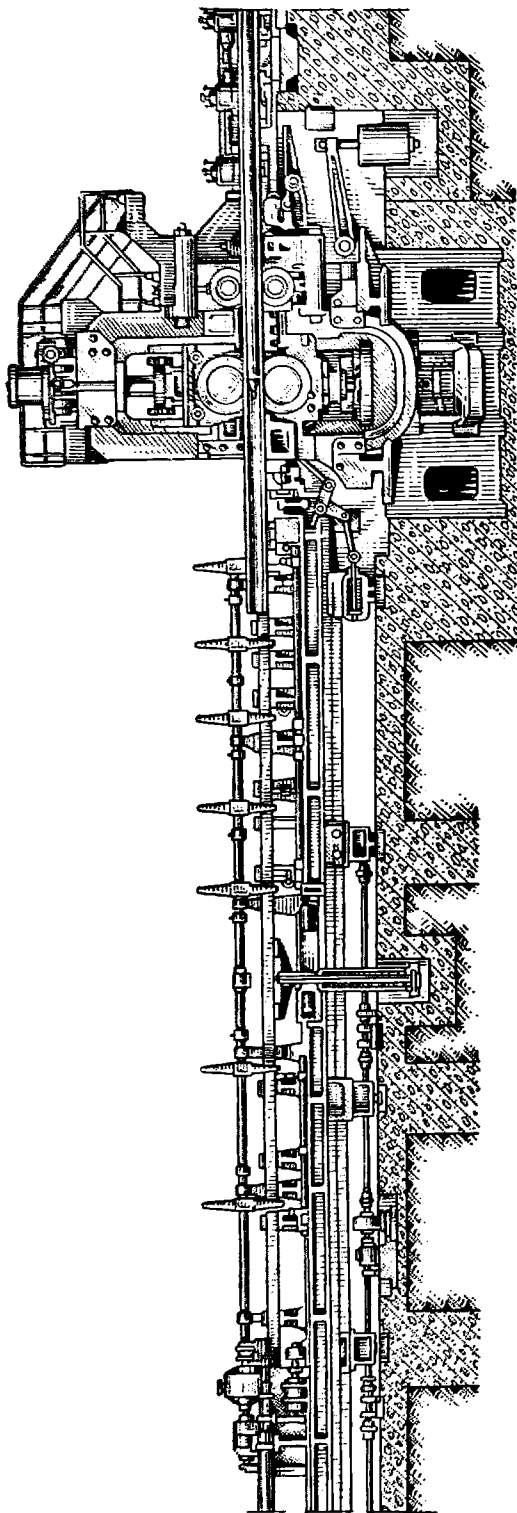


Рис. 397. Продольный разрез чистой (раскатной) клетки автоматического стана

и подушками, и кривошипно-шатунной передачи с приводом от электродвигателя. Верхний ролик обратной подачи во избежание трения о трубу при рабочем проходе установлен несколько выше ее и в процессе работы по высоте не регулируется.

С передней стороны чистовая клетка оборудована столом, представляющим собой массивную раму, перемещающуюся на катках по рельсам вдоль валков. На столе смонтирован вводный желоб, расположенный в центральной части стола. В задней части стола установлен пневматический вталкиватель с большим ходом штока, головка которого скользит во вводном желобе. Среднюю часть желоба часто выполняют поворотной, для того чтобы можно было задать трубу в валки другим концом.

При переходе на прокатку труб другого размера стол при помощи электродвигателя передвигают вдоль валков так, чтобы вводный желоб был установлен против соответствующего калибра. При изменении диаметра труб вводный желоб и связанные с ним механизмы при помощи подъемного механизма регулируют по высоте. Для выбрасывания прокатанных труб из желоба передний стол оборудован крюковым выбрасывателем.

Гильза, поданная в желоб переднего стола, задается вталкивателем в валки и прокатывается в круглом калибре на короткой оправке, установленной в центре калибра на конце длинного стержня (рис. 397 и 398).

После выхода из валков труба попадает в про-

водки, установленные на столе с задней стороны чистовой клетки. В конце заднего стола установлен упор в специальной траверсе для закрепления стержня.

Прокатка труб в чистовой клетке автоматического стана осуществляется обычно за два прохода независимо от толщины стенки трубы. Исследования показали, что в большинстве случаев третий проход не оказывает существенного влияния на качество труб. Суммарный коэффициент вытяжки при прокатке в этой клетке достигает 1,5—2,1. При $\mu < 1,5$ обжатие по стенке оказывается недостаточным для того, чтобы разгладить внутренние неровности гильзы. При $\mu > 2,1$ прокатку осуществляют в три прохода. В некоторых случаях (при изготовлении труб из высоколегированной стали, не допускающей больших обжатий, или особо тонкостенных труб и т. п.) прокатку производят в три и более проходов.

Внутри трубы перед прокаткой забрасывают смесь поваренной соли и графита или только соль, что уменьшает коэффициент трения между трубой и оправкой. Перед вторым проходом трубу обязательно кантуют на 90° . Недостаточно тщательная кантовка между проходами увеличивает поперечную разностенность труб.

Для улучшения качества труб наибольшее обжатие должно быть в первом проходе, когда гильза имеет более высокую температуру; второй проход должен быть отделочным. При достаточной мощности двигателя коэффициент вытяжки в первом проходе можно принимать до 1,8. Как показали опыты, при достаточной мощности двигателя прокатку труб малых размеров в чистовой клетке можно вести за два прохода на двух оправках одинакового диаметра (для первого и второго проходов), равного внутреннему диаметру трубы при втором проходе. Основная деформация при этом приходится на первый проход, а второй проход является отделочным. При таком способе прокатки уменьшается разностенность труб и улучшается их качество.

Прокатку труб в чистовой клетке автоматического стана осуществляют в круглом калибре на короткой оправке, установленной в центре калибра на конце длинного стержня. Особенностью такой прокатки является наличие в очаге деформации (рис. 398) двух зон: 1) редуцирования диаметра (от начала захвата гильзы до начала соприкосновения ее с оправкой); 2) обжатия стенки (от начала соприкосновения гильзы с оправкой до выхода трубы за линию центров). Первая зона характеризуется центральным углом α_p , а вторая — центральным углом α_o .

На рис. 399 представлена схема построения калибра чистовой клетки автоматического стана. При известной ширине калибра радиус выпуска определяют по формуле, полученной из геометрических соотношений:

$$\rho = \frac{r_k^2 + 0,25b^2 - br_k \cos \alpha_B}{2r_k - b \cos \alpha_B}.$$

На основании анализа заводских калибровок можно также принимать

$$\rho = (1,5 \div 2,0) r_k.$$

Внутренний диаметр гильзы d_r должен быть несколько больше внутреннего диаметра трубы d_a после чистовой клетки автоматического стана:

$$d_r = d_a + (2 \div 5) \text{ м.м.}$$

Наружный диаметр гильзы D_r определяют по формуле, предварительно задавая коэффициентом вытяжки μ_a в чистовой клетке автоматического стана:

$$D_r = \sqrt{d_r^2 + \mu_a (D_a^2 - d_a^2)}.$$

Учитывая, что наружный диаметр гильзы должен быть меньше ширины калибра, его проверяют по формуле

$$D_r \leq b = 2 \left[\sqrt{\rho^2 - (\rho - r_k)^2 \sin^2 \alpha_n} - (\rho - r_k) \cos \alpha_n \right].$$

Внутренний диаметр гильзы принимают на 2—5 мм больше диаметра оправки первого прохода, причем большие значения принимают для более толстостенных труб.

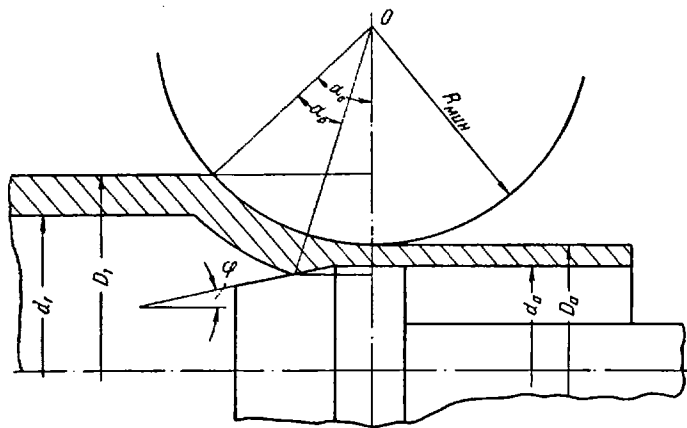


Рис. 398. Схема прокатки в чистовой клетке автоматического стана

Наружный диаметр трубы для обоих проходов остается неизменным; внутренний диаметр определяется размером оправки второго прохода.

Для улучшения наружной и внутренней поверхности трубы, устранения неровностей и рисок, а также для исключения овальности и уменьшения разностенности трубы подвергают обкатке в обкатной клетке, конструкция которой аналогична конструкции прошивной клетки. Рабочие валки наклонены один к другому и образуют с осью прокатки в вертикальной плоскости постоянный угол 6—7° 30'. Наклон рабочих валков обеспечивается соответствующим расположением гнезд подшипников в подушках.

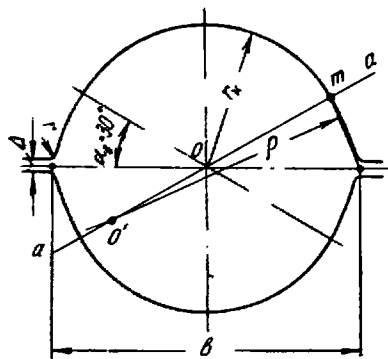


Рис. 399. Схема построения круглого калибра чистовой клетки

При обкатке диаметр трубы увеличивается, причем для тонкостенной больше, чем для толстостенной. При одинаковой толщине стенки большее увеличение диаметра применяют для труб большего диаметра. Увеличение диаметра составляет 3—9% диаметра трубы, прокатанной в чистовой клетке; абсолютное увеличение диаметра достигает 20 мм.

Расширение трубы по диаметру происходит за счет придания ей круглой формы, выравнивания толщины стенки по периметру и частично за счет раскатки и незначительного уменьшения толщины стенки. В результате увеличения диаметра обычно происходит укорочение трубы на 1—6%.

Увеличение диаметра трубы при обкатке достигается расширением трубы на оправке и лишь частично раскаткой ее стенки, поэтому диа-

метр оправки должен быть на 1—6 мм больше внутреннего диаметра трубы после прокатки в чистовой клетке (большие величины для труб малого диаметра и тонкостенных).

Для улучшения качества трубы в настоящее время принимают повышенные обжатия при обкатке, что определяет требования, предъявляемые к профилю инструмента, конструкции и приводу обкатной клетки. После обкатки трубы подвергают калибровке, в результате которой получают окончательные размеры. Калибровку труб осуществляют в непрерывной группе, состоящей из 3—7 клеток дуо с индивидуальным приводом валков каждой клетки (рис. 400).

Калибровочные клетки устанавливают на общей раме с наклоном попеременно в разные стороны под углом 45° к горизонтальной оси

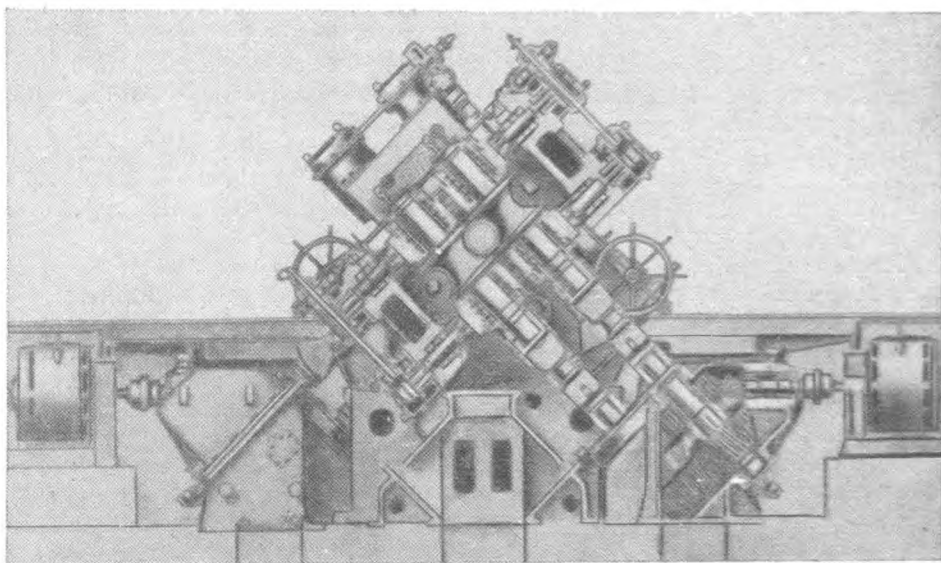


Рис. 400. Калибровочные клетки

Соседние клетки образуют угол 90° . Вследствие такого расположения клеток труба обжимается в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Калибры применяют обычно овальные с постепенно убывающим отношением осей до 1,0 в последней клетке. Суммарное обжатие при калибровке в трех клетках принимают 2—5 мм, в пяти 5—10 мм и в семи 7—15 мм. При калибровке труб происходит незначительное увеличение толщины стенки трубы.

На автоматических станах обычно прокатывают трубы диаметром не менее 57 мм. Дальнейшее уменьшение диаметра труб осуществляют в непрерывных редуцированных станах. Трубы после такой прокатки в горячем состоянии называют редуцированными. Редуциционный стан значительно увеличивает производительность автоматического стана. Кроме того, изготовление гильз малого диаметра вследствие малых размеров оправок затруднительно и становится технически и экономически нецелесообразным.

Трубы при редуцировании прокатывают без оправки, при этом происходит уменьшение диаметра трубы на 10—60% и соответствующее ее удлинение.

По конструкции редуционные станы разделяют на несколько типов, отличающихся числом валков, образующих калибр, расположением клетей, креплением в них валков и типом привода валков. Наибольшее распространение имеют редуционные станы с индивидуальным приводом валков для каждой клетки, причем валки располагают между опорами. Число клетей в зависимости от их конструкции и назначения равно 9—22.

На современных редуционных станах имеется возможность редуцирования труб диаметром до 170 мм. Минимальный диаметр трубы после редуцирования 30 мм и менее. Четырехвалковые станы редуцируют трубы диаметром до 17 мм.

Редуцированные трубы отличаются от прокатанных главным образом повышенной продольной разностенностью. Поэтому их используют в основном в качестве заготовки для станов холодного волочения и прокатки.

На трех- и четырехвалковых редуционных станах можно получить трубы значительно меньшего диаметра и с меньшей толщиной стенки, чем на двухвалковых.

Прокатка без оправки обычно сопровождается утолщением стенки, поэтому целесообразно вести редуцирование труб с натяжением, чтобы уменьшить утолщение стенки и создать условия работы, предотвращающие получение на трубах «гармошки».

Теоретические и экспериментальные исследования процесса редуцирования показали, что натяжение, применяемое в редуционных клетях, в пределах 2—3% приводит к утонению стенки в середине трубы и увеличению толщины стенки по ее концам и является основной причиной возникновения разностенности труб в продольном направлении. Если вести прокатку труб в редуционных клетях без натяжения, то можно уменьшить продольную их разностенность.

Однако большое натяжение труб приводит к значительному утонению стенок. При этом концы трубы длиной, равной (каждый) примерно удвоенному расстоянию между клетями, получают утолщенными и отрезаются как брак. Следовательно, применение редуцирования с натяжением целесообразно только при прокатке труб большой длины, когда обреш составляет относительно небольшую величину.

Схема автоматизации агрегата 400 приведена на рис. 401. Заготовка с загрузочной решетки 1 дозатором, управляемым оператором, подается на рольганг, который автоматически включается, направляя заготовки поочередно к одному из двух шлепперов 2. Заготовки на шлепперы подаются автоматическими выбрасывателями от импульса датчиков КД4 или КДб, причем после срабатывания выбрасывателей шлеппер перемещается на один шаг.

Со шлепперов заготовки скатываются по наклонной решетке к дозатору 3. После выдачи очередной заготовки из кольцевой печи под печи автоматически поворачивается на заданный угол, срабатывает дозатор подающей решетки, заготовка подается в позицию загрузки, автоматически захватывается загрузочной машиной и задается в печь. Выгрузка заготовок осуществляется машиной, управляемой оператором.

Из печи заготовка поступает на рольганг, который автоматически включается, если на предыдущей секции нет заготовки, и транспортируется к пневматической пушке 4 для центровки заготовки. Заготовка, нажимая на ствол, включает подачу сжатого воздуха в заднюю полость ствола; движением ударника заготовка центруется.

Если на следующей секции рольганга нет заготовки, то после подъема пушки заготовка поступает к выбрасывателю первого прошивного

стана 5 (при работе обонх станов) и по импульсу фотореле 6ФР выдается во входной желоб, если в нем нет заготовки, что контролируют фотореле Ф6 и Ф5.

Если на выходной стороне стана закрыт замок упорного подшипника, закрыты центрователи и нет гильзы на заднем столе, то заготовка, попадая в приемный желоб, засветит фотореле Ф5, толкатель включится на ход «вперед» и задаст заготовку в валки. Отвод толкателя осуществляет реле времени. В случае незахвата заготовки валками толкатель автоматически включается на повторный ход «вперед».

В процессе прошивки гильзы при помощи фотореле Ф8, Ф9 и Ф10 автоматически поочередно открываются центрователи. После прошивки заготовки от импульса реле нагрузки поднимаются упор замка подшипника и подъемные выводные ролики. Затем, если выбрасыватель заднего стола находится в исходном положении, электродвигатель упорного подшипника, управляемый по системе Г—Д, включается на ход «назад», и стержень с оправкой выводится из гильзы. Когда гильза засвечивает фотореле Ф11 и открыты центрователи, от импульса конечного выключателя двигатель останавливается и включается выбрасыватель, который, поворачиваясь, подает гильзу ко второму прошивному стану 6 и останавливается от импульса путевого выключателя поворота на 180°. подавая импульс на включение двигателя упорного подшипника на ход «вперед».

Операции на втором прошивном стане осуществляются так же, как и на первом. Если прошивка ведется только на втором стане, то остановка рольганга и включение выбрасывателя производится от импульса фотореле Ф12.

Прокатка труб на автоматическом стане 7 полностью автоматизирована. Начальный импульс поступает от фотореле Ф21 при подаче гильзы к стану. Дальнейшие операции осуществляются в соответствии со взаимным расположением механизмов и прокатываемой трубы.

Прокатанная на автоматическом стане труба рычагами укладывается на приемный рольганг первого 8 и второго 9 обкатных станов. Передача труб на второй обкатной стан производится перекрывателем над приемным рольгангом первого стана.

После прокатки на обкатном стане, если свободны приемные рольганги (фотореле Ф22 и Ф30 не засвечены), приемные рычаги поднимаются, принимают трубу и при открытых задних проводках опускают ее на приемный рольганг.

При подъеме рычагов первого стана поднимается перекрыватель и труба попадает на рольганг этого стана. Если второй стан готов к приему трубы и приемные рычаги подняты, то перекрыватель не поднимается и труба попадает на рольганг второго стана.

После опускания трубы рычагами задние проводки закрываются: если задний стол обкатного стана подготовлен к прокатке, т. е. закрыты центрователи, упорный подшипник подан в переднее положение, замок его закрыт и опущены подъемные ролики выводного рольганга (что контролируется датчиками), то подающий рольганг включается для задачи трубы в стан и после определенной выдержки выключается от импульсов фотореле Ф23 и Ф31. При незахвате трубы валками, определяемом реле времени и реле нагрузки на двигатель, рольганг автоматически реверсируется и производится повторная задача трубы в стан.

Механизмы на выходной стороне обкатного стана работают так же, как на выходной стороне прошивного стана. Выбрасыватели труб на выходной стороне заблокированы так, что обеспечивается поочередное их срабатывание в последовательности, предотвращающей попадание одно-

временно двух труб на отводящий рольганг. Этот рольганг автоматически включается только «вперед» при срабатывании выбрасывателей и засвечивании фотореле $\Phi 37$. Выключение рольганга осуществляется фотореле $\Phi 54$ с выдержкой.

При выходе трубы из калибровочного стана 10 засвечивается фотореле $\Phi 55$, если перед охлаждающим столом нет трубы и выбрасыватель находится в нижнем положении. От его импульса включается отводящий рольганг, подающий трубу к выбрасывателю на охлаждающий стол. По импульсу щеточного датчика $КД14$ рольганг останавливается и труба выбрасывателем направляется в звено шлепера. Если на рольганге

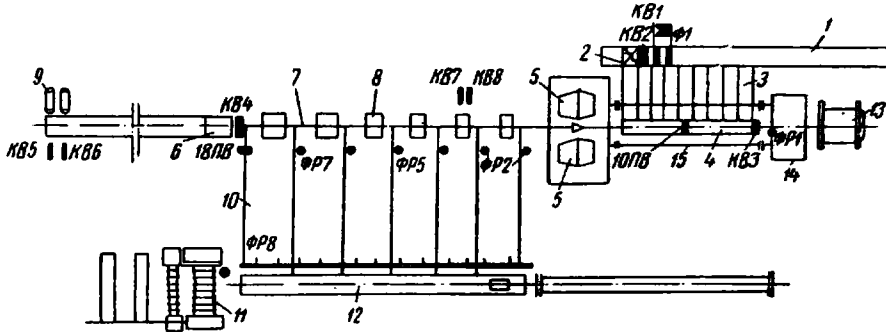


Рис. 402. Схема расположения фотореле путейх и конечных выключателей прошивной клетки автоматического стана

за первой секцией охлаждающего стола 11 находится труба, то секция останавливается, пока труба не будет убрана на вторую секцию 12 . После второй секции трубы подаются к первой 13 или второй 14 правильным машинам. Трубы задаются в правильные машины фрикционными заталкивателями.

При правке труб на первой машине дозатор подает трубу в приемный желоб в том случае, если перед дозатором находится не менее двух-трех труб (для гарантии захвата труб дозатором и подачи труб к нему), фрикционный толкатель находится в исходном положении, а фотореле $\Phi 38$ засвечено осветителем. После срабатывания дозатора привод толкателя включается на ход «вперед», если включен привод правильной машины.

При пересечении трубой луча от осветителя привод толкателя по импульсу фотореле $\Phi 38$ включается на пониженную скорость и затем с выдержкой на ход «назад», после чего от импульса конечного выключателя останавливается в исходном положении.

После правки и выхода трубы на задний рольганг по импульсу датчика $8КД$ труба выбрасывателем передается на отводящий рольганг, если на нем нет труб, что контролируется датчиком $5ЕД$.

Аналогично работают механизмы второй правильной машины. После правильных машин трубы рольгангами подаются к выбрасывателю на инспекционный стол. Выбрасыватели срабатывают при подходе трубы к щеточным датчикам, если не заполнена решетка стола, что также контролируется щеточными датчиками.

Несколько иная схема автоматизации прошивной клетки автоматического стана представлена на рис. 402. При подаче круглой заготовки от печи по рольгангу 1 передний конец ее включает флажок $\Phi 1$ и конечные выключатели $КВ1$ и $КВ2$, которые дают импульс на зажим заготов-

ки и включение зацентровщика 2; одновременно включается реле времени.

После зацентровки торца заготовки реле времени дает импульс на раскрытие зажима и выбрасывание заготовки на наклонную решетку 3. При скатывании по решетке в желоб 4 заготовка засвечивает фотореле *ФР1*, которое дает команду на закрытие крышки желоба 4 перед прошивной клетью; при этом срабатывает конечный выключатель *КВ3*, который дает импульс на включение толкателя заготовки в валки 5 прошивной клетки.

При захвате металла валками и увеличении нагрузки главного двигателя толкатель от импульса токового реле в цепи двигателя возвращается в исходное положение, крышка желоба открывается для приема с наклонной решетки следующей заготовки и открывается дистрибутор подачи воздуха в цилиндр подъема упора подшипника 6 стержня 7 (упор не поднимается вследствие осевого давления на стержень).

При выходе гильзы из валков передний ее конец засвечивает фотореле *ФР2—ФР7*, которые дают импульс на поочередное открывание центрователей 8 по мере продвижения. По окончании прошивки прекращается осевое давление на стержень, упор упорного подшипника поднимается под давлением воздуха в цилиндре и одновременно включает конечный выключатель *КВ4*, который дает импульс на открывание всех центрователей гильзы, подъем роликов рольганга заднего стола и включение двигателей 9 привода упорного подшипника назад. Крайнее заднее положение упорного подшипника ограничивается конечными выключателями *КВ5* и *КВ6*. Подъемные ролики рольганга приводятся от двигателя; они перемещают гильзу до ограничительного люнета.

При движении назад упорного подшипника со стержнем последний полностью выходит из гильзы и включает конечный выключатель *КВ7*. Этот выключатель дает команду приводу выбрасывателя, который выбрасывает гильзу на наклонную решетку 10 к автоматическому стану 11. Скатываясь по наклонной решетке, гильза рычагами задерживается и останавливается перед желобом 12. Импульс на подачу гильзы в желоб дает фотореле *ФР8* перед клетью, которое срабатывает после окончания прокатки предыдущей гильзы в автоматическом стане.

Подача упорного подшипника со стержнем вперед к прошивному стану производится оператором при помощи нажатия кнопки. При движении вперед стержень включает конечный выключатель *КВ8*, который переводит двигатель упорного подшипника в режим «ползучей» скорости, что необходимо для точного попадания конца стержня в отверстие прошивной оправки, находящейся в валках 5 прошивной клетки.

При остановке упорного подшипника у стола его конечный выключатель дает импульс на закрытие всех центрователей и опускание подъемных роликов; последние дают импульсы на включение вталкивателя для подачи очередной заготовки в валки прошивной клетки. Привод валков 5 осуществляется главным двигателем 13 через редуктор 14 и универсальные шпиндели 15.

Операция по центровке заготовок на прошивных станах выполняется автоматически при помощи пневматической пушки, показанной на рис. 403.

Горячая заготовка 1, подходя вплотную к срезу ствола пушки 2, засвечивает фотореле *ФР1*, дающее импульс на включение прижима 3, остановку рольганга 4 и через небольшую выдержку на включение соленоидного клапана *ДП* для осуществления удара. В полости ствола пушки сжатым воздухом разгоняется массивный боек 5, который, ударяя, выбивает в заготовке лунку. После удара заготовка обычно отбра-

сывается на расстояние, необходимое для сбрасывания. Однако тяжелые заготовки остаются в пределах габаритов пушки. Для отвода таких заготовок рольганг должен быть включен в обратном направлении. Это осуществляется с помощью фотореле $\Phi P2$, контролирующего дальность отвода заготовки. Это реле срабатывает после удара, если оно засвечивается. В этом случае рольганг автоматически включается в обратном направлении и останавливается, когда $\Phi P2$ затемняется. Вместе с затемнением $\Phi P2$ подается импульс на сбрасыватель, причем заготовка выбрасывается на решетку желоба прошивного стана, когда толкатель, задающий ее в валки прошивного стана, находится в крайнем заднем

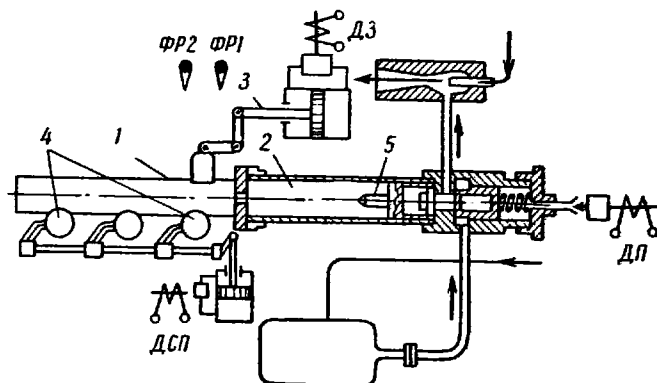


Рис. 403. Устройство пневматической пушки для центровки заготовки

положении. Задачу заготовок в валки прошивного стана производят с помощью пневматического вталкивателя.

Схема автоматизации вталкивателя с использованием исчезающего упора надежно работает на валковых прошивных станах.

Автоматизация выходной стороны прошивных станов стала возможной в результате внедрения несменяемых оправок. Это позволило исключить операцию смены оправок после каждой прошивки и высвободить рабочих, занятых на этой операции.

Схема автоматизации выходной стороны прошивных станов зависит от их конструкции. На прошивных станах автоматических установок стержень с оправкой после прошивки отводится от валков и выходит из гильзы, освобождая ее для выбрасывания. Продольное перемещение стержня с подшипником осуществляется электродвигателем или длинноходовым цилиндром. В случае применения электропривода автоматизация не вызывает затруднений. Автоматическое управление реверсивными двигателями осуществляется в функции пути подшипника. Для сокращения времени разгона и торможения с целью уменьшения махового момента установлены спаренные электродвигатели.

Автоматизация пневмопривода упорных подшипников более сложна. Ее удалось осуществить с применением специальной системы управления со счетно-решающим устройством. Система контролирует давление в магистрали и скорость движения подшипника, регулирует перемещение длинноходового пневмоцилиндра так, чтобы поршень подходил в переднее или заднее положение с определенной, заранее установленной скоростью. Скорость выбирается такой, чтобы не было сильных ударов о передний или задний гидробуферы.

На прошивных станах автоматизирована также работа вспомогательных механизмов, таких как крышки проводок, выбрасыватели и др.

Трубы на автоматических станах прокатывают за два прохода со следующими операциями: засыпка соли в гильзу, установка оправки первого прохода, задача гильзы в валки автоматического стана, разведение валков и передача трубы на передний стол роликами обратной подачи, кантовка трубы на 90° , установка оправки второго прохода, сведение валков, задача трубы в валки, прокатка и возврат на передний стол, передача к обкатным станам.

Автоматизация кантовки труб и задачи в валки осуществлена при помощи фрикционного кантователя-вталкивателя (рис. 404). Он имеет фрикционные ролики 1, приводимые от электродвигателя 2 через редук-

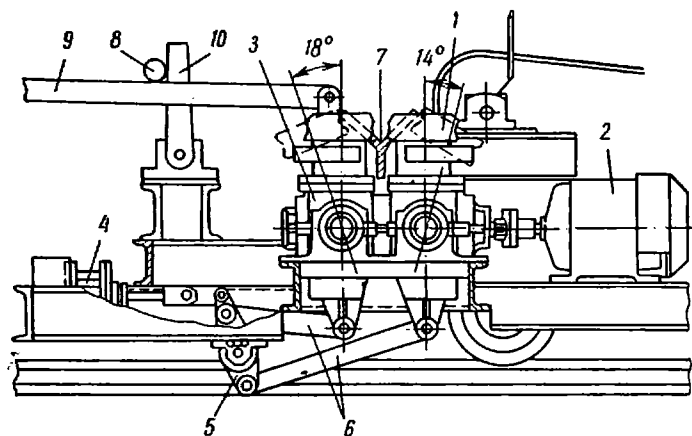


Рис. 404. Фрикционный кантователь-вталкиватель.

торы 3. Механизм развода роликов состоит из пневмоцилиндра 4 и рычажной системы. При включении пневмоцилиндра шток, перемещаясь, поворачивает двуплечий рычаг 5, к которому шарнирно прикреплены тяги 6, соединенные с проушинами редукторов. Тяги, поворачивая оси роликов, разводят их. Для регулирования величины разведения роликов в соответствии с размером прокатываемых труб в пневмоцилиндре имеется устройство, изменяющее ход поршня цилиндра. Оно состоит из гайки и подвижной крышки. Вращая гайку штурвалом, перемещают крышку и изменяют ход поршня.

Кантователь-вталкиватель устанавливается под передним столом автоматического стана так, чтобы ролики входили в прорези желоба 7. Прошитая гильза 8, скатываясь по наклонной решетке 9, задерживается дозатором 10, который подает ее в желоб после удаления из него прокатанной трубы. Для подачи гильзы в валки ролики сходятся и, вращаясь, вталкивают гильзу в валки; затем они вновь разводятся.

Гильза, выданная роликами обратной подачи в желоб переднего стола, овальна. При вторичной ее задаче в валки она одновременно кантуется роликами на 90° . Затем труба возвращается в желоб переднего стола и выбрасывается на передаточную решетку обкатных станом.

Фрикционные ролики позволяют задавать трубу со скоростью 7—10 м/сек в зависимости от массы трубы.

Автоматизация смены оправок на автоматическом стане агрегата 400 выполнена с учетом сравнительно невысокого темпа прокатки и

большой массы оправок. Для смены оправок применяют специальный механизм, снимающий и устанавливающий на ось прокатки каждую из двух оправок. Механизм имеет два цилиндра, на передней стороне которых крепятся головки с зажимными губками. Цилиндры подвешены на рычагах с входной стороны стана, которые после выхода на линию прокатки перемещаются вдоль ее оси. Один рычаг несет оправку первого прохода, а другой — второго, удерживая их за выступающий стержень-шпильку. После первого прохода, когда труба находится на заднем столе автоматического стана, рычаг подводит цилиндр к оправке, захватывает ее за шпильку движением назад, извлекает оправку и останавливается в верхнем положении, освобождая место для выхода трубы на передний стол. Оправка, находясь в верхнем положении, охлаждается душирующим устройством.

Для автоматического стана агрегата 350 разработан и испытан механизм для смены оправок шаровой формы. Сферическая форма оправок упрощает механизацию и автоматизацию их смены.

В последнее время разработана технология прокатки труб на автоматическом стане за два прохода на одной конической долгоработающей оправке и создан механизм для установки оправки со «спутником». Механизм расположен непосредственно у валков и представляет собой цилиндр, шток которого шарнирно связан со специальной постелью.

Оправка со «спутником» захватывается трубой, задаваемой в валки стана, и самоустанавливается на стержне. После прохождения трубы на задний стол оправка падает на постель, опускается под желоб и за время подачи трубы на передний стол охлаждается водой. Затем оправка пневмоцилиндром подается на ось прокатки и цикл повторяется. При этом верхний валок специальным регулятором опускается несколько ниже, чем в первом проходе. Этим достигается получение трубы с требуемой толщиной стенки. Оправки такой конструкции выдерживают прокатку 180—200 труб.

Большинство операций на обкатных станах автоматизировано, кроме регулирования нажимных устройств, удержания и установки оправки и засыпки соли в трубу. Системы автоматики в основном аналогичны примененной на агрегате 400. Они обеспечивают поочередную подачу труб в желоб каждого из станов, предотвращая попадание двух труб в один желоб, и требуемую последовательность работы механизмов входной и выходной сторон. Принцип работы механизмов входной и выходной сторон такой же, как и на прошивных станах.

Режим нагрева, выдача заготовок из печей, а также транспортировка их к станам на всех печах автоматизированы. Выдача заготовок из печи на методических печах всех станов автоматизирована. Двигатель механизма выдачи включается от специального регулятора темпа прокатки. Этот регулятор имеет дистанционную настройку заданного темпа и две шкалы — установочную «задано» и показывающую «выдано», отградуированную в шт/ч. Регулятор темпа устанавливается обычно на максимальную производительность, выталкиватель включается от специального датчика при освобождении рольганга выдачи.

Регулятор темпа (рис. 405) с механическим регулируемым задатчиком темпа 7 представляет собой реле времени с фрикционным диском 1, вращающимся от синхронного двигателя 2, с которым находится в контакте ролик 3, установленный в перемещающейся каретке 4. С роликом связаны кулачки 5, один из которых включает звуковой сигнал (звонок), предупреждающий сварщика о предстоящей выдаче, а второй через 2—3 сек включает привод толкателя на ход «вперед». Одновременно включается и соленоид 6, соединяющий барабан «задано» с

постоянно включенным двигателем 7. Толкатель включается на ход «вперед» и выдает заготовку из печи только в случае, если свободен рольганг перед прошивным станом. При выходе заготовки из печи фо-

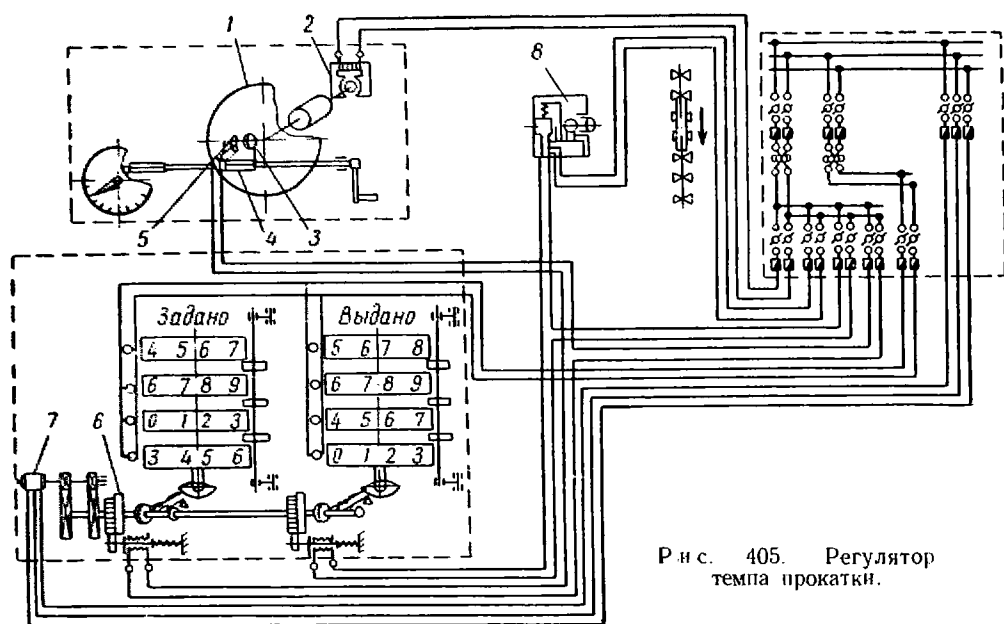
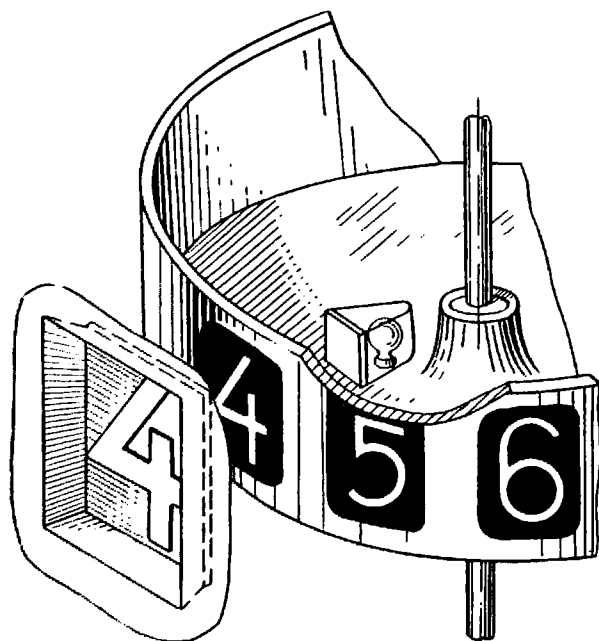


Рис. 405. Регулятор темпа прокатки.



тореле 8 включает соленоид барабана «выдано», и он поворачивается на очередную цифру.

Вместо механического задатчика темпа применяют электронное реле времени в сочетании с электромагнитным. Первое в соответствии с заданным темпом включает звуковой сигнал, а электромагнитное реле после выдержки 3 сек включает выталкиватель.

Применение регуляторов темпа прокатки позволяет улучшить нагрев заготовок, равномерно загрузить прошивной стан и высвободить операторов выталкивателя. Однако при помощи такого регулятора нельзя вести прокатку в оптимальном темпе. Для этого нужно устройство с автоматическим поиском узкого места в линии агрегата и выбором темпа выдачи в соответствии с пропускной способностью этого узкого места.

2. НЕПРЕРЫВНЫЕ СТАНЫ

Преимуществом непрерывных станов по сравнению с другими трубопрокатными агрегатами является малая продолжительность процесса прокатки относительно короткой толстостенной гильзы в тонкостенную трубу, что позволяет изготавливать сравнительно тонкостенные трубы и из легированных сталей, прокатываемых в узком температурном интервале. Однако недостатки конструкции этих установок и несовершенство технологии привели к тому, что основные преимущества непрерывного стана не могли быть полностью использованы. Только в послевоенные годы были достигнуты успехи в области производства труб на непрерывных станах [VI. 24].

Современный непрерывный стан 30—102 (рис. 406) предназначен для производства бесшовных труб диаметром 29—102 мм, длиной 6—12 м и толщиной стенки 1,75—8,0 мм из углеродистых и легированных сталей [I. 7, 10].

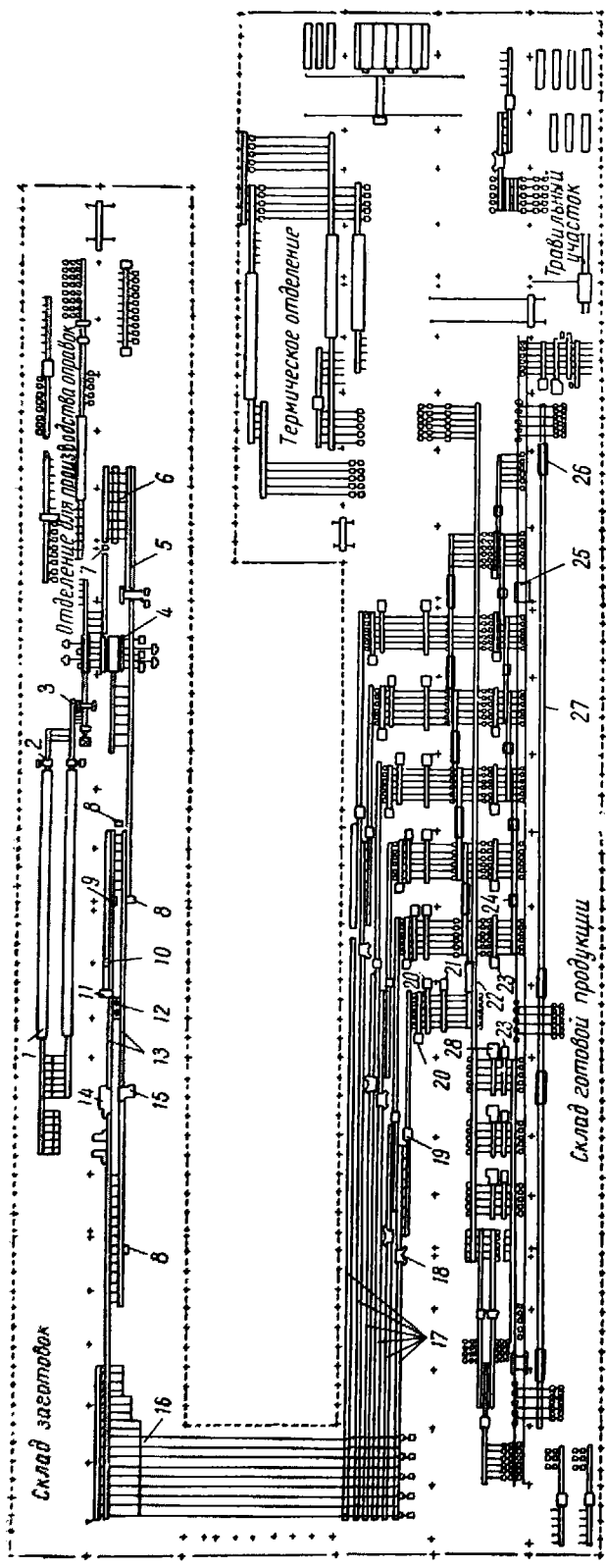
Для производства труб применяют круглые катаные штанги длиной 4,7—12 м и диаметром 140 мм (за исключением тех случаев, когда для изготовления труб применяют некоторые высоколегированные стали). Для повышения производительности, поддержания стабильности режимов работы установки и сокращения парка инструмента приняты технологические параметры (вытяжка, скорость и др.), позволяющие использовать при прокатке всего сортамента готовых труб заготовки, гильзы и черновые трубы постоянных диаметров соответственно 140, 134 и 108 мм при различных толщинах стенок.

Со склада пакеты заготовок подают при помощи мостовых кранов на качающиеся загрузочные решетки двух секционных печей скоростного нагрева. Под решетками размещены весы для взвешивания пакетов. После взвешивания заготовки по одной подаются дозаторами к механизму, укладывающему их поочередно на первую и вторую линию загрузочного рольганга секционных печей.

Заготовки транспортируют через печь по двухручьевым водоохлаждаемым роликам, расположенным между секциями. Во избежание искривления заготовок во время их нагрева ролики рольганга установлены под углом 80° к поперечной оси печи, благодаря чему заготовки при передвижении вращаются вокруг своей оси. В зоне выдержки (камера зоны выдачи) заготовки движутся по консольным роликам, обеспечивающим независимую выдачу заготовок из печи и возврат их в печь после отрезки заготовки заданной длины, а также возвратно-поступательное движение (покачивание) их во время выдержки.

Заготовки выдают последовательно с каждого ручья обеих печей ввиду того, что длина штанги больше, чем это необходимо для прокатки. Остаток заготовки после каждого реза возвращается в камеру выдержки. За каждой печью установлены консольные ножницы с нижним резом, снабженные прижимом и плавающим эксцентриковым валом.

Нагретые и разрезанные заготовки поступают по наклонной решетке в приемный желоб валкового прошивного стана. Перед прошив-



Р и с. 406. Схема расположения оборудования непрерывного трубопрокатного стана:

1 — нагревательная печь; 2 — делительные ножницы; 3 — прошивной стан; 4 — непрерывный стан; 5 — сварочный стан; 6 — ванна для охлаждения оправок; 7 — промасливающее устройство; 8 — дисковая пила; 9 и 10 — первая и вторая сварочные машины; 11 — петлевое устройство; 12 — правящая машина; 13 — индукционная печь; 14 — 18-клеточная печь; 19 — 11-клеточный редукционный стан; 20 — трубоотрезной стан; 21 — станок для продвки трубы; 22 — приборы автоматического контроля; 23 — клеймовочный станок; 24 — машина для промасливания трубы; 25 — эстакада с тележками; 26 — весы; 27 — транспортный рольганг; 28 — гидравлические прессы

кой заготовку центрируют пневматическим центрователем и задают толкателем в валки.

Угол наклона валков прошивного стана изменяется в пределах 6—12° при помощи поворотного барабана. Прошивку можно осуществлять на проводках качения (направляющие ролики) и на проводках скольжения (линейки). При прокатке с применением роликов ось прошивки поднимается на 35 мм. Для того чтобы расположение очага деформации оставалось симметричным относительно оси прошивки, валки стана поворачивают на 2° относительно положения, принятого при прокатке на линейках, когда ось прошивки совпадает с осью валков; в процессе деформации участвуют обе линейки — верхняя и нижняя.

Особенностью стана является конструкция выходной стороны с осевой выдачей гильзы, при которой стержень, оставаясь неподвижным, удерживается последовательно срабатывающими роликовыми центрователями. Применение роликовых центрователей обеспечивает надежную центровку стержня и гильзы во время прошивки. Установленный в механизме крепления стержня упорный подшипник обеспечивает свободное вращение стержня с оправкой при прошивке, что способствует повышению стойкости инструмента и скорости прошивки. Конструкция упорного подшипника позволяет интенсивно охлаждать стержень и оправку водой.

После прошивки гильза передается выдающими роликами на рольганг, установленный за прошивным станом, а затем на приемную решетку перед непрерывным станом, выравнивающий рольганг, и в приемный желоб непрерывного стана. В желобе гильза удерживается пневматическим зажимом, предотвращающим ее перемещение при введении оправки. Предварительно смазанная оправка вводится в гильзу толкателем. Наружный диаметр оправки определяет внутренний диаметр черновой трубы, получаемый на непрерывном стане.

При выходе переднего конца оправки из гильзы на заданную величину пневматический зажим раскрывается и толкатель задает гильзу вместе с находящейся в ней оправкой в валки непрерывного стана.

Клетки стана расположены под углом 45° к горизонтальной плоскости (рис. 407). Чтобы устранить уменьшение скорости двигателя в момент захвата заготовки, клетки снабжены маховиками. Наличие девяти клеток позволяет вести процесс раскатки гильзы на оправке практически без натяжения.

После выхода из непрерывного стана трубы вместе с оправкой поступают на холостой рольганг, где устанавливаются при помощи подъемных тормозных клапанов в такое положение, чтобы конец оправки выходил за люнет оправкоизвлекателя. После остановки тормозные клапаны возвращаются в исходное положение и труба с оправкой передается шлеппером последовательно на один из двух вводных рольгангов двоянного оправкоизвлекателя. Задача конца оправки в люнет осуществляется при помощи вводных рольгангов. По выходе конца оправки из упорного люнета люнет зажимается, предохраняя трубу от заклинивания при извлечении оправки. Максимальное усилие оправкоизвлекателя равно 400 кн (40 тс).

Оправки, извлеченные из трубы, подают на непрерывно движущуюся цепь оправкоизвлекателя, транспортирующую их на рольганг, который передает оправки к приемной решетке ванны для охлаждения. По решетке оправки с помощью специального механизма подаются в ванну, охлаждаются и передаются к промасливающему устройству. После нанесения смазки оправки вновь поступают к непрерывному стану, и цикл повторяется.

Черновые грубы после извлечения из них оправки подаются по передающей наклонной решетке на участок резки, где установлены две дисковые пилы, предназначенные для отрезки переднего и заднего концов трубы. После обрезки трубы в зависимости от их размеров поступают на одну из двух параллельно расположенных линий редуцирования. Первая линия редуцирования состоит из индукционной подогревательной печи, 19-клетевого редуциционного стана для прокатки с натяжением труб диаметром 29—73 мм. Вторая линия состоит из индук-

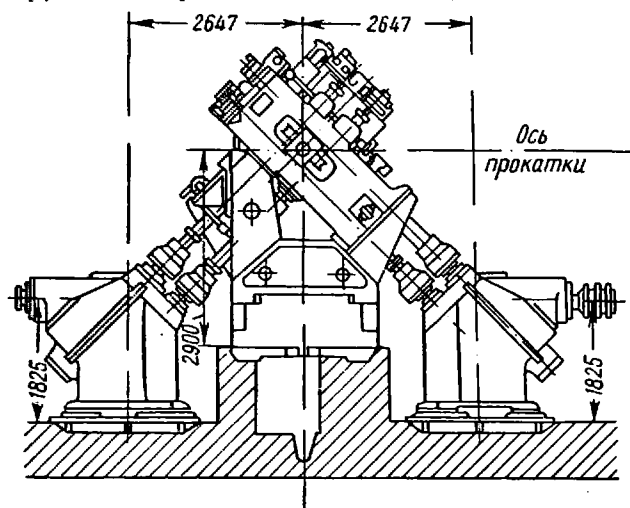


Рис. 407. Рабочая клеть непрерывного трубопрокатного стана

ционной подогревательной печи и 11-клетевого редуциционного стана для прокатки труб диаметром 68—102 мм. Индукционные печи в обеих линиях одинаковые. Трубы нагреваются в них с температуры 400—550 до 930—1100 °С. Каждая из печей представляет собой последовательно расположенные 16 индукторов общей мощностью 9 тыс. кВт (для каждой печи). Частота тока, питающего индукторы, составляет 2,5 кГц; скорость прохождения трубы через индуктор 1,25—1,8 м/сек; общая длина каждой печи 20 м.

Редуциционный стан состоит из трехвалковых клетей. Первые по ходу прокатки 17 клетей (черновые) имеют дифференциально-групповой привод, последние две (чистовые) — общий привод. Стан рассчитан на прокатку труб с натяжением и утонением стенки до 50% (с 1,75 до 6 мм). Можно также вести процесс с сохранением первоначальной толщины стенки. Длина труб равна 40—135 м.

Настройку клетей осуществляют вне стана на специально установленных стендах. Возможность регулировки валков черновых клетей не предусмотрена. Валки чистовых клетей смонтированы на осях, поворотом которых при помощи червячной передачи можно регулировать размер калибра. Диаметр валков 300—350 мм; расстояние между клетями 320—340 мм; максимальная скорость выхода трубы из редуциционного стана 12 м/сек. Валки черновых клетей приводятся от двух двигателей постоянного тока мощностью по 1400 кВт, 200—420 об/мин. Валки чистовых клетей приводятся электродвигателем постоянного тока мощностью 67 кВт, 580 об/мин.

Аналогичный по конструкции 11-клетевой редуциционный стан установлен параллельно 19-клетевому редуциционному стану и предназна-

чен для прокатки труб диаметром 68—102 мм, длиной 21,5—40 м и толщиной стенки 3—8 мм. Редуцирование труб на этом стане производится из заготовки размером 108×3,8 мм, получаемой на непрерывном стане.

Стан состоит из девяти черновых клетей, имеющих дифференциально-групповой привод, и двух чистовых клетей, установленных на общей раме и имеющих общий привод. Расстояние между клетями 300—340 мм; диаметр валков 300—350 мм. Скорость выхода труб из стана 2,9 м/сек. Стан рассчитан на редуцирование труб как с натяжением, обеспечивающим прокатку с сохранением толщины стенки, так и без натяжения, что позволяет вести прокатку с утолщением стенки.

Валки черновых клетей стана приводятся от двух двигателей постоянного тока: одного мощностью 420 квт, 200—420 об/мин и второго мощностью 200 квт, 400—800 об/мин. Валки чистовых клетей приводятся от двигателя постоянного тока мощностью 46 квт, 625 об/мин. Трубы, прокатанные на 19-клетевом редуциционном стане со скоростью до 7 м/сек, нарезаются летучей пилой, а прокатанные со скоростью более 7 м/сек — летучими ножницами, которые делят трубу на длины 16, 18, 20 и 24 м. Однако в системе запуска предусмотрена возможность разрезки труб и на более короткие части.

После 11-клетевого редуциционного стана трубы нарезаются качающейся дисковой пилой.

Разрезанные трубы с обеих линий редуцирования передаются рольгангом к сбрасывающему устройству охладительного стола, которое предназначено для затормаживания и передачи труб с отводящего рольганга за редуциционными станами на шнековую секцию охладительного стола. На охладительном столе трубы охлаждаются до 50—80 °С.

За охладительным столом установлено устройство, предназначенное для распределения труб на каждую из шести поточных линий отделки. Распределение труб на свободную линию отделки осуществляется оператором при помощи специального устройства.

В прокатном отделении цеха расположено оборудование для изготовления оправок. На этом оборудовании изготавливают новые оправки длиной 19,5 м и диаметром 91—100 мм для прокатки на них труб из углеродистой и легированной сталей; длиной 12,5 м и диаметром 79—86 мм для прокатки труб из нержавеющей сталей; реставрируют вышедшие из строя оправки; извлекают закатанные оправки. Заготовки для оправок являются круглые штанги диаметром 105 мм из стали 0ХН2Ф.

Отделка труб производится на шести поточных автоматизированных линиях, каждая из которых включает необходимый комплекс станков. Это позволяет обеспечить максимальную автоматизацию всех операций. Каждая линия рассчитана на обработку в потоке до 1200 труб в час.

Распределительное устройство обеспечивает подачу труб с утолщенными концами после редуцирования с натяжением только на определенную поточную линию отделки для обрезки переднего или заднего концов трубы.

Наружный диаметр заготовки при прокатке труб на непрерывном стане принимают равным наружному диаметру гильзы или на 3—5% меньше его. Длину заготовки принимают в зависимости от длины прокатываемых труб.

Размеры гильзы определяют исходя из размеров трубы и общего коэффициента вытяжки в непрерывной группе клетей. На основании анализа хорошо работающих калибровок и результатов ряда исследова-

ний общий коэффициент вытяжки для непрерывной группы клетей можно принимать в пределах 5—7,5; большие значения принимают при прокатке труб из обычной углеродистой стали.

Внутренний диаметр гильзы принимают больше диаметра оправки, чтобы последняя свободно входила в гильзу. Обычно этот зазор принимают равным 5—7 мм.

Толщину стенки гильзы определяют по формуле

$$s_r = \sqrt{\frac{d_r^2}{4} + \frac{F_r}{\pi} - \frac{d_r}{2}},$$

где d_r — внутренний диаметр гильзы;

F_r — площадь поперечного сечения гильзы.

Расчет размеров трубы при прокатке на калибровочном стане аналогичен расчету для автоматического стана. При редуцировании трубы задаются суммарным обжатием в редуциционном стане. Распределение обжатия по отдельным клетям производят при расчете калибровки валков. Тогда наружный диаметр трубы после непрерывной группы клетей

$$D_n = D_r + \Delta D_k,$$

где ΔD_k — суммарное обжатие по диаметру в калибровочных или редуциционных клетях.

При редуцировании труб, имея в виду изменение толщины стенки, получаем зависимость

$$s_n = s_{гор} \pm \Delta s_p,$$

где Δs_p — изменение толщины стенки трубы при редуцировании; знак «плюс» соответствует уменьшению толщины стенки при редуцировании с натяжением, а «минус» — увеличению толщины стенки при редуцировании без натяжения;

$s_{гор}$ — толщина стенки трубы в горячем состоянии.

Расчет калибровки валков непрерывной группы клетей ведут против хода прокатки по заданным коэффициентам вытяжки. При распределении коэффициентов вытяжки по клетям необходимо учитывать уменьшение температуры металла при прокатке; последнее особенно важно учитывать при прокатке на длинной оправке вследствие охлаждающего действия инструмента с наружной и внутренней поверхностей трубы.

В последней клетке для обеспечения точности геометрических размеров и хорошего качества поверхности трубы следует принимать $\mu = 1,05$.

Зная коэффициенты вытяжки по клетям, можно определить площадь поперечного сечения трубы для каждой клетки начиная от последней. Площадь калибра является суммой площадей сечения трубы и ее отверстия:

$$F_{кл} = F_i + R_i f_i,$$

где f_i — площадь поперечного сечения оправки;

R_i — коэффициент раскатки, учитывающий отставание внутренней поверхности прокатываемой трубы от поверхности оправки.

Основным правилом для расчета калибровки непрерывного стана является сохранение постоянства секундных объемов металла. Так как в данном случае труба одновременно находится в нескольких клетях, несоблюдение этого правила вызывает петлеобразование или растяжение металла. Образование петли, особенно при прокатке на длинной

оправке, может привести к аварии. Чрезмерное натяжение создает надрывы на поверхности трубы, вызывает повышенное скольжение металла по поверхности калибров; последнее приводит к интенсивному износу валков.

Чтобы избежать образования петли и повысить производительность непрерывных станов, применяют определенное натяжение, которое не приводит к появлению дефектов на трубах. Таким образом, скорость выхода металла из каждой пары валков больше, чем это требуется из условия постоянства секундных объемов, т. е. секундный объем металла в любой из последующих клетей больше секундного объема металла предыдущей на величину натяжения:

$$W_{i+1} = W_i \left(1 + \frac{s_i}{100} \right),$$

где W_i и W_{i+1} — секундные объемы металла в данной и последующей клетях;

s_i — натяжение в последующей клетке.

Натяжение должно уменьшаться от первой клетки к последней.

Скорость трубы v_i выражается через катающий диаметр D_{ki} и число оборотов данной пары валков n_i , т. е.

$$v_i = \frac{\pi D_{ki} n_i}{60}.$$

Из условия постоянства секундных объемов получаем

$$F_{i+1} D_{k(i+1)} n_{i+1} = F_i D_{ki} \left(1 + \frac{s_i}{100} \right).$$

где F_i и F_{i+1} — площади поперечного сечения трубы, выходящей из данной и следующей клетей.

При известных числах оборотов валков можно найти их катающие диаметры:

$$D_{ki} = \frac{F_{i+1} D_{k(i+1)} n_{i+1}}{F_i n_i} \frac{100}{100 + s_i}.$$

Расчет катающих диаметров производят, начиная от последней по ходу прокатки пары валков, задаваясь их идеальными диаметрами. Выбор диаметра бочки валков можно рекомендовать по выражению

$$D_6 = 4D_{т.макс},$$

где $D_{т.макс}$ — максимальный диаметр труб, прокатываемых на стане

Катающий диаметр отделочной пары валков

$$D_{к.л} = D_6 + \Delta - 0,7d_k.$$

где d_k — диаметр калибра;

Δ — зазор между валками.

Для предотделочной пары валков

$$D_{к(n-1)} = \frac{F_n D_{кn} n_n}{F_{n-1} n_{n-1}} \frac{100}{100 + s_n}.$$

Аналогично определяют диаметры валков остальных пар. Если требуется определить число оборотов каждой пары валков, зная их диаметры, пользуются теми же зависимостями:

$$n_i = \frac{F_{i+1} D_{k(i+1)} n_{i+1}}{F_i D_{ki}} \frac{100}{100 + s_i}.$$

Зазор между оправкой и трубой для облегчения ввода ее в трубу составляет 5—7 мм. В первой и второй клетях производится только ре-

дуцирование трубы. В этих клетях труба еще не обкатывается на оправке и в них происходит некоторое утолщение стенки (до 0,25 мм). Коэффициент вытяжки составляет 1,005—1,010. Соприкосновение трубы с оправкой происходит только на небольшом участке в вершине калибра. Форма калибра в этих клетях овальная. Прокатка производится без натяжения. Основная деформация трубы происходит в третьей, четвертой и шестой клетях. В третьей и четвертой клетях обжатие по стенке составляет 5—6 мм, $\mu = 1,3 \div 1,6$. В пятой и шестой клетях обжатие по стенке равно 2,5—2,7 мм, $\mu = 1,2 \div 1,4$.

Калибры третьей, пятой и седьмой, а также четвертой, шестой и восьмой клетей одинаковые; они представляют собой круг с углом выпуска 40° . Соприкосновение труб с оправкой происходит только по дуге, равной 100° для каждого валка. Натяжение составляет 10—15%. Последние три клетки предназначены для придания трубе круглой формы и для образования зазора между трубой и оправкой.

Обжатие в седьмой и восьмой клетях составляет 1,25—1,30 мм, $\mu = 1,01 \div 1,02$. Калибр последней (девятой) клетки — круглый, причем диаметр его равен высоте калибров седьмой и восьмой клетей. Зазор между валками во всех клетях равен 1,5 мм. Зазор между трубой и оправкой в последней клетки равен 3 мм, что достаточно для свободного извлечения оправки.

Диаметр оправки в непрерывной группе δ_n (с учетом температуры ее при прокатке) должен быть равен внутреннему диаметру трубы в горячем состоянии:

$$\delta_n (1 + \alpha t_0) = D_n - 2s_n$$

или

$$\delta_n = \frac{D_n - 2s_n}{1 + \alpha t_0},$$

где t_0 — температура оправки при прокатке.

Выбирая длину оправки, следует иметь в виду, что передний конец грубы сходит с оправки на 1—2 м при прокатке тонкостенных труб и на 500—600 мм при прокатке толстостенных. Задний конец оправки должен выходить из трубы на 300—500 мм.

Поверхность оправки должна быть совершенно гладкой, на ней не должно быть трещин, плен, глубоких царапин и других дефектов.

Для придания заготовке гладкой полированной поверхности ее обкатывают на специальном обкатном стане. При прокатке вследствие различия скоростей металла и оправки происходит относительное скольжение трубы по оправке. При извлечении оправки из трубы также происходит относительное скольжение трубы по оправке, что ведет к значительному износу последней.

3. ТРЕХВАЛКОВЫЕ СТАНЫ

Трехвалковые станы в отличие от всех других станов для производства бесшовных труб обеспечивают прокатку труб с повышенной точностью. Точность по толщине стенки труб больше в 2—2,5 раз точности труб, прокатываемых на автоматических станах.

На трехвалковых станах можно прокатывать трубы широкого сортамента по диаметру и толщине стенки из углеродистой, легированной и высоколегированной стали. Обычно на трехвалковых станах прокатывают трубы диаметром 38—200 мм и толщиной стенки 3—25 мм и более.

Трехвалковые станы целесообразно применять для изготовления подшипниковых и других труб, подвергающихся последующей механической обработке, так как малая разностенность труб позволяет значи-

тельно уменьшить припуски на обточку. Достоинством трехвалковых станов является также возможность быстрой настройки стана при переходе на прокатку труб другого размера, для чего не требуются частые перевалки, необходимые на других станах при разнообразном сорimente прокатываемых труб.

Исходным материалом для прокатки труб на этих станах являются катаные круглые заготовки, нагреваемые в печи с кольцевым вращающимся подом. Нагретая заготовка сначала поступает на зацентровщик, затем в прошивной клети валкового типа прошивается в гильзу, которая передается к трехвалковой раскатной клети. На приемном столе этой клети в гильзу вводят длинную оправку и вместе с оправкой ее задают в трехвалковую клеть. Прокатанная труба вместе с оправкой поступает на цепной оправкоизвлекатель. После извлечения оправку передают к охлаждающему устройству с ванной, а затем к смазываю-

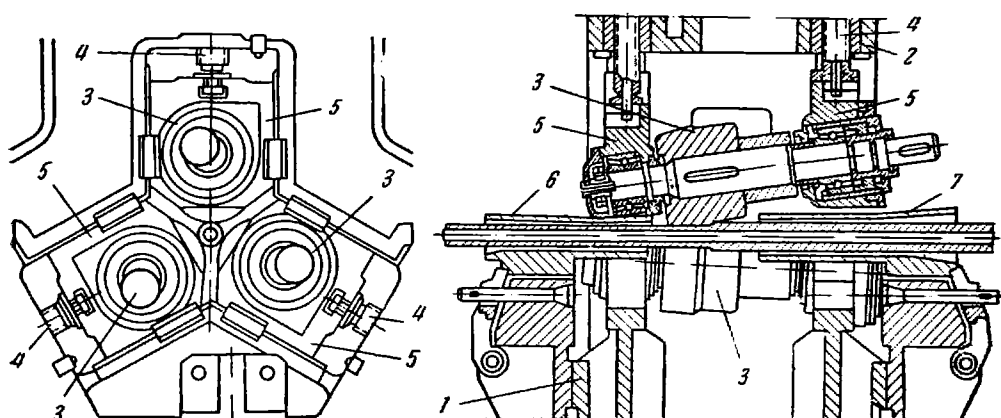


Рис. 408. Чистовая (раскатная) клеть трехвалкового трубопрокатного стана:
1 — нижняя часть станины; 2 — верхняя часть станины; 3 — рабочие валки; 4 — нажимные винты;
5 — подушки; 6 — выводная проводка; 7 — вводная проводка

щей машине. Смазанную оправку подают к приемному столу раскатной клети для повторного использования.

Трубу после извлечения оправки подвергают калибровке. В случае, если температура трубы ниже допустимой для калибровки, то ее нагревают в специальной печи. Трубы, которые имеют температуру, достаточную для калибровки, минуя подогревательную печь, поступают непосредственно в калибровочный стан. После калибровки трубы охлаждают на холодильнике, правят и подвергают отделке в зависимости от их назначения.

Обычно прошивные клети трехвалковых станов не отличаются от прошивных клетей автоматических станов. Однако некоторые трехвалковые станы имеют трехвалковые прошивные клети.

Трехвалковая раскатная клеть (рис. 408) по конструкции значительно отличается от двухвалковых клетей и имеет три валка, расположенные в станине соответственно вершинам равностороннего треугольника. Валки вращаются в одну сторону. Они наклонены к оси прокатки обычно под углом 7° (угол раскатки). Кроме того, каждый валок имеет перекося относительно плоскости симметрии соответствующего проема станины. Угол скрещивания осей валка и прокатки называют углом подачи.

Угол раскатки определяет в известной мере степень поперечной раскатки трубы и регулируется в небольших пределах. От угла подачи зависит скорость прокатки, а также и величина раскатки. Угол подачи обычно колеблется в пределах 3—6°.

Валки раскатной клетки (рис. 409) состоят из четырех участков: конуса захвата 1, гребня 2, раскатного или калибрующего конуса 3 и выходного конуса 4. Высота гребня зависит от диаметра и толщины стенки прокатываемых труб; она определяет в основном обжатие гильзы по стенке.

Основная деформация стенки гильзы осуществляется гребнем валка. При прохождении передним торцом гильзы гребня валка весьма важно создать достаточную величину продольных тянущих усилий на захватном участке, чтобы гильза преодолела сопротивление гребня. Обра-

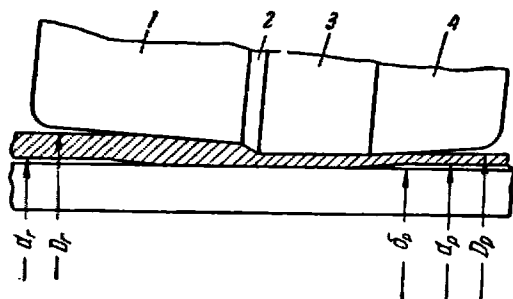


Рис. 409. Схема прокатки в чистой клетке трехвалкового стана

зующая калибрующего конического участка валка, находящегося за гребнем, параллельна оси прокатки; на этом участке происходит калибровка толщины стенки обжатого гребнем участка трубы. После калибрующего участка труба попадает в выходной конус, где происходит увеличение ее диаметра, причем между трубой и оправкой образуется зазор, облегчающий извлечение последней.

Трехвалковая калибровочная клетка аналогична по конструкции раскатной клетки. Основным преимуществом трехвалковой калибровочной клетки по сравнению с обычными двухвалковыми является возможность калибровки труб с более высокой точностью и различных диаметров на одних рабочих валках. Рабочие валки трехвалковой калибровочной клетки имеют те же размеры, что и валки раскатной клетки, но особую калибровку. Калибровка труб осуществляется редуцированием без оправки путем свободной поперечной прокатки.

Диаметр трубы при калибровке d_k уменьшается на 1—4 мм. Диаметр оправки раскатной клетки выбирают примерно на 1 мм меньше внутреннего диаметра трубы, т. е.

$$\delta_p \approx d_p - 1,0 \text{ мм.}$$

Размеры гильзы определяют величину деформации в раскатной клетке, в которой коэффициент вытяжки обычно колеблется в пределах $\mu = 1,7 \div 3,3$.

Обжатие стенки в захватном конусе (см. рис. 409) дается с целью создания достаточных тянущих усилий в начальный момент прокатки для преодоления сопротивления гребня валка. Но эти обжатия должны быть возможно меньшими, чтобы не создавалась большая поперечная деформация, ухудшающая качество труб.

Обычно обжатие в захватном конусе составляет 20—25%. Только при работе с малыми углами подачи (3°) это обжатие следует увеличивать до 35—45% вследствие недостаточной величины тянущих усилий; при этом процесс раскатки будет протекать крайне неустойчиво или совсем не будет осуществляться.

Внутренний диаметр гильзы следует принимать на 4—6 мм больше диаметра оправки раскатной клетки для того, чтобы она свободно во-

дила в гильзу. Большой зазор, очевидно, нежелателен, так как это увеличивает редуцирование гильзы в захватном конусе валков раскатной клетки, что неблагоприятно должно отражаться на качестве поверхности трубы.

По размерам гильзы определяют диаметр заготовки; последний принимают примерно равным наружному диаметру гильзы.

Диаметр валков трехвалковых клеток устанавливают из условия максимального их сближения, которое определяет возможность прокатки труб минимального диаметра. Согласно схеме, представленной на рис. 410, имеем

$$(0,5D_6 + 0,5D_{p.мин}) \cos 30^\circ = 0,5D_6 + 0,5\Delta,$$

где D_6 — максимальный диаметр бочки валков;

$D_{p.мин}$ — минимальный наружный диаметр прокатываемой трубы;

Δ — зазор между валками, который должен быть не менее 2—4 мм.

После преобразований получаем

$$D_6 = 6,5D_0 - 7,5\Delta.$$

Длину бочки валка находят ориентировочно по соотношению

$$L_6 = (0,65 \div 0,85) D_6.$$

Выходной конус очага деформации для выравнивания овальности трубы имеет уклон образующей к оси прокатки.

Этот уклон обеспечивает необходимый зазор между трубой и оправкой и облегчает выход трубы из валков. Угол $\alpha_b = 1 \div 2^\circ$. Тогда угол наклона образующей конуса валка на этом участке к его оси

$$\varphi_b = \alpha_b + \varphi = 8 \div 9^\circ.$$

Длина этого участка

$$L_b \geq \frac{\Delta_p}{2 \operatorname{tg} \alpha_b}.$$

где Δ_p — максимальный зазор между трубой после раскатки и оправкой.

Образующую конуса раскатного участка валка располагают параллельно оси прокатки. Этим обеспечивается точность толщины стенки и отсутствие волнистости. Следовательно, наклон образующей конуса валка на этом участке должен быть равен углу раскатки.

Длина конуса раскатки определяется по соотношению

$$L_p = \frac{1}{3} sR.$$

где $\frac{1}{3}s$ — величина подачи трубы на одну треть ее оборота, определяемая, как и для прошивных станков;

R — коэффициент, показывающий, сколько раз каждый элемент поверхности трубы обрабатывается в конусе раскатки: обычно $R = 2 \div 2,5$.

Диаметр валка в конце раскатного участка

$$D_p = D_6 - 2L_p \operatorname{tg} \alpha_r.$$

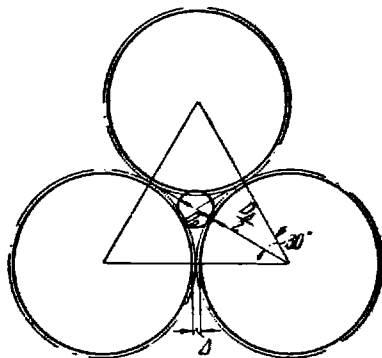


Рис. 410. Схема к определению диаметра валков трехвалковой клетки

Профиль гребня валка показан на рис. 411. Уклон его к оси прокатки обычно принимают $\alpha_r = 42^\circ$, тогда угол с осью валка составляет $\alpha'_r = \alpha_r - \varphi = 42 - 7 = 35^\circ$.

Радиусы закругления гребня

$$r_1 = h; \quad r_2 = 0,6h.$$

Ширина гребня

$$L_r = (CA + AM + MD + DP) \cos \varphi.$$

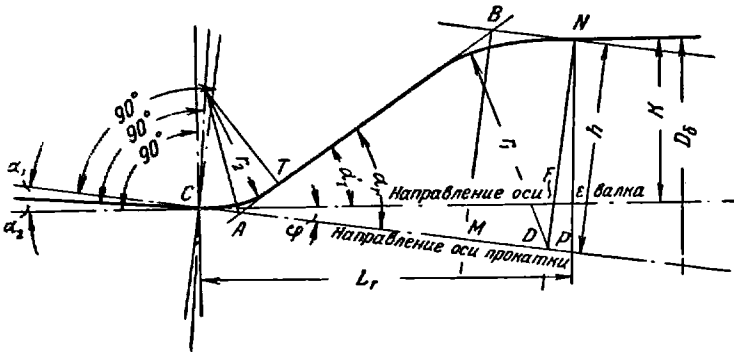


Рис. 411. Гребень валка чистовой трехвалковой клетки

Для обычно принимаемых углов $\alpha_r = 42^\circ$ и $\alpha_1 = 3^\circ$, ширина

$$L_r = 1,81h.$$

Диаметр валка у основания гребня

$$D_r = D_6 - 2EN.$$

Отрезок

$$EN = FN \cos \varphi = (h - CD \operatorname{tg} \varphi) \cos \varphi.$$

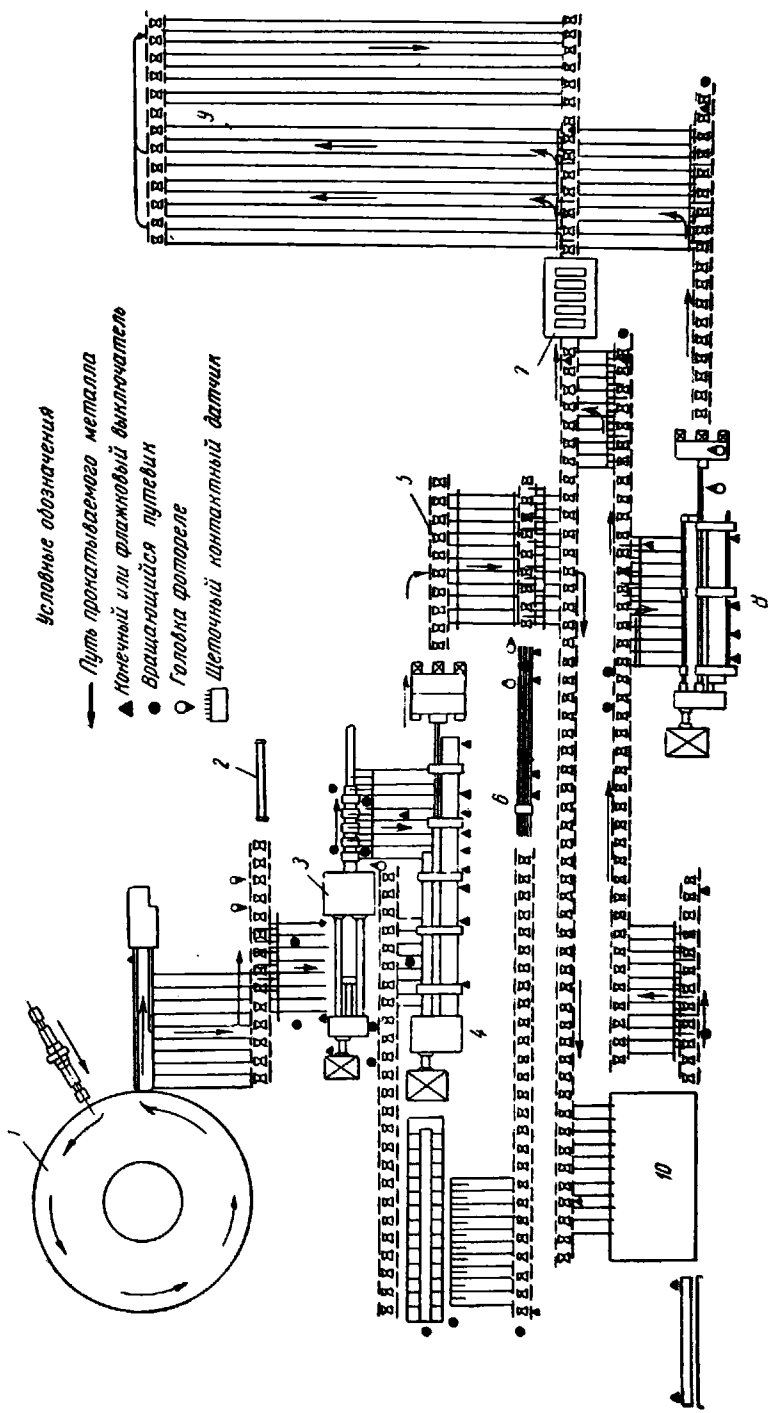
Так как

$$CD = 0,6h \operatorname{tg} \frac{\alpha_r - \alpha_1}{2} + h \operatorname{ctg} \alpha_r + h \operatorname{tg} \frac{\alpha_r}{2} = 1,705h,$$

$$D_r = D_6 - 1,566h.$$

На рис. 412 показана схема расположения фотореле, путевых и конечных выключателей на трехвалковом трубопрокатном стане. Разгрузочная машина управляется оператором, а последующие операции автоматизированы. В момент подъема хобота машины в печи с зажатой заготовкой включается конечный выключатель, который после определенной выдержки подает импульс на включение рольганга зацентровщика. При движении к зацентровщику заготовка засвечивает первое фотореле, которое подает импульс на включение зажимного пневматического устройства. При этом передний конец заготовки окажется в поле действия второго фотореле, которое дает импульс пневматической пушке для удара конусом по торцу заготовки и электронному реле времени; последнее после определенной выдержки дает команду на отключение зажимного приспособления и включение рольганга назад.

При прохождении заготовкой первого фотореле дается команда выбрасывателю заготовки с рольганга на наклонный стеллаж перед прошивной клетью.



Р и с. 412. Схема расположения фотореле, путевых и конечных выключателей на трехвалковом трубном стане:
 1 — колыцевая пень; 2 — зацентровщик; 3 — прошивная клетка; 4 — раскатная Трехвалковая клетка; 5 — ролик; 6 — оправка; 7 — пятно-клетчатый калибровочный стан; 8 — трехвалковый калибровочный стан; 9 — холодный; 10 — пень промежуточного патрона

При движении по наклонной решетке заготовка переключает флажковый выключатель, который дает команду толкателю для хода вперед. Если в клетке еще продолжается прскатка предыдущей заготовки, то при помощи импульса третьего фотореле заготовка останавливается, не достигая клетки на 300—400 мм, и после определенной выдержки вновь направляется к прошивной клетке. Возврат толкателя в исходное положение происходит от импульса токового реле нагрузки главного двигателя, которое фиксирует захват заготовки валками и возможность отвода толкателя назад; крайнее заднее положение толкателя фиксируется флажковым выключателем. Если в желобе прошивной клетки находится толкатель или задний конец прокатываемой заготовки, то перед желобом поднимается упор, который задерживает скатывающуюся по наклонному стеллажу заготовку. Автоматическое опускание упора происходит от команды конечного выключателя после возврата толкателя в исходное положение.

Прокатываемая валками на оправке гильза по стержню в центрователях движется к замку упорного подшипника стержня, при этом передний конец заготовки поочередно засвечивает два фотореле, которые дают импульс пневмоприводу на последовательное раскрытие двух центрователей. По окончании прошивки гильзы отключается токовое нагрузочное реле в цепи главного двигателя, которое дает команду на подъем роликов рольганга, открытие замка упорного подшипника и отвод последнего в крайнее заднее положение вместе со стержнем. Заднее положение упорного подшипника фиксируется конечным выключателем, который останавливает двигатель привода переддвижением упора по направляющим и дает команду на выброс гильзы на наклонную решетку к чистовой трехвалковой клетке.

Перед раскатной клетью гильза зажимается и в нее толкателем вводится оправка; далее другой толкатель подает гильзу с оправкой в валки клеги и возвращается в исходное положение. После раскатки труба с оправкой подается назад (влево) к оправкоизвлекателю. Извлеченная оправка направляется по рольгангу к решетке влево, охлаждается в ванне, смазывается и поступает к толкателю раскатной клетки, а труба возвращается назад, скатывается по наклонной решетке на рольганг и направляется влево к печи промежуточного подогрева. После подогрева трубы проходят через калибровочные клетки и затем поступают на холодильник.

Автоматическая работа толкателя оправки и толкателя гильзы с оправкой происходит следующим образом. При скатывании гильзы в желоб перед раскатной клетью она засвечивает фотореле, которое дает импульсы на подъем упора, зажим гильзы и на движение толкателя оправок вперед для ввода оправки в гильзу. При движении толкателя оправок срабатывает конечный выключатель, который дает импульс реле времени. После выдержки реле сообщает толкателю «ползучую» скорость и отключает зажим гильзы. После поднятия зажима включается второй толкатель гильзы для хода вперед и задает гильзу с оправкой в клеть. Возврат толкателя назад происходит от импульса фотореле; возврат толкателя гильзы в исходное положение после захвата ее валками происходит от команды токового реле в цепи главного двигателя.

Подача гильзы толкателем в калибровочные клетки осуществляется аналогично.

4. ПИЛИГРИМОВЫЕ СТАНЫ

На пилигримовых станах прокатывают трубы диаметром 48—650 мм и толщиной стенки 2,25—50 мм и более.

Трубы, прокатываемые на пилигримовых станах, в отличие от труб, прокатываемых на автоматических станах, имеют более толстую стенку и меньший сортамент по толщине стенки в связи с тем, что для каждой толщины стенки требуется изготовлять отдельный комплект дорнов. На пилигримовых станах прокатывают большое количество специальных труб: квадратных, шестигранных, ступенчатых, с высадкой концов трубы внутрь или наружу и т. п.

Исходным материалом для прокатки труб на пилигримовых станах являются круглые и граненые слитки, имеющие форму усеченного конуса, а также катаные заготовки. Обычно круглые слитки получают без прибыли массой 0,6—3 т и диаметром 260—600 мм. Граненые слитки при прошивке их в валковой прошивной клети имеют большое и нечетное число граней (19—27), так как при малом их числе прошивка затруднена и даже возможно образование плен на участках, соответствующих граням слитков. Нечетное число граней необходимо для уменьшения разницы в диаметре слитка при его вращении между валками.

При прошивке слитков на прессе число граней обычно четное и составляет 8—16. В некоторых случаях применяют квадратные слитки, так как уменьшение граней в этом случае не вызывает никаких затруднений.

Существующие пилигримовые станы могут быть разделены на три типа: 1) малые для производства труб диаметром 48—140 мм и толщиной стенки 2,25—15 мм; 2) средние для производства труб диаметром 140—273—325 мм и толщиной стенки 6,0—35 мм; 3) большие для производства труб диаметром 219—426—600 мм и толщиной стенки 7—50 мм и более. Наибольшее распространение имеют средние и большие станы.

В последние годы внесены существенные изменения в оборудование и технологический процесс прокатки труб на пилигримовых станах. Так, применены:

- 1) кольцевые или туннельные нагревательные печи;
- 2) предварительная прошивка слитков на гидравлических прессах;
- 3) квадратные или граненые слитки, в том числе слитки непрерывной разливки;
- 4) внестановая зарядка дорнов в гильзу;
- 5) подающие аппараты с гидравлическим торможением.

В результате осуществления перечисленных мероприятий производительность станов увеличилась; кроме того, на станах стало возможно массовое изготовление тонкостенных труб высокого качества.

На рис. 413 представлена схема расположения оборудования современного пилигримового стана. Прошивные клети пилигримовых станов имеют два рабочих валка, расположенных в горизонтальной плоскости, и два направляющих холостых валка, расположенных в вертикальной плоскости.

На рис. 414 показана прошивная клеть стана, имеющая две станины 2 крестообразного сечения с четырьмя проемами для подушек рабочих 1 и направляющих 3 валков. Необходимый перекося осей рабочих и направляющих валков достигается соответствующим расположением окон станины, в которых установлены подушки. Угол наклона рабочих валков обычно находится в пределах $4^{\circ}30'$ — $6^{\circ}30'$. Оправка прошивной клети неподвижно насаживается на конец дорновой штанги и при прошивке вращается вместе с ней.

Во избежание получения кривых гильз при прошивке слитков дорновые штанги должны быть прямыми и устанавливаться точно по оси

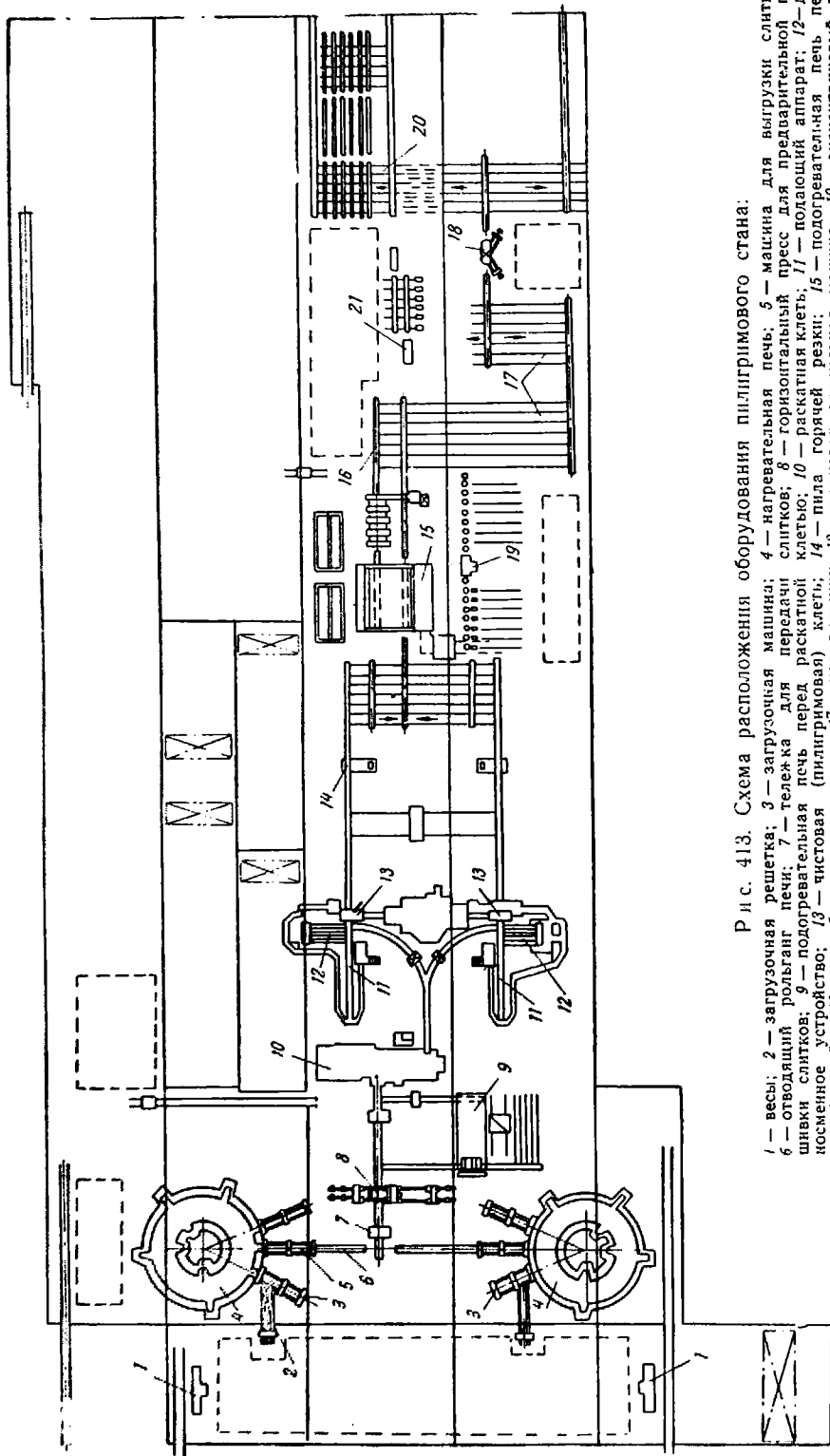


Рис. 413. Схема расположения оборудования пилигримового стана.

1 — весы; 2 — загрузочная машина; 3 — загрузочная машина; 4 — нагревательная печь; 5 — машина для загрузки слитков; 6 — отводящий ролик; 7 — тележка для передачи слитков; 8 — горизонтальный пресс для предварительной прошивки слитков; 9 — подогревательная печь перед раскатной клетью; 10 — раскатная клеть; 11 — подающий аппарат; 12 — носменное устройство; 13 — чистовая (пилигримовая) клеть; 14 — пила горячей резки; 15 — подогревательная печь перед калибровкой; 16 — калибровочные клетки; 17 — холодильник; 18 — валковая правильная машина; 19 — эксцентрикковый трапециевидный пресс; 20 — станки для внутреннего ремонта труб; 21 — станки для наружного ремонта труб

прошивки. Прошитую гильзу снимают с дорновой штанги и выводят через проем станины замка на отводящий рольганг. После удаления гильзы дорновую штангу устанавливают в исходное положение валиком.

Электрической тележкой, снабженной поворотным устройством, гильзу передают с отводящего рольганга к одной из двух пилигримовых клеток. Обе клетки располагают параллельно; валки клеток имеют общий привод с маховиком от электродвигателя постоянного тока.

Схема рабочей линии пилигримовых клеток представлена на рис. 415. Гильза, поданная к пилигримовой клетке электротележкой, выбрасывается из нее и укладывается в приемном желобе, имеющем гидравлическое устройство для подъема гильзы на уровень оси прокатки

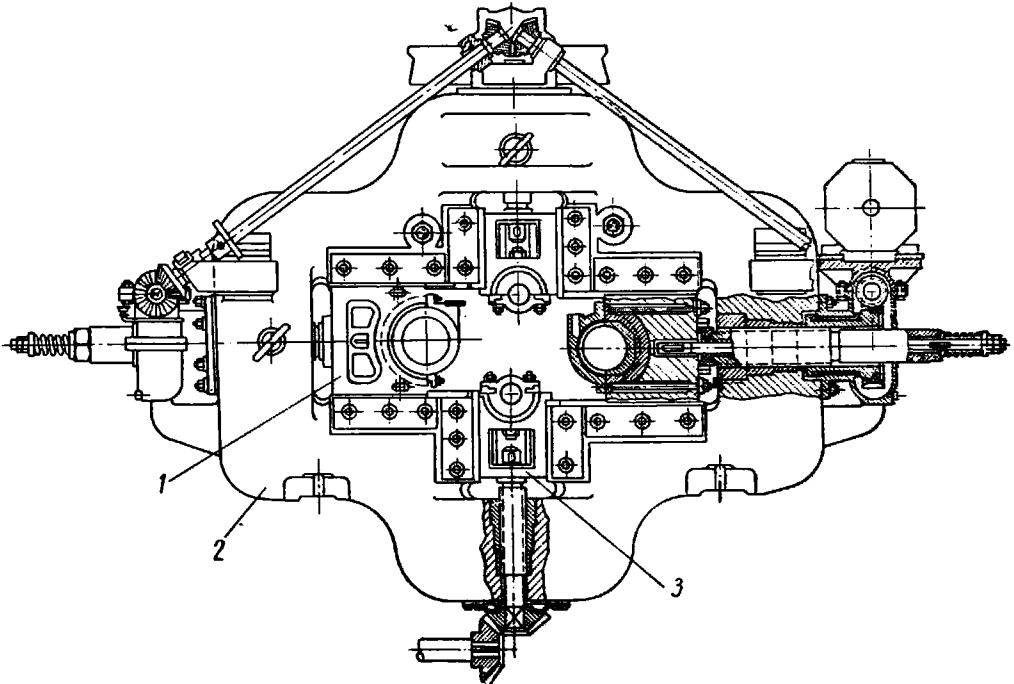


Рис. 414. Прошивная клетка пилигримового стана

Подающим аппаратом в гильзу заводят дорн, на котором ее раскатывают в грубу между двумя вращающимися в разные стороны валками с калибром переменного профиля.

Общий вид пилигримовой клетки показан на рис. 416. Пилигримовая клетка имеет две станины закрытого типа в виде жестких прямоугольных рам. Рабочие валки пилигримовой клетки имеют круглый ручья с переменной по окружности шириной и глубиной ручья. Валки вращаются в разные стороны с одинаковой скоростью в направлении, обратном направлению подачи гильзы. При вращении валков размеры калибра «в свету» непрерывно меняются и, следовательно, профиль калибра за полный оборот валков является переменным.

При максимальном радиусе ручья валки образуют холостой калибр (рис. 417), т. е. раскрытие «зева». В этот момент гильзу вместе с дорном продвигают подающим аппаратом на величину подачи. При дальнейшем вращении валков происходит обжатие гильзы, которое увеличивается с уменьшением радиуса ручья. Валки отжимают захваченный кольцеобразный участок гильзы в направлении их вращения, а

гильза вместе с дорном перемещается назад. После поворота валков на 360° вновь происходит раскрытие холостого калибра и подающий аппарат подает гильзу в валки. Одновременно с подачей осуществляется поворот гильзы на 90° .

Современный подающий аппарат с гидравлическим торможением представлен на рис. 418. Подача гильзы в валки производится сжатым воздухом с максимальным давлением 1 Мн/м^2 (10 ат). Поворот гильзы осуществляется дрелью. Остановка поршня вместе с дорном и трубой производится гидравлическим тормозным устройством, находящимся в передней части воздушного цилиндра.

Большое внимание при прокатке обращают на качество поверхности калибров, особенно полирующей части, так как трещины, раковины, выбоины и другие неровности на калибрах приводят к образованию пороков на трубах.

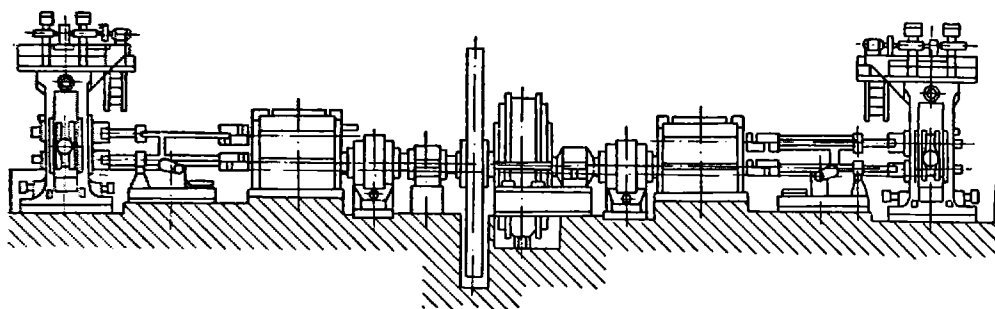


Рис. 415. Рабочая линия пилигримовой клетки

Участок гильзы вблизи дорнодержателя не может быть задан в валки во избежание повреждения головки держателя, порчи поверхности валков и их поломки. Поэтому всегда остается недокатанным задний конусный участок гильзы, называемый пилигримовой головкой. Пилигримовую головку по выходе трубы из стана обрезают на пиле.

После раскатки гильзы дорн извлекают из трубы и подают в крайнее заднее положение. Прокатка следующей трубы производится на новом дорне, а предыдущий выдается на наклонную решетку и скатывается в ванну для охлаждения. Извлеченный из ванны дорн, смазанный смесью мазута с графитом, передают транспортирующим устройством в приемный желоб пилигримового стана для соединения со штоком воздушного цилиндра подающего аппарата.

Процесс пилигримовой прокатки является одним из наиболее сложных процессов пластической деформации металла. В этом процессе сочетаются элементыковки (в начале процесса) с прокаткой, при которой (в отличие от обычной прокатки) конечное и исходное сечения трубы и радиус валка являются переменными величинами.

Для уменьшения расхода электроэнергии и улучшения качества получаемых гильз процесс прошивки следует вести с оптимальным суммарным обжатием слитка (заготовки) в пережиме валков прошивной клетки. Суммарное обжатие в пережиме является одним из основных факторов процесса прошивки, так как оно характеризует напряженность металла. При уменьшении обжатия в пережиме снижается и обжатие за полуоборот слитка, если число повторных сжатий слитка и длина используемой части конуса прошивки остаются постоянными. Овальность прошиваемого слитка в этом случае благодаря изменению геометриче-

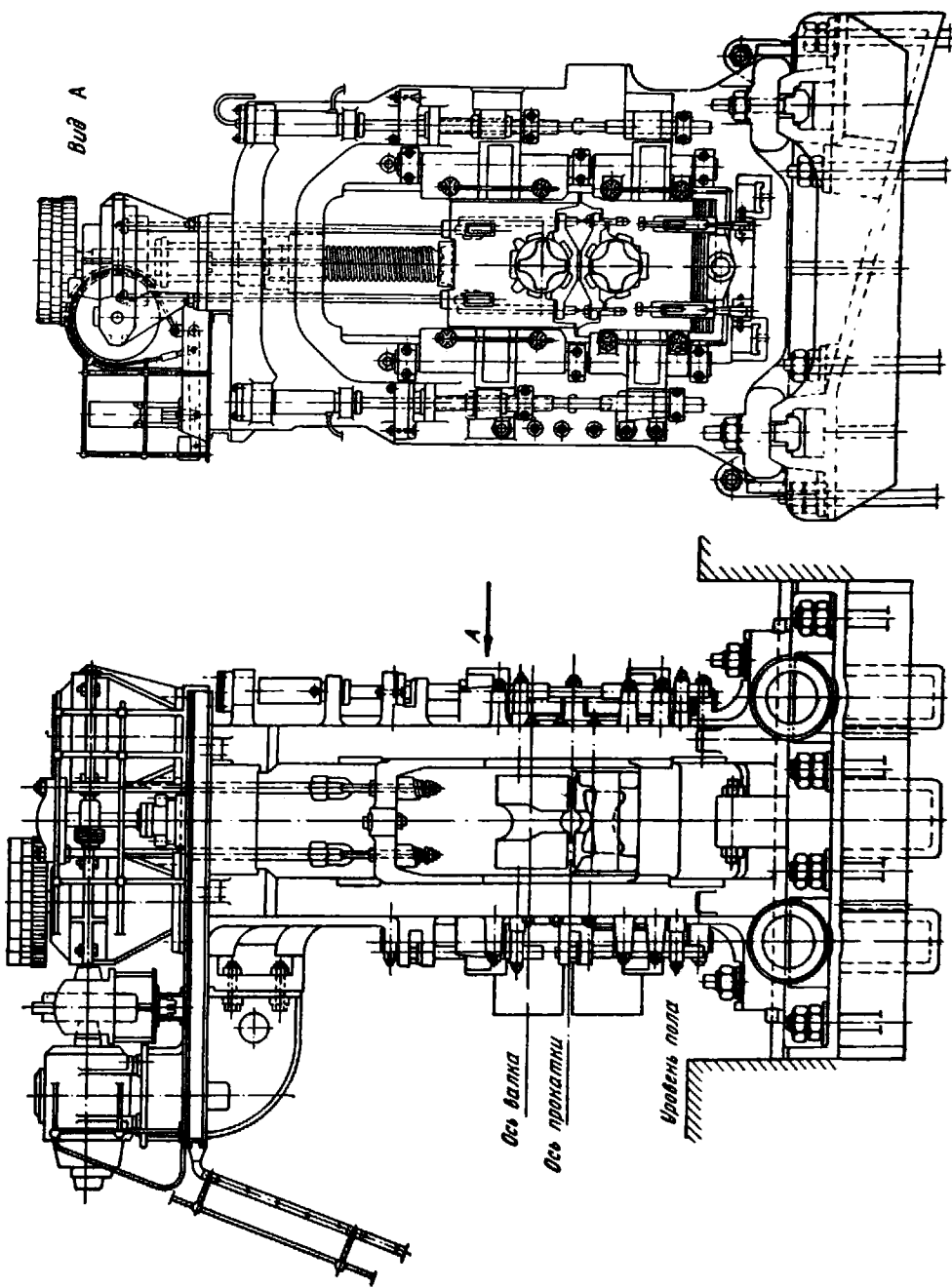


Рис. 416. Общий вид пылеприёмной рабочей клетки

ских факторов процесса и уменьшению уширения значительно снижается. Все это должно привести к сокращению количества наружных и внутренних плен на прошитых гильзах, к понижению расхода энергии и уменьшению скольжения металла.

Суммарное обжатие в пережиме играет решающую роль в процессе самообразования полости. Оптимальное суммарное обжатие в пережиме может быть определено по формуле

$$\Delta d_c = 0,057d_{cp},$$

где Δd_c — оптимальное обжатие в пережиме;
 d_{cp} — средний диаметр слитка.

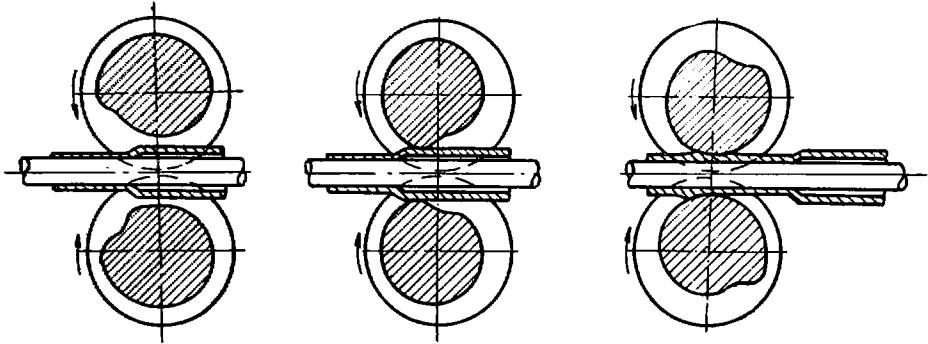


Рис. 417. Схема пилигримовой прокатки

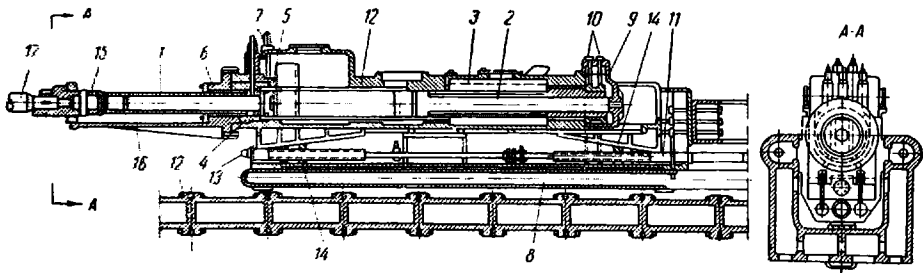


Рис. 418. Подающий аппарат пилигримовой клети:

1 — поршень; 2 — дрель со спиральными шлицами; 3 — камера со сжатым воздухом; 4 — тормозная втулка; 5 — часть поршня, входящая в тормозную втулку; 6 — камера, заполненная водой; 7 — клапаны; 8 — цилиндр подачи; 9 — храповое колесо; 10 — защелки; 11 — винт; 12 — корпус каретки; 13 — хвостовик для маховичка; 14 — направляющий клин с гайкой; 15 — замок дорна; 16 — направляющая замка; 17 — дорн

Для повышения качества гильз и уменьшения расхода энергии процесс прошивки следует вести с минимальным расширением и минимальным осаживанием в зоне поперечной раскатки. По данным Ю. М. Матвеева, оптимальное расширение составляет 3—7%, а осаживание 2—5%.

Необходимо стремиться к максимальной разгрузке пилигримовой клети, работающей обычно с большими динамическими нагрузками в момент захвата гильзы. Это можно осуществить уменьшением работы деформации при прокатке, т. е. уменьшением вытяжки или удельного давления металла на валки. Последнее можно осуществить, повысив температуру прокатки. Для уменьшения вытяжки следует прокатывать гильзы с тонкой стенкой, но они более интенсивно охлаждаются, что повышает удельное давление металла на валки.

Для уменьшения количества поверхностных дефектов труб целесообразно производить прошивку с минимальными деформациями, что

вызывает необходимость максимальной загрузки пилигримовой клетки. При этом вследствие большой толщины стенки и более медленного охлаждения толстостенной гильзы удельные давления металла на валки значительно уменьшаются, что приведет к сокращению времени прокатки и расхода энергии в пилигримовой клетке. Исходя из этого, следует рекомендовать коэффициент вытяжки для прошивной клетки в пределах $\mu = 1,9 \div 2,1$, а для пилигримовой $\mu = 8 \div 15$.

Не следует применять больших обжатий в калибровочных клетках во избежание увеличения разностенности труб. Обычно применяют обжатие по диаметру в пределах 2—5 мм.

Расчет калибровки производят против хода прокатки, так как исходными данными являются размеры готовой трубы. Однако в некоторых случаях, когда заданы размеры слитка, калибровку рассчитывают по ходу прокатки. Методика расчета и расчетные формулы в обоих случаях одинаковы.

Размеры трубы после пилигримовой клетки определяют исходя из обжатия в калибровочных клетках:

$$D_n = D_k + \Delta D_k, \quad \Delta D_k = \frac{1000}{D_r} - 1,$$

где D_k — наружный диаметр трубы после калибровки;

ΔD_k — обжатие в калибровочных клетках;

D_r — наружный диаметр готовой трубы.

Если на стане нет калибровочных клетей, то диаметр трубы после пилигримовой клетки принимают равным диаметру готовой трубы в горячем состоянии.

Наиболее сложным при расчете калибровки является определение размеров гильзы. Внутренний диаметр гильзы определяют исходя из необходимости иметь зазор 10—25 мм между дорном пилигримовой клетки и гильзой (большие величины соответствуют большим диаметрам).

Наружный диаметр гильзы можно определить по формуле

$$D_r = \sqrt{d_r^2 + \mu_n (D_n^2 - d_n^2)},$$

где d_r — внутренний диаметр гильзы;

μ_n — вытяжка в пилигримовой клетке;

d_n — внутренний диаметр трубы после пилигримовой клетки.

Целесообразнее определять наружный диаметр гильзы исходя из максимального обжатия, допускаемого калибровкой пилигримовых валков; это обжатие можно ориентировочно принимать 110—130 мм. Полученный наружный диаметр гильзы проверяют на допустимое сближение валков прошивного стана по формуле

$$D_r \geq \sqrt{(R_0 + r_0)^2 + 4R_0 r_0} - (R_0 - r_0),$$

где R_0 и r_0 — наибольшие радиусы рабочего и направляющего валков.

Кроме того, следует также проверить длину получающейся гильзы. При определении размеров гильзы необходимо, чтобы ее длина не превышала допустимую, т. е. гильза должна помещаться на выходном рольганге прошивной клетки. В противном случае следует, задаваясь длиной гильзы, определить ее наружный диаметр

$$D_r = \sqrt{\frac{G_r}{0,25\pi L_1 \rho} + d_r^2},$$

где ρ — плотность металла; G_r — масса гильзы.

При производстве труб диаметром более 377 мм обычно применяют двойную прошивку, т. е. сначала получают гильзу с меньшим внут-

ренным диаметром, чем это необходимо для прокатки на пилигримовой клети, а затем при вторичной прошивке получают гильзу заданных размеров. Такой метод работы позволяет значительно сократить количество дефектов на трубах (особенно внутренних плен), но ведет к резкому понижению производительности стана (при одной прошивной клети). Вследствие этого трубы диаметром 426 мм прокатывают с двумя и с одной прошивкой в зависимости от назначения труб и марки стали. Предварительная центровка слитков (холодная или горячая) также позволяет вести прокатку труб диаметром 426 мм с одной прошивкой.

При производстве труб с двумя прошивками размеры гильзы после второй прошивки определяют по приведенным ранее формулам. Размер гильзы после первой прошивки определяют по следующим формулам:

$$D_{r1} = D_{r2} + (20 \div 40) \text{ мм}$$

и

$$d_{r1} = (0,6 \div 0,8) d_{r2}.$$

Размеры слитка определяют исходя из размеров гильзы после первой прошивки:

$$d_c = (0,98 \div 1,05) D_r + \Delta d_c.$$

Удовлетворительные результаты получаются, если принять $d_c \approx D_r$. Высоту слитка L_c определяют по формуле

$$L_c = \frac{(1,03 \div 1,05) G_r}{0,25\pi D_c^2 \rho_c},$$

где ρ_c — плотность слитка, обычно 6,5—7,3 г/см³
1,03 ÷ 1,05 — коэффициент, учитывающий потери металла на угар при нагреве слитков.

Рабочие валки (рис. 419) прошивной клети пилигримового стана состоят из шести участков, каждый из которых имеет определенное назначение. Соответственно назначению каждого участка выбирают его длину и профиль. Первый участок валка l_n (рис. 419) не производит деформацию, а только центрирует слиток относительно оси прошивки, чем облегчает его задачу в валки. Поэтому первый участок называют направляющим или центрирующим конусом.

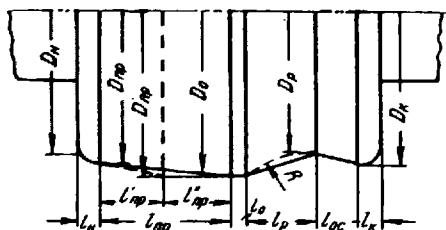


Рис. 419. Рабочий валок прошивной клети

Захват слитка и его обжатие осуществляются следующим участком $l_{пр}$, в котором происходит подготовка центральной части слитка к образованию полости. Поэтому этот участок валка называют конусом прошивки или конусом обжатия слитка.

Следующий за конусом прошивки цилиндрический участок предназначен для того, чтобы сгладить переход от обжатия слитка к его расширению; называют его пережимом или пояском.

В двух участках валка l_p и $l_{ос}$ происходит поперечная раскатка гильзы на оправке. Поэтому оба эти участка принято называть зоной поперечной раскатки. В участке l_p происходит некоторое расширение гильзы; его называют конусом расширения. В участке $l_{ос}$ диаметр гильзы несколько уменьшается, этот участок валка называют конусом осаживания.

В последнем участке вала l_k происходит заглаживание неровностей наружной поверхности гильзы и придание ей точных размеров, поэтому этот участок называют полирующим или калибрующим.

Для определения диаметра пережима D_0 хорошие результаты дает применение формулы, выведенной на основании анализа большого числа калибровок:

$$D_0 = (1,5 \div 2,0) d_{c, \text{макс}},$$

где $d_{c, \text{макс}}$ — максимальный диаметр слитка.

Эта формула пригодна для валков средних и больших станов. Обычно длина бочки вала

$$L_0 = (1,25 \div 1,5) D_0.$$

При профилировании отдельных участков валков следует исходить из деформации слитка максимального диаметра, а пригодность полученных размеров валков проверять для слитка минимального размера.

Конус прошивки должен иметь такие размеры, чтобы при использовании его длины на 85—95% можно было осуществить оптимальное обжатие слитка максимального диаметра для данного стана. При этом используемая длина конуса прошивки не должна быть больше 300—400 мм. Затем определяются следующие размеры конуса прошивки:

$$l_{\text{пр}} = 350 \div 400 \text{ мм}$$

и

$$D_{\text{пр}} = D_0 - \Delta d_{c, \text{макс}},$$

где $l_{\text{пр}}$ — длина конуса прошивки;

$D_{\text{пр}}$ — диаметр вала в начале конуса прошивки;

$\Delta d_{c, \text{макс}}$ — оптимальное суммарное обжатие в пережиме для слитка максимального диаметра.

Затем находят оптимальное суммарное обжатие в пережиме для слитка минимального диаметра $\Delta d_{c, \text{мин}}$ и вычисляют соответствующую используемую длину конуса прошивки:

$$l_{\text{пр. мин}} = \frac{\Delta d_{c, \text{мин}}}{D_0 - D_{\text{пр}}} l_{\text{пр}}.$$

Если эта длина окажется менее 170 мм, то следует увеличить общую длину конуса прошивки; при невозможности такого увеличения конус прошивки делают ступенчатым.

Длина направляющего конуса

$$l_n = (0,06 \div 0,09) L_0.$$

Диаметр вала в начале направляющего конуса

$$D_n = (0,96 \div 0,91) D_{\text{пр}}.$$

Длина пережима

$$l_0 = 25 \div 35 \text{ мм},$$

Длина калибрующего участка вала

$$l_k = (0,11 \div 0,13) L_0.$$

Зона поперечной раскатки

$$L_p + l_{\text{ос}} = L_0 - (l_n + l_{\text{пр}} + l_0 + l_k).$$

Отношение участков

$$\frac{l_p}{l_{\text{ос}}} = 2,5 \div 3,5.$$

Диаметр валка в конусе расширения

$$D_p = D_0 - (d_{p,\text{макс}} - d_{o,\text{макс}}),$$

где $d_{p,\text{макс}}$ — диаметр слитка максимального размера в пережиме;
 $d_{o,\text{макс}}$ — диаметр гильзы максимального размера в конусе расширения.

Так как

$$d_{p,\text{макс}} = R_p d_{o,\text{макс}},$$

а диаметр слитка в пережиме

$$d_{o,\text{макс}} = d_{c,\text{макс}} - \Delta d_{c,\text{макс}},$$

получаем

$$D_p = D_0 - (R_p - 1)(d_{c,\text{макс}} - \Delta d_{c,\text{макс}}).$$

Профилировку конуса расширения (по радиусу или прямой образующей) осуществляют в соответствии с выбранным методом калибровки оправок. Диаметр валка в калибрующем участке

$$D_k = D_0 - (D_r - d_0).$$

Учитывая диаметр гильзы, получаем

$$D_k = D_0 - (R_p R_{oc} - 1)(d_{c,\text{макс}} - \Delta d_{c,\text{макс}}).$$

Необходимо проверить заполнение металлом зоны поперечной раскатки при прошивке слитков минимального диаметра. Для определения используемой длины конуса расширения при деформации такого слитка можно применять формулу, получающуюся из геометрических соотношений:

$$l_{p,\text{мин}} = \frac{(R_p - 1)(d_{c,\text{мин}} - \Delta d_{c,\text{мин}})}{D_0 - D_p}.$$

Для проверки длины используемого участка конуса осаживания применяют формулу

$$l_{oc,\text{мин}} = \frac{(R_p - R_p R_{oc})(d_{c,\text{мин}} - \Delta d_{c,\text{мин}})}{D_k - D_p}.$$

Используемые участки конусов расширения и осаживания должны быть не менее половины длины каждого из них; в противном случае следует соответственно изменить углы наклонов конусов (соотношение между длинами конусов расширения и осаживания).

Входной участок направляющего и выходной калибрующего конусов округляют радиусом, равным 0,25—0,33 длины этих участков.

При настройке валков для прошивки следует исходить из оптимального обжатия в пережиме для фактического диаметра слитка.

Общие размеры валков пилигримовой клетки (рис. 420) определяют по следующим формулам:

для больших станов

$$D_i = 1,25D_{r,\text{макс}} + 600 \text{ мм},$$

для средних станов

$$D_i = 1,25D_{r,\text{макс}} + 550 \text{ мм},$$

где $D_{r,\text{макс}}$ — наружный диаметр наибольшей из прокатываемого сортамента трубы;

D_i — идеальный диаметр валка (без учета переточек).

Длина бочки валка может быть определена, исходя из максимального диаметра гильзы, которая должна с некоторым зазором поместиться в холостой части калибра (рис. 420):

$$L_0 = \frac{D_{г.макс} + a}{\cos \alpha_в} + (30 \div 50) \text{ мм},$$

где $\alpha_в$ — угол выпуска калибра;

a — зазор между гильзой и телом валка, который принимают равным 15—25 мм.

Длина бочки валка может быть также определена по эмпирической формуле

$$L_0 = 1,25D_r + 150 \text{ мм}.$$

Диаметр валка по бочке D_6 принимают меньше идеального диаметра на величину зазора между валками Δ , т. е.

$$D_6 = D_i - \Delta.$$

Валок пилигримовой клетки в поперечном сечении делят на четыре основных участка. В первом участке происходит деформация гильзы в

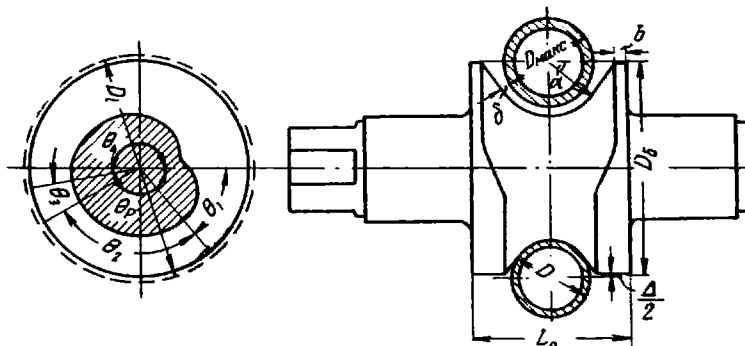


Рис. 420. Рабочий валок пилигримовой клетки

трубу. Этот участок называют рабочим или «бойком», «передним конусом». Во втором участке (калибрующий или полирующий) труба получает окончательные размеры по диаметру и толщине стенки. В третьем участке (выходной) происходит плавное стделение поверхности валка от поверхности трубы. В четвертом участке происходит поворот гильзы и подача ее в валки. Этот участок называют холостым или зевом.

Потяженность отдельных участков валка характеризуется центральными углами θ_1 , θ_2 и т. д. Для повышения производительности стана желательно иметь возможно большую длину полирующего участка и, следовательно, возможно большее значение угла θ_2 . Однако величина этого угла ограничивается тем, что угол θ_4 должен быть не менее 150—160° для того, чтобы иметь достаточное время для возврата гильзы в валки. Таким образом,

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \leq 200 \div 210^\circ.$$

Чрезмерное сокращение угла рабочего участка θ_1 может вызвать перенапряжение металла, что поведет к образованию дефектов на трубах. Чрезмерное сокращение длины выходного участка (угла θ_3) так-

же ведет к получению дефектных «бугристых» труб. На основании практических данных установлены следующие пределы для этих углов: $\theta_1 = 60 \div 90^\circ$; $\theta_2 = 90 \div 110^\circ$; $\theta_3 = 10 \div 20^\circ$.

Наиболее ответственным участком вала является боек, профиль гребня которого определяет основные показатели работы пилигримового стана.

Применявшиеся ранее логарифмические формулы для расчета профиля гребня пилигримового вала (П. Т. Емельяненко, Л. А. Вербицкого, М. Г. Писаненко, Ю. М. Матвеева) были выведены исходя из упрощенной схемы деформации.

Исходя из более правильной схемы деформации (предложенной П. Т. Емельяненко) П. К. Тетериным, О. А. Пляцковским, М. И. Матвеевым и др. были разработаны калибровки, обеспечивавшие заданное распределение величин деформации и хорошие результаты.

Для построения профиля гребня вала длину гребня l делят на z равных частей. Из точки O (рис. 421) откладывают отрезок OB ,

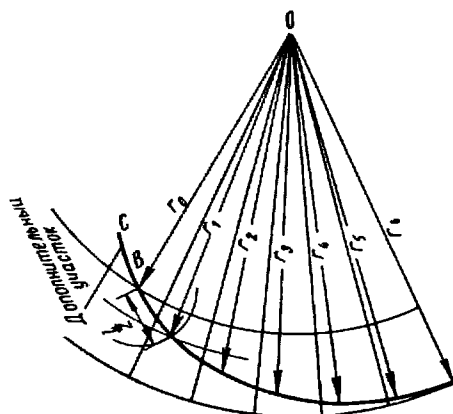


Рис. 421. Построение профиля гребня вала

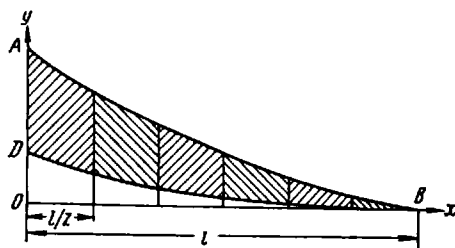


Рис. 422. Смещенный объем металла

равный начальному радиусу r_0 , а из точки B , как из центра, описывают дугу радиусом l/z . Затем из точки O описывают вторую дугу радиусом r_1 до пересечения с дугой, проведенной из точки B . Далее из точки пересечения этих дуг описывают следующую дугу радиусом l/z , а из точки O — радиусом r_2 новую дугу до их пересечения и т. д. Полученные точки пересечения соединяют плавной кривой, которая образует профиль гребня вала. Необходимые для построения радиусы гребня вала r_i определяют следующим образом. Для любого положения гребня вала в процессе деформации смещенный объем

$$V_{\text{см}}^x = m y_x + V_x,$$

где y_x — абсолютная величина суммарного обжатия для данного положения гребня со стороны одного вала;

V_x — часть смещенного объема, изменяющаяся от нуля в начале деформации до $m s_0$ в конце деформации гребнем вала;

s_0 — толщина стенки трубы, выходящей из валков.

Принимая параболическое уменьшение смещенного объема по длине гребня, суммарный смещенный объем $V_{\text{см}}$ можно графически изобразить площадью фигуры ABC (рис. 422), у которой сторона AB — ветвь параболы вида $y^2 = 2ax$ с вершиной в точке A , а длина стороны CB равна длине гребня.

Тогда

$$V_{\text{см}} = ly_0 - \frac{2}{3} ly_0 = \frac{1}{3} ly_0,$$

где y_0 — высота AC .
Отсюда

$$y_0 = \frac{3V_{\text{см}}}{l}.$$

Известно также, что суммарный смещенный объем со стороны одного валка

$$V_{\text{см}} = ms_{\Gamma}.$$

Тогда

$$y_0 = \frac{3ms_{\Gamma}}{l}.$$

В то же время ордината y , очевидно, выражает суммарное обжатие со стороны одного валка без учета зазора для введения дорна в гильзу:

$$y_0 = s_{\Gamma} - s_0,$$

где s_{Γ} — толщина стенки пильзы.

Постоянный параметр параболы AB с учетом этих соотношений

$$a = \frac{y_0^2}{2l} = \frac{ym^2s_{\Gamma}^2}{2l^3}$$

или

$$a = \frac{y^2}{2l} = \frac{(s_{\Gamma} - s_0)^2}{2l}.$$

Объем V_x в основной формуле смещенного объема изменяется пропорционально полному смещенному объему $V_{\text{см}}$ также по параболическому закону.

Графически суммарная величина $V_{x \text{ общ}}$ изображается площадью фигуры DBC (см. рис. 422), у которой сторона DB является ветвью параболы вида $y^2 = 2bx$ с вершиной в точке D . Из геометрических соображений следует

$$V_{x \text{ общ}} = ly'_0 - \frac{2}{3} ly'_0 = \frac{1}{3} ly'_0,$$

где y'_0 — отрезок CD .

Так как

$$V_{x \text{ общ}} = ms_0,$$

получаем

$$y'_0 = \frac{3ms_0}{l}.$$

Легко видеть, что

$$\frac{y'_0}{y} = \frac{s_0}{s_{\Gamma}}$$

и, следовательно,

$$y_0 = (s_{\Gamma} - s_0) \frac{s_0}{s_{\Gamma}}.$$

Постоянная параболы DB

$$b = \frac{y'^2_0}{2l} = \frac{9m^2s_0^2}{2l^3}$$

или

$$b = \frac{y'^2}{2l} = \frac{(s_{\Gamma} - s_0)^2}{2l} \frac{s_0^2}{s_{\Gamma}^2}.$$

Радиусы валка, необходимые для построения кривой гребня, определяют по формуле

$$r_i = r_0 + y_i,$$

где y_i — суммарное приращение радиуса гребня.

Для определения y_i авторы калибровки приводят следующую формулу:

$$y_i = \frac{il \left(y_0 - y'_0 - \frac{2}{3} \sqrt{2a \frac{il}{z}} - \frac{2}{3} \sqrt{2b \frac{il}{z}} \right)}{mz}.$$

С учетом полученных выражений для y_0 , y'_0 , a и b эта формула приобретает вид:

$$y_i = \frac{i}{z} \left(1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{i}{z}} \right) \frac{l}{m} \frac{(s_r - s_0)^2}{s_r},$$

а с учетом выражений, приведенных выше:

$$y_i = \frac{i}{z} \left(3 - 2 \sqrt{\frac{i}{z}} \right) (s_r - s_0).$$

В этих формулах i — порядковый номер рассматриваемого участка гребня ($i=1, 2, 3, \dots, z$).

Длину гребня l определяют по уравнению:

$$l = \frac{m(\mu_e k - 1)}{\mu_1 - 1},$$

где μ_e — общий коэффициент вытяжки от гильзы к трубе;

μ_1 — коэффициент вытяжки в зоне обжатия гребнем, принимают при прокатке среднеуглеродистых сталей в пределах 1,6—1,8;

k — коэффициент, учитывающий удлинение в полирующем участке калибра, практически равный 0,8—0,9.

Указанными выше формулами определяется профиль гребня валка для теоретического случая плотного прилегания гильзы к дорну. В действительности для того, чтобы ввести дорн в гильзу, ее внутренний диаметр должен быть на 10—25 мм больше диаметра дорна. Поэтому для обеспечения надежного захвата в калибровку гребня вносят соответствующую поправку. Для этого длину гребня валка увеличивают на 8—10° и на дополнительном участке (BC, рис. 421) принимают такие же уменьшения радиусов, как и на предыдущем. Полученную кривую необходимо проверить, исходя из возможности получения ее на станках, обрабатывающих ручьи валков.

В поперечном сечении калибр пилигримового валка представляет собой круг с выпуклостями по касательной. В начале рабочего участка обычно применяют угол выпуска 32—37°, а в его конце 20—25°.

Профиль полирующего участка калибра оказывает существенное влияние на производительность пилигримового стана и качество труб. Для получения качественных труб при данной расчетной подаче Ю. М. Матвеев и М. А. Шубик рекомендуют определять длину полирующего участка по формуле

$$l_n \geq m\mu_e(k+2),$$

где k — указанный выше коэффициент, учитывающий удлинение в полирующем участке.

Так как подающие аппараты не гарантируют постоянства подачи, для обеспечения требуемого качества труб при работе на расчетной подаче длину полирующего участка следует выбирать с максимально воз-

можным запасом. Суммарную длину гребня и полирующего участка по катающему радиусу Ю. М. Матвеев и М. А. Шубик рекомендуют определять по соотношению

$$l_p = l + l_n = (0,80 \div 1,15) \pi R_n,$$

где l_p — длина рабочего участка валка по катающему радиусу;

R_n — катающий радиус валка с калибром постоянного профиля, соответствующим выходному сечению калибра пилигримового валка.

Найденную длину рабочего участка l_p следует проверить, исходя из допускаемой конструкцией подающего аппарата длины отката. Для этого необходимо, чтобы максимально допустимый ход поршня воздушного цилиндра l_c был больше длины отката, т. е.

$$l_c \geq (l_p + l_r) c,$$

где l_r — путь торможения движущихся масс, определяемый по уравнению

$$l_r = \frac{\pi R_r}{180} (10 \div 20);$$

c — коэффициент, учитывающий приращение длины отката за счет вытяжки и угла первоначального захвата при прокатке, равный $1,15 \div 1,25$.

Длину полирующего участка валка l_n разделяют на три участка. Первый участок для раскатки конца пилигримовой головки: его длина определяется соотношением

$$l_{n1} = m \mu_e k,$$

где k — коэффициент, равный $0,8—0,9$.

Диаметр калибра на этом участке определяется формулой

$$D_1 = \delta_{д.г} + 2s_0,$$

где $\delta_{д.г}$ — диаметр дорна в горячем состоянии.

Угол выпуска

$$\psi = \arccos \frac{2R_k}{D_r + (10 \div 15)},$$

где R_k — радиус калибра, равный $\frac{D_n}{2}(1 + \alpha t)$;

D_n — номинальный диаметр трубы;

α — коэффициент линейного расширения;

t — температура металла при прокатке;

D_r — диаметр трубы в сечении, совпадающем с первым радиусом полирующего участка валков.

Диаметр

$$D_r = D_n (1 + \alpha t) + 2r_n (1 - \cos \theta_{з.п}),$$

где r_n — радиус полирующего участка валка по вершине калибра;

$\theta_{з.п}$ — угол захвата в момент, когда первый радиус полирующего участка занял вертикальное положение, равный $10—15^\circ$.

Второй участок для раскатки «усов», образовавшихся при деформации гребнем валка вследствие затекания металла в выпуски. Длина этого участка определяется формулой

$$l_{n2} = m \mu_c.$$

Диаметр калибра для этого участка

$$D_2 = D_n (1 + \alpha t) + (0,5 \div 0,8) \text{ мм.}$$

Угол выпуска для второго участка принимается равным $17—20^\circ$.

Третий участок для калибровки наружного диаметра трубы, имеющей небольшой овал по вертикальной оси, который получается вследствие уширения металла на предыдущих участках. Поэтому калибровку такого участка необходимо выполнять так, чтобы устранялась перекачиваемая волна металла и овальность. Практически это достигается постепенным увеличением на данном участке диаметра калибра на 0,5—1,0 мм.

Длина третьего участка должна быть равна длине второго участка. Диаметр калибра этого участка

$$D_3 = D_2 + (0,5 \div 1,0) \text{ мм.}$$

Угол выпуска на длине третьего участка выполняют минимальным (13—18°).

Калибровка выходного конуса валка также влияет на качество труб. После того как последний радиус полирующего участка займет вертикальное положение, гильза-труба некоторое время продолжает движение в направлении вращения валков за счет инерции и сил трения, возникающих от соприкосновения ее с выходным конусом вследствие зазора в подшипниках валков. При большом зазоре бывают случаи, когда сила инерции и трения оказывается недостаточной для преодоления давления воздуха в цилиндре подающего аппарата. В этом случае труба двигается в направлении, обратном вращению валков, и трется о вершину калибра выходного конуса, становясь бугристой.

При резком увеличении радиусов валка в выходном конусе соприкосновение валков с трубой происходит на небольшой площади у вершины калибра. Это увеличивает удельное давление и часто сопровождается смятием стенки трубы. Поэтому при калибровке выходного конуса очень важно обеспечить постепенный отрыв его от трубы. Это достигается тем, что на 15° выходного конуса увеличивают радиус валка на 2,5—3,0 мм, а вершину калибра на дуге 50—60° отшлифовывают так, чтобы радиусы калибра по вершине были на 0,2—0,3 мм больше, чем размеры калибра по выпускам.

Оправку прошивных клетей для слитков не меняют после каждой прошивки; она работает непрерывно в течение нескольких часов, а иногда и смен. Оправки этих клетей меняют вместе со штангой при помощи мостового крана. Для соединения оправки со штангой в оправке имеется коническое отверстие, внутрь которого входит конический участок штанги. Внутри оправки имеется сферическая полость для ее облегчения.

В практике трубопрокатных станов обычно применяют оправки с дуговым профилем, образуемым вращением дуги постоянного радиуса вокруг оси оправки. Построение профиля оправки производится различными способами. На рис. 423, а показан профиль оправки, радиус которого равен диаметру оправки $R=d$. Носок оправки округляется радиусом r , равным $0,1d$.

На рис. 423, б показан профиль оправки, при построении которого длина головного участка оправки равна ее диаметру, т. е. $l=d$. В этом случае радиус находят графически или принимают равным $R=1,25d$. Носок оправки закругляют радиусом $r=0,1d$.

Дорн пилигримовой клетки (рис. 424) выполняют коническим, чтобы можно было извлечь его из трубы после прокатки. При калибровке дорнов пилигримовой клетки необходимо определить три основных размера: диаметр передней части дорна $d_{д. п.}$, диаметр задней части дорна $d_{д. к.}$ и его длину $l_{д.}$. Расчет калибровки дорна начинают с определения его

среднего диаметра, который можно определить исходя из температурных условий прокатки:

$$\delta_{д.ср} (1 + \alpha t_{д}) = d_{т} (1 + \alpha t_{т}),$$

где $t_{д}$ и $t_{т}$ — температура дорна и трубы.

Отсюда

$$\delta_{д.ср} = d_{т} \frac{1 + \alpha t_{т}}{1 + \alpha t_{д}}.$$

Конусность дорна обычно принимают 1—2 мм, причем большие значения для дорнов меньшего диаметра.

Длину $l_{д}$ дорна выбирают исходя из максимальной длины $L_{т}$ гильзы, длины $l_{к}$ дорнового кольца, длины $l_{з}$ участка дорна, необходимого

Рис. 423. Профиль оправки прошивной клетки пилигримового стана

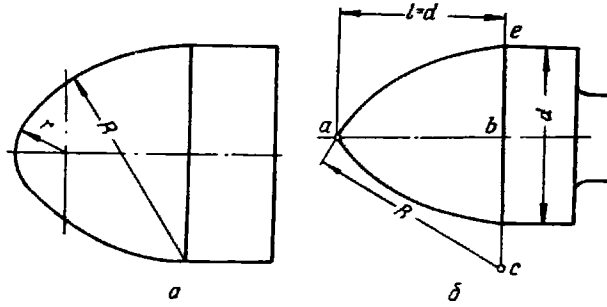
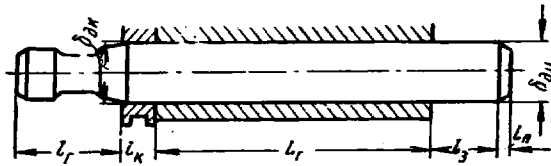


Рис. 424. Дорн пилигримовой клетки



для производства «затравки» в начале процесса прокатки, длины переднего конического участка $l_{п}$ и длины головки дорна $l_{г.д}$, т. е.

$$l_{д} = L_{т} + l_{к} + l_{з} + l_{п} + l_{г.д}.$$

Размеры головки дорна, предназначенной для крепления его в замке подающего аппарата, и размеры кольца определяют из конструктивных соображений. Длину конического участка принимают равной 30—50 мм.

Пилигримовые станы пока еще не автоматизированы. В настоящее время ведутся работы по созданию датчиков положения плунжера и перемещения каретки, по разработке усовершенствованных конструкций подающих аппаратов и ряд других, которые позволят автоматизировать работу пилигримовых станов [VI. 15].

Схема автоматизации головной части пилигримовой установки приведена на рис. 425. При нажатии кнопок автоматическое управление включается с выдержкой 5—6 сек, необходимой для предупреждения сварщиков на задней стороне печей о начале выдачи, и включаются механизмы подъема крышек окон выдачи. При подъеме крышки в крайнее положение срабатывает конечный выключатель 1КВЗ и 2КВЗ, который дает импульс на движение выталкивателя вперед. С движением выталкивателя срабатывают конечные выключатели 1ПВВ и 2ПВВ, подготовляющие схему управления поворотом слитка. Конечные выключа-

тели *1КВЗ-В*, *1КВВ-Н*, *1КВВ*, *1КВЗ* и соответственно *2КВЗ-В*, *2КВВ-Н*, *2КВВ* и *2КВЗ* ограничивают ход выталкивателя в переднем и заднем положениях [VII. 8].

По выходе слитка из печи засвечивается фотореле *1ФР*, установленное у окна выдачи печи, которое дает импульс движению выталкивателя назад в исходное положение, отменяет команду вызова и готовности, включает привод транспортного рольганга *В2* и сбрысыватель.

Отмена вызова, возврат выталкивателя и включение рольганга осуществляются по импульсу фотореле *2ФР*. Оно же дает команду на

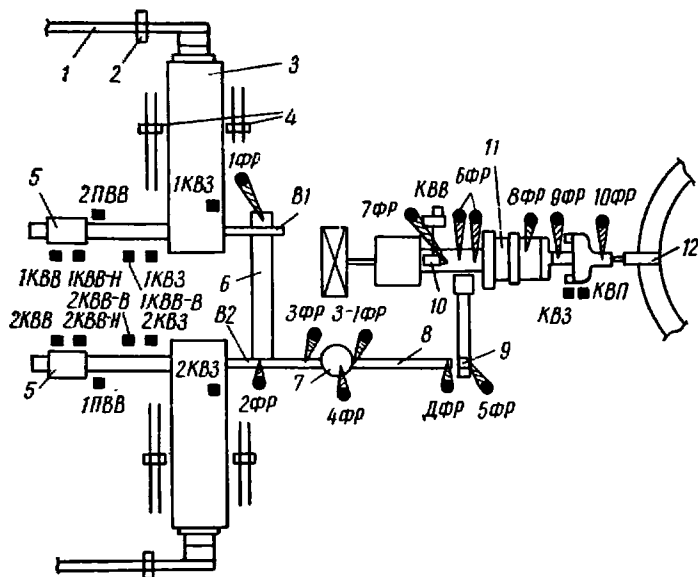


Рис. 425. Схема автоматизации головной части пилгримовой установки:

1 — загрузочный рольганг; 2 — загрузочное устройство; 3 — методическая печь; 4 — кантовательные машины; 5 — выталкиватели; 6 — сбрысыватель; 7 — поворотный стол; 8 — рольганг; 9 — тележка сбрысывателя; 10 — заталкиватель; 11 — прошивной стан; 12 — гильзовая тележка

возврат сбрысывателя в исходное положение после передачи слитка из первой печи на рольганг.

Необходимость поворота слитка на 180° при транспортировке к прошивному стану зависит от того, в каком ряду в печи находился слиток. При выдаче слитка из заднего ряда сварщик нажатием кнопки сигнализирует сварщикам задней стороны печи о необходимости кантовки слитка в выходной желоб печи. В этом случае отменяется команда на поворот слитка, подготовленная конечными выключателями *1ПВВ* или *2ПВВ*, и слиток направляется к прошивному стану, так как движется хвостовым концом вперед. При выдаче из переднего ряда сигнал сварщику задней стороны не подается, и поворот слитка подготавливается автоматически.

Остановка слитка на поворотном столе осуществляется с помощью двух фотореле *3ФР* и *3-1ФР*. Отклонение рольганга для поворота слитка производит фотореле *3ФР*, после чего слиток останавливается на поворотном столе. В этот момент засвеченное передним концом слитка фотореле *3-1ФР* включает поворотный стол на подъем. Включение рольганга после поворота слитка производится от фотореле *4ФР* с предварением, обеспечивающим опускание слитка на рольганг.

Рольгангом слиток транспортируется к прошивному стану и при выходе его на сбрасыватель прошивного стана сигнал на остановку рольганга дает фотореле *ДФР*.

Схема автоматизации работает в соответствии с установленным порядком работы первой печи в комбинации с первым пилигримовым станом и второй печи со вторым пилигримовым станом. При необходимости этот порядок может быть изменен переключением соответствующих ключей на пульте сварщика.

Выдача и подача слитков сопровождаются световой и звуковой сигнализацией, позволяющей операторам печей и сварщикам судить о нормальной работе смежных участков, мало доступных для обозрения.

Управление механизмами, как ручное, так и автоматическое, сосредоточено у сварщиков передней стороны печей, что делает более надежной их работу и освобождает от нее сварщиков задней стороны во время выдачи слитков. Ручное управление всеми механизмами сохранено как резервное.

На прошивном стане пилигримовой установки гильза после прошивки снимается с дорна. Здесь не автоматизированы только механизмы настройки стана и главный привод, ручное дистанционное управление сохранено в качестве резервного. Схема автоматизации стана приведена на рис. 425. Слиток, находящийся в тележке сбрасывателя, засвечивает фотореле *5ФР*, дающее импульс на подъем стола при условии готовности входной стороны к приему слитков. Тележка со слитком движется по наклонному столу и сбрасывает слиток в приемный желоб, при этом засвечивается фотореле *6ФР*, дающее импульс на опускание стола и включение заталкивателя на ход «вперед».

Слиток подается заталкивателем к валкам пока не срабатывает конечный выключатель *КВВ*, дающий импульс на отвод заталкивателя, и затем с выдержкой вновь включает его на ход «вперед». Цикл периодического вталкивания повторяется до тех пор, пока слиток не будет захвачен валками, после чего токовое нагрузочное реле отменяет команду на повторное включение вталкивателя. Токовое нагрузочное реле обеспечивает включение подачи воды на оправку и опускание поддерживающих дорн роликов с выдержкой, необходимой для внедрения носка оправки в слиток. Подача охлаждающей воды осуществляется до тех пор, пока передний конец прошиваемого слитка не засветит реле *8ФР*.

После прошивки токовое нагрузочное реле включает промежуточный рольганг, и гильза подается к затвору. При транспортировке гильзы к затвору засвечивается фотореле *9ФР*, дающее импульс на остановку промежуточного рольганга, подъем шибера и открывание защелки замка. Когда защелка открывается, срабатывает конечный выключатель *КВЗ*. Он дает импульс на открывание замка, который при открывании воздействует на конечный выключатель *КВП*, включающий выводной и промежуточный рольганги. Гильза сходит с дорна, который удерживается от осевого перемещения шибером.

С выходом гильзы из поля действия фотореле *9ФР* подается импульс на опускание шибера и подъемной секции. Фотореле *10ФР*, засвеченное гильзой, дает импульс на подъем двух роликов, удерживающих дорн на оси стана, закрывание замка и опускание защелки. Защелка воздействует на конечный выключатель *КВЗ*, тем самым разрешая задачу следующего слитка в валки.

Прошитая гильза подается на гильзовую тележку. В случае, если тележка не подана к стану, гильза останавливается фотореле *10ФР*. Готовность тележки к приему гильзы фиксируется конечным выключателем. Затем включается выводной рольганг и гильза подается на тележку.

5. ОТДЕЛКА ТРУБ

После прокатки трубы подвергают различным отделочным операциям: правке, обрезке и разрезке на мерные длины, термической обработке, калибровке, высадке концов, нарезке резьбы на концах труб, обточке, окраске, оцинковке и др.

Обрезку концов и разрезку труб на мерные длины применяют при производстве труб всех видов. Различают два вида обрезки и разрезки труб: черновую, применяемую непосредственно после прокатки или сварки, и чистовую, при которой одновременно с разрезкой или обрезкой получают торец трубы определенной формы (гладкий, со снятой фаской и т. д.). Последовательность операций правки, обрезки, разрезки зависит от метода производства труб.

Калибровка предназначена для получения более точных размеров по наружному диаметру. Трубы калибруют двумя способами: осаживанием в калибровочных станах и раздачей внутренним гидравлическим давлением. Процесс холодной калибровки труб по существу является процессом прокатки, а конструкция станков, применяемая для этой цели, аналогична конструкции обычных редуccionных и калибровочных станков.

Раздачу труб по диаметру внутренним гидравлическим давлением производят на прессах в замкнутых цилиндрических матрицах, при этом диаметр трубы увеличивается на 1,0—1,5%. Существенным преимуществом этого способа является значительное повышение предела текучести и некоторое увеличение предела прочности.

Обточку наружной поверхности труб производят в случае, когда необходимо получить более точные размеры по наружному диаметру, чем это возможно при прокатке; ее применяют для труб, используемых в машиностроении (подшипниковых и втулочных).

Шлифовку и полировку наружной и внутренней поверхностей труб осуществляют для удаления наружных и внутренних пороков и декоративных целей; применяют для труб, используемых при бурении скважин и в различных машинах, труб различного назначения из легированных и специальных сталей и др.

Покрытие труб металлами производят для придания трубам антикоррозионных (цинкование) или жаростойких (алюминирование, алитирование) свойств. Горячее и электролитическое цинкование применяют для газовых труб, а алюминирование и алитирование — для труб различных тепловых машин. В настоящее время наибольшее распространение получило горячее цинкование труб.

Концы труб калибруют для получения труб особо точных диаметров. В основном калибровке концов подвергают трубы для магистральных трубопроводов, свариваемые специальными сварочными автоматами, и в некоторых случаях обсадные трубы перед нарезанием резьбы.

При муфтовом соединении нарезают наружную резьбу на обоих концах трубы, при ниппельном — внутреннюю резьбу на обоих концах, а при безмуфтовом и безнипельном соединениях — наружную резьбу на одном конце и внутреннюю резьбу на другом.

На готовые трубы, имеющие резьбу, наворачивают соединительную муфту или ниппель, а также предохранительные кольца и ниппели.

В отделениях отделки трубы тщательно осматривают, проверяют качество резьбы, отбирают пробы на механические и технологические испытания, а также испытывают на гидравлическое давление.

Правка труб осуществляется многократным пластическим изгибом трубы в различных направлениях. Эта операция является одной из ос-

новых технологических операций. Почти все трубы независимо от их назначения подвергают правке.

По характеру процесса правки следует различать однократную (периодическую) и многократную (непрерывную) правку. Однократная правка осуществляется на правильных прессах различной конструкции.

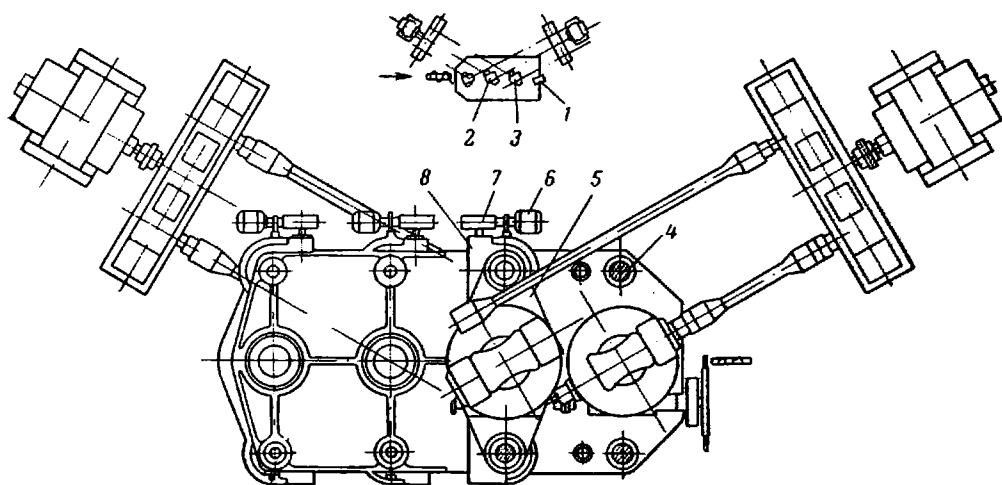


Рис. 426. Семивалковый правильный стан для правки труб диаметром 250 мм

Основными недостатками этого метода являются сравнительно невысокая точность правки (кривизна не менее 1,5 мм на 1 м длины трубы) и значительные остаточные напряжения, снижающие прочность труб и могущие вызывать резкое изменение их прямолинейности при сравнительно небольшой внешней нагрузке.

Валковые правильные станы обеспечивают точность правки 0,5—1,5 мм/м (в зависимости от конструкции стана) и высокую производительность.

В настоящее время существует большое число различных конструкций правильных станов. Наиболее распространены пятивалковые станы, шестивалковые станы почти не применяют, а семивалковые станы стали применять только в последние годы.

Семивалковые правильные станы, конструкция которых разработана советскими инженерами, имеют ряд существенных преимуществ. Основными из них являются высокая точность правки, удобство наблюдения и регулирования процесса правки.

Семивалковый стан (рис. 426) имеет четыре приводных вала и три холостых: холостой валок 1 установлен с выходной стороны стана. Пара холостых валков 2, находящихся между двумя парами приводных валков 3, осуществляет правку труб. Стан имеет восемь колонн 4, на которых перемещаются рамы-траверсы 5 с укрепленными на них поворотными плитами валков. В отличие от шестивалковых станов подъем и опускание рам с валками осуществляется электроприводом; это является преимуществом семивалковых станов.

Двигатель 6, соединенный с редуктором 7, передает вращение червячным редукторам 8 подъемных рам-траверс. Скорость подъема верхних валков равна 10,8 м/мин.

Разрезка и обрезка труб также являются наиболее распространенными технологическими операциями отделки, которым подвергаются почти все изготавливаемые трубы. В настоящее время применяют большое количество различных конструкций трубообрезного оборудования. Для горячей резки применяют салазковые дисковые пилы, а для холодной — дисковые и пилы трения.

Трубообрезные станки могут быть разделены на две группы: 1) станки, в которых трубы зажимают в кулачках вращающегося патрона, а резцы закрепляют в суппорте, устанавливаемом на станине станка; 2) станки, в которых трубу зажимают неподвижно, а резцы закрепляют во вращающемся патроне. Трубообрезные станки с вращающейся трубой имеют ряд существенных преимуществ и получили более широкое распространение.

Резьбовое соединение применяют для газовых труб, для труб, используемых при бурении нефтяных и геологоразведочных скважин (бурильные и обсадные), и для труб, используемых при эксплуатации нефтяных скважин (насосно-компрессорные). Трубы различных видов имеют разную резьбу, которая должна обеспечить максимальную плотность соединения при минимально возможном ослаблении толщины стенки. Поэтому резьба, применяемая для соединения труб, значительно отличается от резьбы других видов.

Резьбу на концах труб нарезают на трубонарезных станках различной конструкции. Основным отличием трубонарезных станков является вид режущего инструмента, применяемого для нарезания резьбы. В соответствии с этим трубонарезные станки разделяют на три группы: 1) резцовые; 2) с резьбонарезными головками (называемые также плашечными); 3) фрезерные.

В настоящее время начинают применять накатку резьбы вместо нарезания. Накатка резьбы является весьма прогрессивной технологией. Обеспечивает значительную экономию металла.

Участки отделки труб механизированы и автоматизированы в меньшей степени, чем участки прокатки, и на них еще занято ручными операциями значительное число рабочих. В ряде цехов автоматизированы транспортные рольганги, сбрасыватели, трубоправильные станы, трубонарезные станки.

На рис. 427 приведена схема автоматизации участка отделки трубопрокатного цеха, отличающегося определенной поточностью и значительной степенью механизации транспортных операций. После стана горячей правки 1 трубы передаются на первую секцию 2 двухсекционного холодильника. При скатывании труб с этой секции по импульсу конечного выключателя 1ВК включается промежуточный рольганг 3, и труба подается к сбрасывателям на вторую секцию. Системой предусмотрен контроль правильной транспортировки трубы по рольгангу. В случае, если труба задерживается в начале или середине рольганга, то после выдержки и включения рольганга или после прохождения трубой конечного выключателя 2ВК останавливаются приводы рольганга и первой секции холодильника и подается звуковой сигнал о неисправности.

По рольгангу труба достигает выключателя 4ВК, который выключает рольганг, а датчик 5ВК включает сбрасыватель трубы на вторую секцию 4. Конечный выключатель 6ВК разрешает включение привода сбрасывателя в случае, если предыдущая труба убрана шлепперной секцией от сбрасывателя. Этим предотвращается попадание двух труб в одну секцию шлеппера. В конце второй секции холодильника труба воз-

действует на датчик 7ВК, который включает подачу сжатого воздуха для продувки труб с целью удаления окалины.

После холодильника трубы подвергаются холодной правке на семи-валковом правильном стане 5. С холодильника трубы специальными подталкивателями подаются к дозатору, по одной сбрасываются в приемный желоб правильного стана и задаются в валки фрикционным толкателем.

В приемный желоб трубы передаются дозатором в случае, если подталкиватель находится в нижнем положении, а перед дозатором находится не более двух труб. Это происходит в том случае, если датчики 8КВ и 9КВ действуют и толкатель находится в исходном положении, что фиксируется датчиком 10КВ. После подачи трубы и возврата дозатора в исходное положение толкатель включается на ход «вперед» и реверсируется при входе трубы в валки от сигнала фотореле ФТ с осветителем СТ. Следующая труба подается в желоб до подхода толкателя в исходное заднее положение после прохождения им датчика 11КВ.

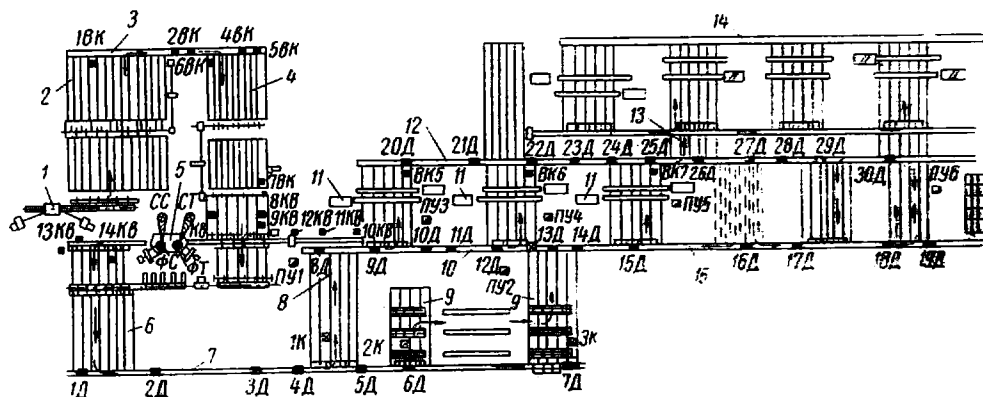


Рис. 427. План участка отделки трубопрокатного цеха

При выходе трубы из правильного стана фотореле ФС засвечивается осветителем СС и включается выводной рольганг. Если не заполнен стеллаж за станом, то по импульсу датчика 13КВ рольганг выключается и сбрасывает трубу на стеллаж.

Выправленные трубы поступают на стеллаж осмотра 6, где их перекачивают вручную, осматривают контролеры ОТК и передают на шестисекционный рольганг 7. Отсюда трубы транспортируются к передаточному стеллажу 8 или к ремонтным стеллажам 9. Происходит это так. Со сбросом трубы от импульса датчика 1Д включается первая секция, далее от датчика 2Д — вторая и затем третья. При транспортировке труб по программе с подачей на передаточный стеллаж датчики 3Д и 4Д отключают рольганг, а датчик 4Д с выдержкой, необходимой для подачи трубы по инерции к передаточному стеллажу, включает сбрасыватель. При передаче труб на ремонтные стеллажи аналогичную работу выполняют датчики 5Д, 6Д и 7Д. Датчики 1К, 2К, 3К осуществляют контроль заполнения трубами стеллажей и в зависимости от этого позволяют или запрещают подачу трубы на стеллаж.

Транспортный рольганг 10 транспортирует трубы к стеллажам трубообрезных станков 11, где подъемными рольгангами они сбрасываются поочередно на стеллажи станков. На рольганге возможен наряду с прямым потоком также встречный поток.

Программа транспортировки трубы задается с пультов *ПУ1* или *ПУ2* при сбросе очередной трубы и вслед за этим датчики *8Д* включают первую секцию рольганга. При прохождении трубы одновременно над датчиками *10Д* и *11Д* отключается первая секция рольганга, чем достигается требуемый разрыв между трубами.

Датчики *9Д*, *11Д*, *14Д* включают сбрасыватели, выдающие трубу на стеллажи с выдержкой после ее прохождения. При обратном потоке труб сбрасыватель второй пары станков включается датчиком *13Д*.

Подача труб к трубообрезным станкам и обрезка концов не автоматизированы. После трубообрезных станков по рольгангу *12* обсадные трубы подаются к трубонарезным станкам, а гладкие нефтепроводные трубы на стеллажи для осмотра. Установка программы транспортировки труб от обрезных станков осуществляется с пультов *ПУ3*, *ПУ4*, *ПУ5*.

После обрезки труба со стеллажа трубообрезных станков перекачивается к сбрасывателю и воздействует на датчик *ВК5*, который подает импульс на включение выбрасывателя. Для предотвращения ударов дозатор срабатывает только в том случае, если перед ним имеется не менее двух труб. Когда труба попадает на рольганг, от импульса датчика *20Д* включается первая секция рольганга, а при воздействии трубы на датчик *21Д* включается вторая секция рольганга и дается импульс на возврат выбрасывателей первой пары в исходное положение. Датчики *23Д* и *24Д*, так же как *10Д* и *11Д*, отключая предыдущую секцию рольганга, обеспечивают необходимые разрывы между отдельными трубами.

Аналогично осуществляются выдача и транспортировка труб от второй и третьей пары станков.

В зависимости от заданной программы обсадные трубы транспортируются от передаточной решетки *13*, выбрасываются в результате воздействия на датчик *26Д* на передаточную решетку и передаются по ней к рольгангу трубонарезных станков или транспортируются к передаточному рольгангу *14*. В последнем случае датчик *26Д* включает четвертую секцию, а датчик *27Д* дает импульс выдачи труб на решетку. По передаточной решетке трубы поступают к рольгангу *15* и транспортируются к инспекционным стеллажам. Далее в зависимости от программы, установленной на *ПУ6*, они подаются к одному из накопительных стеллажей.

По передаточной решетке осуществляется передача труб на рольганг, направляющий их к автоматизированным трубонарезным станкам.

Участки отделки новых цехов представляют собой несколько самостоятельных поточных линий, где каждая труба проходит ряд последовательных технологических операций на многошпиндельных станках роторного типа, причем обработка конца трубы производится в процессе ее транспортировки через станок.

Трубы с цепного холодильника передаются на секционное устройство, распределяющее поперечный поток труб на несколько продольных потоков. Рольганги каждого потока подают трубы к правильным машинам и далее к поточным линиям отделки.

Правильные машины имеют передние и задние закрытые проводки в виде отдельных секций, ограничивающих биение трубы и поглощающих удары при правке. На входе и выходе труб из правильной машины установлены магнитные ролики, обеспечивающие надежную задачу и выдачу трубы.

В конце рольгангов установлены мотыльковые сбрасыватели, передающие трубы на решетки линий отделки. Каждая линия отделки

представляет собой комплекс машин и устройств, через которые непрерывно проходят трубы.

Поточность линии отделки и использование барабанных станков обеспечивают наилучшие условия для комплексной автоматизации процесса. Все оборудование работает в непрерывном режиме. Системы автоматики лишь выключают станки, рольганги и секции делительного устройства при накоплении на решетке труб в количестве более требуемого и автоматически включают всю линию при нормальной загрузке решеток. Сбрасыватели, перекрыватели, рольганги и другие периодически включающиеся устройства автоматически управляются в функции положения труб и механизмов. Наличие или отсутствие трубы определяется бесконтактными индуктивными датчиками. Такие линии применяются для обработки сварных и бесшовных труб.

В настоящее время основные производственные операции в трубопрокатных цехах механизированы и автоматизированы, за исключением контроля качества труб в процессе изготовления, контроля готовых труб, собственно процесса прокатки труб на станах и ремонта поверхности труб.

ВОЛОЧЕНИЕ И ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ТРУБ**1. СОРТАМЕНТ**

Волочение и холодную прокатку труб производят с целью получения труб меньших размеров (по диаметру или толщине стенки), чем это возможно при горячей прокатке или сварке, труб с повышенными требованиями, предъявляемыми к поверхности (наружной и внутренней) и к точности геометрических размеров, а также труб со специальными свойствами [II. 16; VI. 2, 6, 23, 27].

Волочением и холодной прокаткой изготавливают трубы диаметром 0,3—200 мм и толщиной стенки 0,1—12 мм. Основной сортамент труб определяется ГОСТ 8734—58, который распространяется на холодно-тянутые и холоднокатаные трубы из углеродистой и легированной сталей, применяемые для трубопроводов и деталей конструкций разного назначения. В зависимости от назначения трубы поставляют:

1) по химическому составу без контроля механических свойств из спокойной стали по ГОСТ 380—60 (группа Б мартеновская сталь) и ГОСТ 1050—60, а также из стали ГОСТ 4543—61 и 5058—57;

2) по химическому составу и механическим свойствам после термической обработки из стали по ГОСТ 1050—60, 4543—61 и 5058—57;

3) по химическому составу из стали по ГОСТ 1050—60, 4543—61 и 5058—57 с контролем механических свойств на термически обработанных образцах;

4) после специальной термической обработки (марки стали, режим термической обработки и нормы механических свойств устанавливают дополнительными техническими условиями);

5) без нормирования химического состава и механических свойств, но с гарантией гидравлического давления.

В зависимости от условий работы и назначения трубы подвергают различным технологическим испытаниям.

Специальные требования, предъявляемые к холоднодеформированным трубам по электрополировке поверхности, специальной термической обработке, структуре металла, дополнительным испытаниям, изготовлению труб из стали других марок и т. п., определяются отдельными стандартами или дополнительными техническими условиями [12].

2. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ВОЛОЧЕНИЯ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

В качестве заготовок для волочения, холодной и теплой прокатки труб применяют горячекатаные, электросварные и сварные трубы. При выборе заготовок исходят из размеров, которые должна иметь готовая труба. Во всех случаях диаметр и толщина стенки заготовки должны быть больше размеров готовой трубы. При этом необходимо стремить-

ся к тому, чтобы затрачивать наименьшую работу на осуществление волочения или прокатки; разница в размерах готовой трубы и заготовки должна быть по возможности наименьшей. Однако при холодном волочении и холодной прокатке существует известная зависимость между деформацией толщины стенки и диаметра; при уменьшении толщины стенки обычно уменьшается и диаметр трубы. Поэтому чем больше разница между толщиной стенки заготовки и толщиной стенки готовой трубы, тем больше должна быть разница и между их диаметрами.

Процесс холодного волочения и холодной прокатки состоит из ряда подготовительных, основных и отделочных операций. При холодном волочении (рис. 428) трубную заготовку со склада 1 подают на стелла-

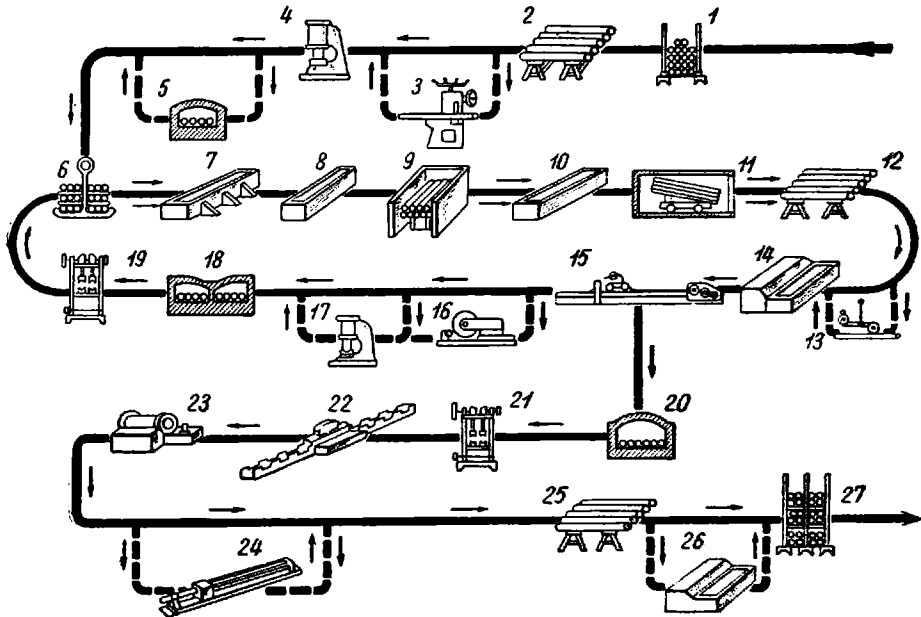


Рис. 428. Технологическая схема процесса холодного волочения труб

жи 2 для осмотра и разбраковки. Если длина заготовки отличается от требуемой, ее подают на обрезной станок 3, где ее разрезают на несколько частей или обрезают концы. После этого концы заготовки забивают на молоте 4 или ковочной машине. Волочильные станы современной конструкции не требуют забивки концов. Заготовки из углеродистых сталей набирают в пакеты 6 непосредственно после забивки концов. Заготовки из специальных сталей после забивки концов подвергают предварительному отжигу в печи 5 и только после этого набирают в пакеты 6. Набранные в пакеты заготовки подвергают травлению в ванне 7 с кислотным раствором, затем промывке в ванне 8 с горячей водой и промывке в камере 9 водой под давлением. Промытые заготовки подвергают специальной обработке (фосфатирование, омеднение и др.) в ванне 10, сушке в печи 11 и осмотру на стеллажах 12. Заготовки с дефектами идут на шлифовальные станки 13 для ремонта, а заготовки без дефектов после осмотра погружают в ванну 14 с раствором мыла, которое сцепляется с ранее нанесенной пленкой и служит смазкой при волочении, а затем направляют на волочильный стан 15 для волочения.

Если длина труб после волочения слишком велика, то их разрезают пополам пилой трения 16. Кроме того, если забитые головки близки по размерам к диаметру протянутой трубы, то головки обрезают и концы труб вновь забивают на молоте 17. В некоторых случаях, когда головка еще может быть использована, производят подбивку ее на молоте 17.

Затем трубы проходят промежуточный отжиг в печи 18 и промежуточную правку на кулачковом стане 19. После этого повторяют цикл операций, начиная от наборки пакетов 6 и кончая промежуточной

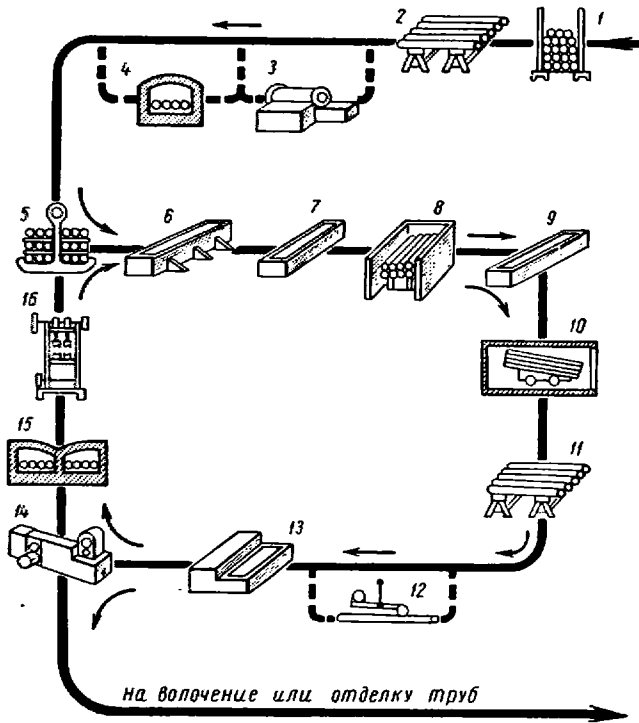


Рис. 429. Технологическая схема процесса холодной прокатки труб

правкой на кулачковом стане 19, столько раз, сколько проходов должна получить труба. После последнего прохода на волочильном стане 15 трубы передают для отжига в печь 20. После отжига трубы поступают на отделку. Они проходят правку на кулачковом 21 и валковом 22 станах. Затем концы труб обрезают на обрезных станках 23 и подвергают осмотру на стеллажах 25.

После обрезки трубы могут проходить испытание на гидравлическом прессе 24, если это необходимо по техническим условиям. После осмотра на стеллажах 25 трубы, если нужно, проходят смазку в ванне 26 и поступают на склад 27 готовой продукции.

При холодной прокатке (рис. 429) трубную заготовку со склада 1 подают на стеллаж 2 для осмотра. Годные заготовки набирают в пакеты 5. Для холодной прокатки требуются заготовки с хорошо обрезанными концами, поэтому в случае необходимости нужно обрезать концы на резцовом станке 3. Заготовки из специальных сталей проходят предварительный отжиг в печи 4.

Набранные в пакеты 5 заготовки подвергают травлению в ванне 6, промывке в ванне 7 с горячей водой, промывке водой под давлением в камере 8 и нейтрализации в щелочном растворе в ванне 9. Затем заготовки просушивают в печи 10 и осматривают на стеллажах 11. Заготовки с дефектами подвергают ремонту на шлифовальных станках 12; заготовки без дефектов подвергают фосфатированию, омеднению или оксалатированию, промасливают в ванне 13 и прокатывают на станах 14 холодной прокатки. После прокатки осуществляют промежуточный отжиг в печи 15 и промежуточную правку на эксцентриковом прессе 16.

Трубы изготовляют сочетанием холодной прокатки и волочения. На станах холодной прокатки осуществляют значительное уменьшение толщины стенки и диаметра за одну операцию, что сокращает число проходов при волочении.

Если трубы подвергают повторному холодному волочению, то они проходят операции на оборудовании 6—19 (см. рис. 428); в случае, если трубы подвергают повторной холодной прокатке, то они проходят операции на оборудовании 5—14 (рис. 429).

Трубы после последнего прохода или последней прокатки проходят операции на оборудовании 20—27 (см. рис. 428).

3. ВОЛОЧЕНИЕ

Уменьшение поперечного сечения трубы достигается уменьшением ее диаметра и толщины стенки; в некоторых случаях только уменьшением диаметра или увеличением диаметра и уменьшением толщины стен-

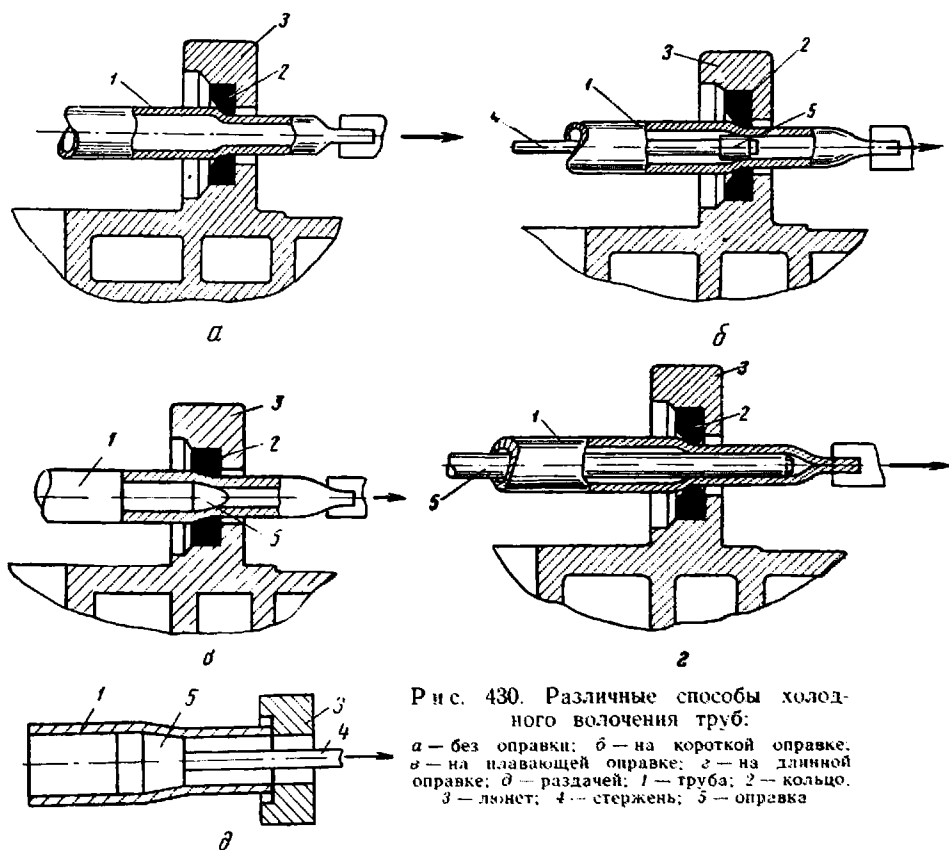


Рис. 430. Различные способы холодного волочения труб:

а — без оправки; б — на короткой оправке; в — на плавающей оправке; г — на длинной оправке; д — раздачей; 1 — труба; 2 — кольцо; 3 — люнет; 4 — стержень; 5 — оправка

ки. Волочение труб осуществляют различными способами: без оправки, на короткой оправке (пробке), на плавающей оправке, на длинной оправке и раздачей.

Волочение без оправки (рис. 430, а) применяют в том случае, когда необходимо уменьшить только диаметр трубы. Волочением труб на короткой оправке (рис. 430, б) одновременно уменьшают диаметр их и толщину стенки. Волочением на плавающей оправке (рис. 430, в) также уменьшают одновременно диаметр и толщину стенки трубы. В отли-

чне от волочения на короткой оправке плавающая оправка самоустанавливается в очаге деформации.

Волочением на длинной оправке (рис. 430, з) также одновременно уменьшают диаметр и толщину стенки трубы. Длинную оправку, находящуюся внутри трубы, не закрепляют в стагине, а перемешают вместе с трубой при волочении. При этом силы трения между трубой и инструментом меньше, чем при волочении на короткой оправке. Поэтому при волочении на длинной оправке можно производить большие обжатия за один проход, чем при волочении на короткой оправке.

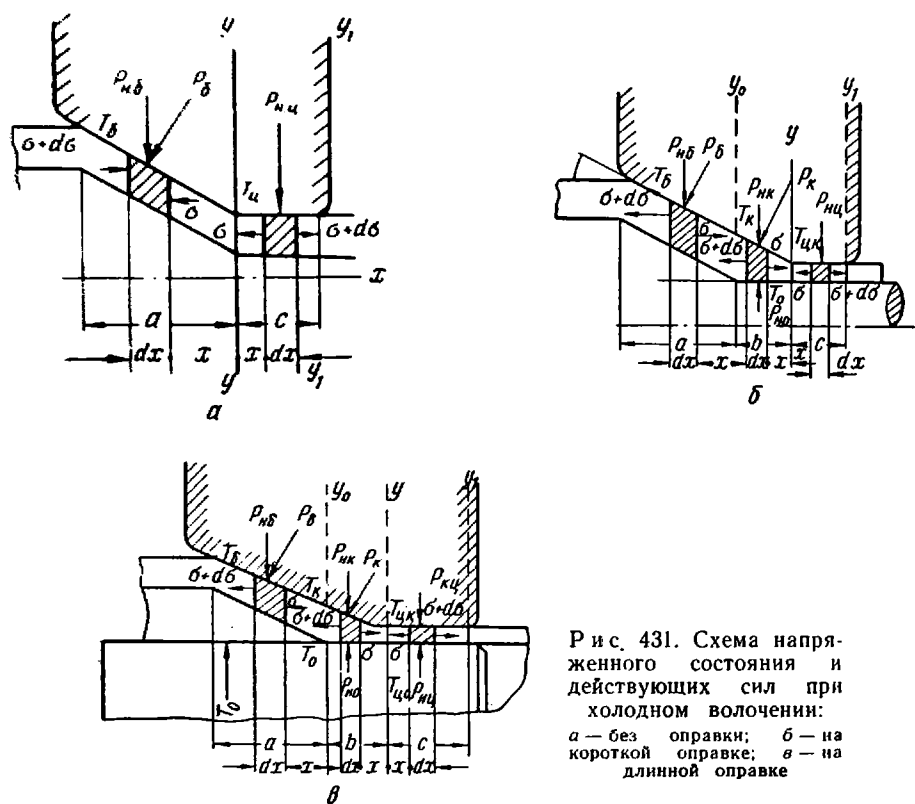


Рис. 431. Схема напряженного состояния и действующих сил при холодном волочении:
 а — без оправки; б — на короткой оправке; в — на длинной оправке

Волочением раздачей (рис. 430, д) уменьшают толщину стенки трубы и несколько увеличивают ее диаметр. При этом получают трубы высокой точности по внутреннему диаметру, а также тонкостенные трубы большого диаметра. Волочение раздачей может осуществляться движением оправки, растягивающим или сжимающим трубу.

Схема действующих сил и напряженного состояния при волочении труб представлена на рис. 431. При рассмотрении действующих сил волочильное очко принято с прямолинейным профилем, обычно применяемым при волочении труб. На бесконечно малый элемент кольцевого сечения трубы толщиной dx (при безоправочном волочении) действуют растягивающее напряжение σ_1 и сжимающие напряжения σ_2 и σ_3 . Принимают также, что плоские сечения выделенного элемента до деформации остаются плоскими и после деформации; на выделенный элемент в конической части очка при волочении без оправки (рис. 431, а) действуют удельное нормальное давление p_b (радиальная проекция этого давления $p_{н.б}$) и удельная сила трения T_b между трубой и очком. На цилинд-

рическом участке действуют соответственно удельное давление p_y и удельная сила трения T_y .

При волочении на короткой оправке (рис. 431, б) необходимо учитывать на участке соприкосновения металла с оправкой удельную силу давления p_k и удельные силы трения металла о кольцо T и оправку T_0 .

При волочении на длинной оправке (рис. 431, в) силы трения металла об оправку T_0 направлены в противоположном направлении по сравнению с волочением на короткой оправке.

Составляя уравнение равновесия и решая его совместно с уравнением пластичности, Л. Е. Альшевский получил формулы для подсчета тягового усилия при волочении, которые дают результаты, близко совпадающие с данными практических измерений:

для тонкостенных труб без оправки

$$P = 1,1\rho_0 E F_1 A, \quad (\text{XXII.1})$$

для толстостенных труб без оправки

$$P = 1,2\rho_0 E F_1 A, \quad (\text{XXII.2})$$

для труб на короткой оправке

$$P = 1,05\rho_{01} E_1 F_1 A, \quad (\text{XXII.3})$$

для труб на длинной оправке

$$P = 1,75\rho_{01} E_2 F_1 A, \quad (\text{XXII.4})$$

где ρ_0 — сопротивление деформации, равное среднему значению предела прочности стали до волочения и после него;

ρ_{01} — то же, но с учетом сопротивления деформации на участке оправочного волочения;

A — относительное обжатие, равное $\frac{F_0 - F_1}{F_0}$;

E, E_1, E_2 — коэффициенты, учитывающие трение, возникающее при волочении.

Коэффициенты, входящие в формулы (XXII.1) — (XXII.4), определяют так:

$$E = \frac{\operatorname{tg} \alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha}, \quad (\text{XXII.5})$$

$$E_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha - f}{(1 - f \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} + a \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (\text{XXII.6})$$

$$E_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} - a \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (\text{XXII.7})$$

где α — угол наклона стенки волочильного отверстия к оси волочения;

f — коэффициент трения между оправкой, кольцом и трубой;

a — отношение среднего конечного радиуса трубы к радиусу оправки.

Аналогичным методом М. Б. Биск и В. В. Швейкин получили для волочения на короткой плавающей (самоустанавливающейся) оправке

$$E_1 = \frac{f_1 + f_2}{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)} + 1, \quad (\text{XXII.8})$$

где f_1 — коэффициент трения между трубой и кольцом;

f_2 — коэффициент трения между оправкой и кольцом;

β — угол наклона образующей оправки.

Каждый труболовильный стан рассчитывают на тяговое усилие определенной величины. Труболовильные станы строят на тяговое

усилие 80, 150, 300, 450, 600 и 1000 кн (соответственно 8, 15, 30, 45, 60 и 100 тс). Для волочения малых размеров труб применяют также станы с тяговым усилием 5, 10, 30 и 50 кн (соответственно 0,5; 1; 3 и 5 тс).

На современных волочильных станах все операции механизированы. Существует большое число различных конструкций волочильных станов, в которых подача трубы и оправки выполняется различными механизмами. В качестве примера на рис. 432 представлен механизированный трехниточный стан для волочения труб на короткой оправке. Этот стан предназначен для волочения стальных труб диаметром 25—70 мм с пределом прочности трубы до 800 Мн/м² (80 кгс/мм²) и с максимальным усилием волочения 300 кн (30 тс). Скорость волочения регулируется бесступенчато в интервале 6—65 м/мин. Нарастание скорости происходит на 1/8 длины протягиваемой трубы. Скорость возврата тележки равна 180 м/мин. Мощность главного привода 294 квт. Люнет—держатель волок и полые стержни стана оборудованы устройством, обеспечивающим смазку труб снаружи и внутри во время волочения и центровку волоки по оси волочения. Производительность стана при волочении одной трубы наибольшей длины равна 1000 м/ч, при двухниточном волочении 1950 м/ч и при трехниточном 2800 м/ч.

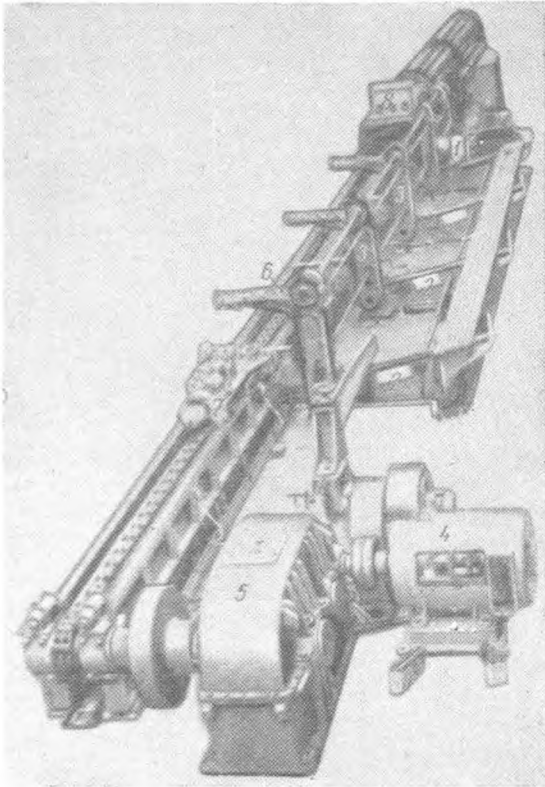


Рис. 432. Трубоволокильный трехниточный стан с усилием волочения 300 кн (30 тс):

1 — заслонка-отсекатель; 2 — загрузочный стеллаж; 3 — цепной элеватор; 4 — электродвигатель привода стана; 5 — редуктор; 6 — шнеки; 7 — тележка; 8 — барабан

Цикл волочения трубы на стане включает загрузку труб на стан, задачу труб в барабан, поворот и продвижение барабана, проталкивание концов труб в волоки, сбрасывание труб и возврат тележки.

Правленные трубы укладывают пакетами в загрузочный карман 2 (рис. 432). В зависимости от длины труб большая сортировочная заслонка 1 устанавливается на конечной опоре при длине заготовки (до волочения) 11,5—14,5 м или на промежуточной опоре при длине труб 8,5—11,5 м. Затем зев сортировочной заслонки регулируют так, чтобы расстояние между рольгангом встряхивания труб и сортировочным упором было равно 1,5—2 диаметрам трубы.

Разложенные встряхивающим рольгангом в один слой трубы подаются к карману рольганга, откуда по одной захватываются крючьями цепного элеватора 3.

Цепной элеватор работает периодически и за пол-оборота обеспечивает передачу на шнеки одной, двух или трех труб. После подъема труб элеваторами на уровень рольганга загрузки в барабан они попадают на горизонтальные шнеки (рис. 433), которые осуществляют параллельное передвижение труб в горизонтальной плоскости, перпендикулярной оси труб, и укладывают их в соответствующие выемки роликов задающего рольганга.

Установка труб шнеками производится по заданной программе по одной, две или три трубы. Программа задается селектором, находящимся на пульте управления стана. Ролики задающего рольганга приводятся в движение от фланцевых электродвигателей. Трубы рольгангом подают в трайбролики, которыми они надвигаются на оправки.

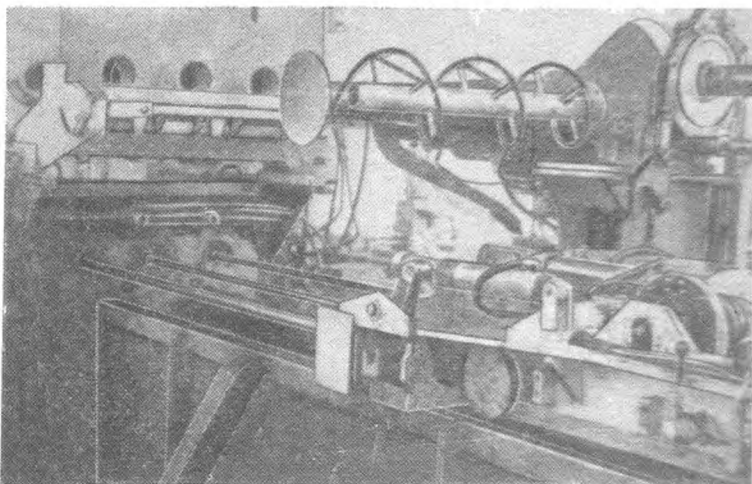


Рис. 433. Установочные шнеки для распределения труб на рольганге перед трайбаппаратом по осям каналов барабана

удерживаемые стержнями, расположенными внутри трубчатых каналов барабана.

Задающие ролики (рис. 434) и ролики трайбаппарата расположены над рамой стойки волок. Рама трайбаппарата имеет трехниточный комплект V-образных гуммированных роликов, приводимых во вращение гидроприводом. Как только транспортируемые трайбаппаратом трубы покидают его ролики, осуществляется затормаживание труб тормозными колодками, расположенными в каналах барабана так, чтобы концы труб оказались в положении, показанном на рис. 434.

Расстояние между роликами трайбаппарата регулируется в зависимости от диаметра труб. На раме трайбаппарата перед барабаном расположен кронштейн с комплектом трехниточных неприводных V-образных роликов, поддерживающих концы стержней с закрепленными на них оправками. Эти ролики закреплены на рычагах.

Передвигаясь назад, барабан отодвигает надвинутые на стержни трубы от рамы трайбаппарата и обеспечивает возможность поворота барабана. После поворота на 180° и движения барабана вперед производится подача труб в механизмы для их запрессовки в волокна.

Поворот и возвратно-поступательное перемещение барабана осуществляется с помощью гидравлического привода с фиксацией положения при этих движениях сервоприводами.

Гидравлический цилиндр двойного действия осуществляет перемещение трубы. Гидравлический двигатель с редуктором обеспечивает вращение барабана на пол-оборота в одну и другую стороны.

Все шесть трубчатых каналов барабана имеют на входе V-образные зажимы с пневмоприводами, предназначенными для центровки и зажатия труб в определенном фиксированном положении. На задней

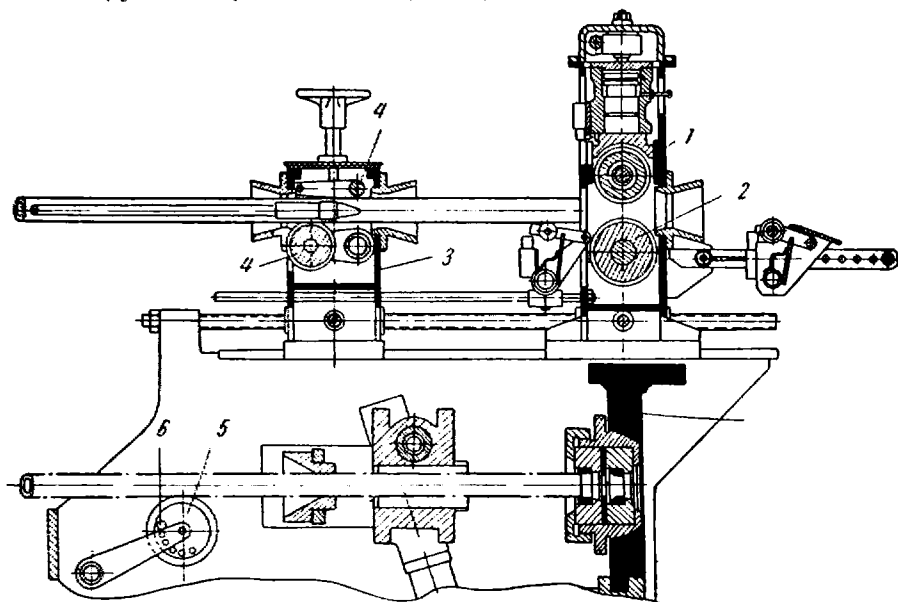


Рис. 434. Схема задающего аппарата:

1 — корпус; 2 — трайбродляки; 3 — кронштейн роликов поддержки стержней; 4 — ролик поддержки концов стержней; 5 — ролики контроля длины обжима кольца трубы; 6 — стопорный фиксатор

части барабана в подвижной траверсе укреплены стержни-оправкодержатели. Положение оправок и возвратно-поступательное перемещение их вместе со стержнями в процессе волочения трубы на самоуглавливающейся оправке на некоторую величину ψ обеспечивается регулировкой положения гаек, когда траверса выдвинута вперед. Пневматический привод с зубчатой рейкой обеспечивает подачу оправок вперед, в очаг деформации.

Проталкивание концов труб в волокна без предварительной заковки осуществляется проталкивающим ползуном с зажимами. Перемещение ползуна производится от гидравлического цилиндра.

Длина заковки контролируется с помощью роликов от труб. Контрольные ролики имеют стопорный штырь (см. рис. 434), ограничивающий длину дуги их реверсивного поворота. На ролике имеется определенное число отверстий для установки этого штыря, благодаря чему изменяется длина дуги и соответствующая ей длина запрессовки труб.

В раме стойки волок стана предусмотрена установка двух волок, из которых первая волок является направляющей, предотвращающей возможный поперечный изгиб трубы. Волокна устанавливаются в опорную пятку, которая смонтирована в раме стойки волок.

Волоочильная тележка имеет три пары плашковых зажимов, три выталкивателя труб и криво, которые приводятся в действие посредством пневматики. Аккумулятор сжатого воздуха, расположенный на раме тележки, обеспечивает полную автономность ее работы.

Пневмопитание аккумулятора и пневмоцилиндров зажимов выталкивателей и опускания крюка осуществляется при помощи заборных патрубков тележки в момент остановки у стойки волок. Сбрасывание труб в карман производится автоматически посредством дугообразных рычагов, движение которых обеспечивается пневмоцилиндрами. Команда на включение пневмоцилиндров сброса труб подается от фотореле, расположенного при входе трубы в волок и контролирующего окончание процесса волочения.

Возврат тележки к стойке волок осуществляется автоматически, однако предусмотрена возможность управлять ее движением в обоих направлениях вручную, с пульта управления.

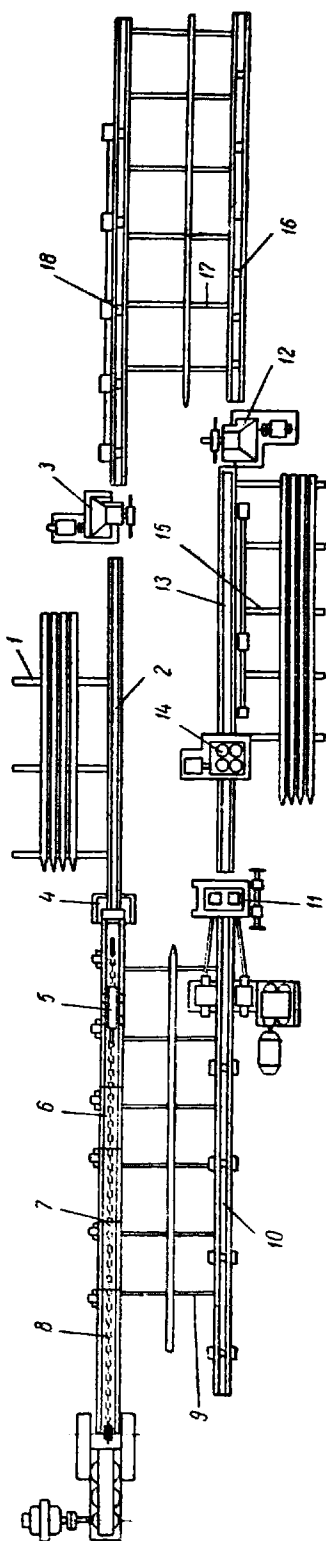
V-образные кулачки-датчики, расположенные вдоль одной из сторон стана, обеспечивают автоматическое замедление хода тележки в начале и конце пути у стойки волок и буферного устройства со стороны привода главной цепи стана.

Замедление вращения главного двигателя стана в конце процесса волочения трубы необходимо осуществлять в зависимости от длины труб. Для этой цели служит переключатель, имеющий три положения для нейтрализации действия того или иного датчика.

При нормальной работе стана все операции осуществляются автоматически. Однако предусмотрена возможность полуавтоматического действия «ручным» управлением для регулировки и настройки инструмента в исходном положении, а также для повторения операции при неполадках (например, при разрыве трубы).

Стан для волочения труб на длинной оправке представлен на рис. 435. Кроме трубоволочного стана обычной конструкции, имеются дополнительные устройства: обкатная машина, оправковталькиватель и оправкоизвлекатель.

Дальнейшее усовершенствование трубоволочных станом на-



Р и с. 435. Механизированный стан для волочения труб на длинной оправке.

1 — стеллажи; 2 — ролик; 3 — оправковталькиватель; 4 — лент; 5 — волочильная тележка; 6 — волочильная цепь; 7 — поворотные рычаги; 8 — стеллаж; 9 — буферное устройство; 10 — обкатная машина; 11 — оправкоизвлекатель; 12 — оправковталькиватель; 13 — желоб; 14 — подающее устройство; 15 — карман; 16 — стеллаж; 17 — ролик; 18 — рычаг

правлено: 1) на одновременное протягивание двух, трех и более труб, 2) на увеличение скорости, 3) на увеличение длины труб. Осуществление этих усовершенствований стало возможным благодаря применению новых конструкций труболовильных станов (реечных и двухцепных). Высокая производительность новых станов обеспечивается также полной автоматизацией всех операций.

При работе на труболовильных станках длина получаемых после волочения труб ограничивается длиной стана. Для уменьшения отходов и сокращения числа промежуточных операций при волочении труб на отечественных заводах впервые были применены барабаны. На волочильных барабанах возможно волочение труб только малых диаметров на плавающей оправке и без оправки. При этом длина труб достигает 100 м, а скорость волочения 100—200 м/мин; благодаря этому увеличивается производительность этих станков.

4. ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА

Станы холодной прокатки труб различают нескольких типов: двухвалковые, роликовые, станы с плавающими валками, планетарные и поперечной прокатки. Наибольшее распространение получили двухвалковые станы с периодическим режимом работы рабочей клетки, которой сообщается возвратно-поступательное движение при помощи кривошипно-шатунного механизма. Рабочие валки, установленные в клетке на опорах, совершают в процессе прокатки качательное движение посредством насаженных на их шейки шестерен; крайние шестерни на нижнем валке находятся в зацеплении с зубчатыми рейками, закрепленными неподвижно на боковых стенках станины под рабочей клетью.

Процесс прокатки труб (рис. 436) осуществляется на неподвижной конической оправке, установленной в ручьях переменного сечения по окружности валков.

Исходный размер ручья соответствует наружному диаметру заготовки, а конечный — наружному диаметру готовой трубы.

Конструктивной особенностью, отличающей станы холодной периодической прокатки труб от пилигримовых станков горячей прокатки, является возвратно-поступательное движение рабочей клетки и неподвижность конической оправки. Кроме того, при холодной периодической прокатке полностью используется трубная заготовка, а при горячей пилигримовой прокатке значительная часть ее (пилигримовая головка) идет в отходы.

В исходном положении рабочей клетки (рис. 436, а) в результате подачи заготовки рабочий конус (коническая часть заготовки) передвигается в направлении прокатки на расстояние m (называемое подачей). При этом исходное сечение $I—I$ рабочего конуса, равное сечению заготовки, перемещается на ту же величину и занимает положение $I_1—I_1$; конечное сечение $II—II$ рабочего конуса занимает положение $II_1—II_1$.

Во время подачи внутренняя поверхность рабочего конуса заготовки отходит от поверхности оправки и образует зазор Δz . Вследствие этого деформация рабочего конуса начинается с редуцирования по диаметру до соприкосновения внутренней поверхности с оправкой, после чего обжатие по диаметру сопровождается обжатием по стенке.

При движении рабочей клетки вперед во время ее основного рабочего хода происходит деформация поступившего металла, объем которого, называемый объемом подачи, равен произведению площади поперечного сечения заготовки на величину подачи.

По мере движения клетки вперед (рис. 436, б) и поворота калибров в направлении, обратном перемещению металла, участок рабочего конуса, расположенный впереди калибров, под действием вытяжки движется вперед, конечное сечение его $II_1—II_1$ занимает при этом промежуточное положение $II_x—II_x$, смещенное относительно сечения $II—II$ на расстояние, равное $\mu_x m$ (μ_x —текущее значение коэффициента вытяжки). Конечное сечение рабочего конуса при промежуточном положении ра-

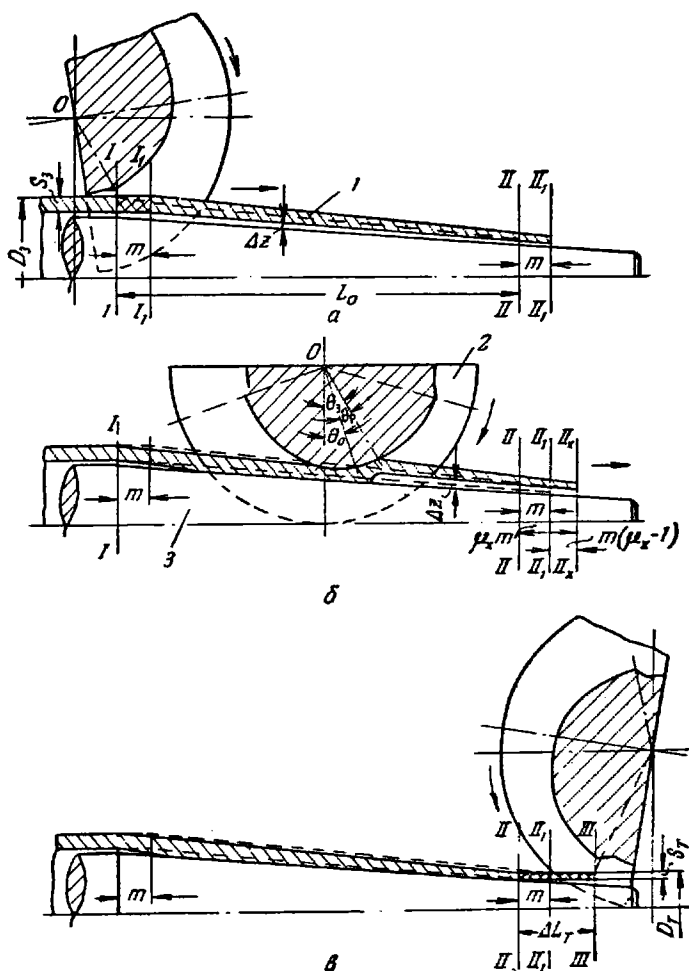


Рис. 436. Схема формоизменения металла при холодной прокатке труб:

1 — рабочий конус; 2 — калибр; 3 — оправка

бочей клетки смещено относительно сечения $II_1—II_1$ на расстояние, равное $\mu_2 m - 1$.

При движении рабочей клетки вперед и по мере перекатывания калибров происходит постепенное увеличение зазора между внутренней поверхностью рабочего конуса и оправкой, расположенных впереди калибров. При повороте калибров обжатую стенку рабочего конуса предшествует редуцирование по диаметру, в связи с этим очаг деформации металла в калибрах можно рассматривать состоящим из двух участков: 1) участка, ограниченного центральным углом θ_p (углом редуцирования), в котором происходит редуцирование рабочего конуса по диаметру

ру без обжатия стенки до соприкосновения его внутренней поверхности с поверхностью оправки, 2) участка, ограниченного центральным углом θ_0 (углом обжатия), в котором обжатие рабочего конуса по диаметру сопровождается обжатием стенки.

Углы θ_p и θ_0 , величины которых во время основного рабочего хода клетки переменны, образуют угол захвата θ_a .

В конце основного рабочего хода клетки (рис. 436, в) заканчивается прокатка участка готовой трубы, отвечающего одному циклу прокатки (сечение III—III).

Поступивший в калибры участок заготовки m объемом

$$V_0 = \pi s_3 (D_3 - s_3) m \quad (\text{XXII.9})$$

прокатывается в отрезок трубы длиной ΔL_T , объем которого

$$V_T = V_0 = \pi s_T (D_T - s_T) \Delta L_T. \quad (\text{XXII.10})$$

Из равенства объемов не трудно установить зависимость длины участка трубы, прокатываемой за двойной ход рабочей клетки, от сече-

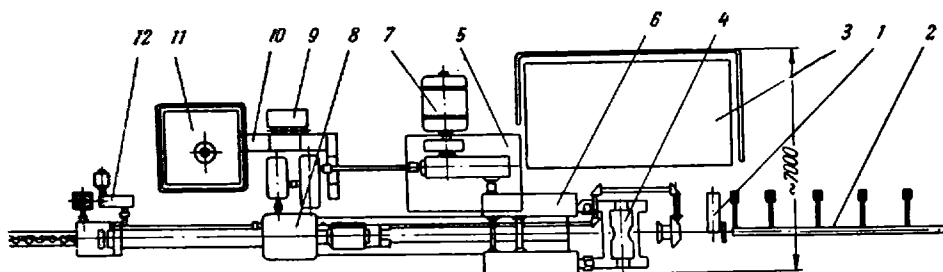


Рис. 437. Схема расположения оборудования стана холодной прокатки труб ХПТ-75:

1 — пила; 2 — стол выдачи; 3 — смазочная станция; 4 — рабочая клетка; 5 — приводной механизм; 6 — приемный стол; 7 — главный электродвигатель; 8 — распределительно-подающий механизм; 9 — гидравлическое управление; 10 — плитный настил и ограждения; 11 — аккумулятор гидроуправления; 12 — механизм установки и отвода стержня

ния заготовки и величины подачи. Зависимость эта может быть выражена формулой:

$$\Delta L_T = \frac{\pi s_3 (D_3 - s_3) m}{\pi s_T (D_T - s_T)} = \mu_g m, \quad (\text{XXII.11})$$

где μ_g — общий коэффициент вытяжки, определяемой отношением площади поперечного сечения заготовки к площади поперечного сечения прокатанной трубы.

Наиболее распространены три типа станов холодной прокатки труб: ХПТ-32, ХПТ-35 и ХПТ-75; краткая характеристика различных станов холодной прокатки труб приведена в табл. 41.

Стан холодной прокатки труб ХПТ-75 (рис. 437) имеет следующие узлы и механизмы: рабочую клетку с приводным механизмом, главный привод с цилиндрическим редуктором, распределительно-подающий механизм, механизм отвода патрона и механизм установки и движения стержня оправки, гидравлическое управление механизмами стана.

Рабочая клетка (рис. 438) имеет жесткую, закрытого типа стальную станину, опирающуюся на катки, смонтированные на подшипниках. На станине имеются два боковых прилива, к которым шарнирно присоединены шатуны. При движении шатунов рабочая клетка может совершать

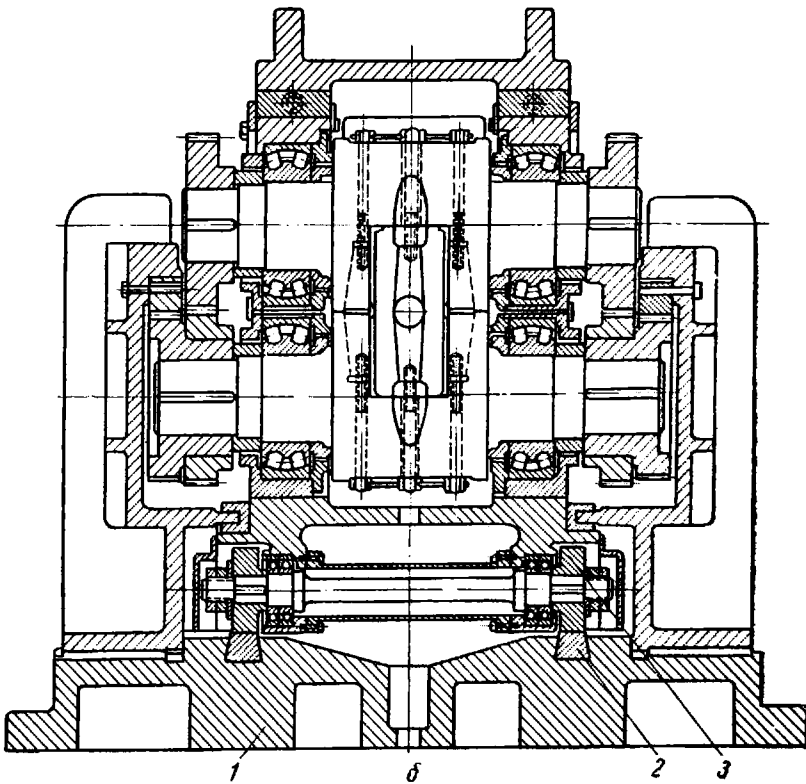
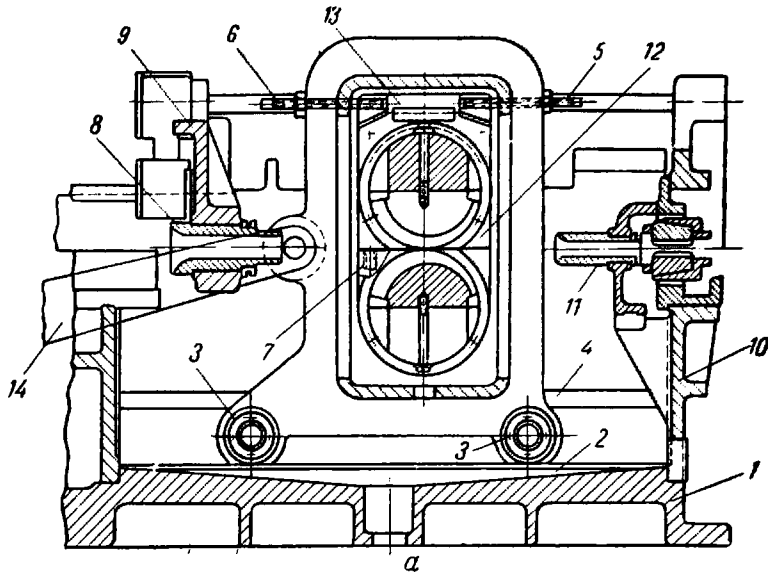


Рис. 438. Рабочая клетка стана холодной прокатки труб:
a — продольный разрез; *б* — поперечный разрез: 1 — станины; 2 — опорные брусья;
 3 — катки; 4 — направляющий брус; 5, 6 — нажимные винты; 7 — пружина; 8 — вводная проводка;
 9 — траверса станины рабочей клетки; 10 — передняя стенка станины; 11 — выводная проводка;
 12 — верхняя кассета; 13 — клин; 14 — штуль

Характеристика станов холодной прокатки труб

Стан	Размеры заготовок, мм			Размеры труб, мм		Максимальное уменьшение			Число двойных ходов в минуту	Подача мм	Диаметр валков, мм	Мощность главного двигателя, кВт
	диаметр	толщина стенки	длина	диаметр	толщина стенки	поперечного сечения, %	диаметра, мм	толщина, %				
ХПТ-32	25—46	1,3—6,5	1500—8000	17—30	0,65—6	88	21	70	80—110	30	300	81
ХПТ-55	44—68	1,5—10	1500—8000	22—55	1—9,5	88	32	70	70—90	30	364	109
ХПТ-75	57—102	2,5—20	1500—5000	32—89	1,25—16	88	39	70	60—70	30	434	139
ХПТ-90	60—102	2—12	2500—11000	50—92	1,4—10	88	40	65	12—67	25	434	160
ХПТ-120	89—140	4—24	2500—8500	80—120	1,25—20	88	40	65	10—60	25	550	2 × 126
ХПТР 8-15	9—16	0,6—1,5	800—4000	8—15	0,1—0,2	—	—	—	70—141	1,2—9	—	7
ХПТР 15-30	16—35	0,6—1,5	2500—5000	15—30	0,1—0,3	—	—	—	65—130	2,5—15	—	28
ХПТР 30-60	33—68	2,5	2500—10000	30—60	0,1—0,3	—	—	—	60—120	2,5—15	—	40
ХПТР 60-120	63,5—127	—	2000—5000	60—120	0,1—0,3	—	—	—	60—96	2,5—15	—	100

Примечания: 1. Длина труб после разрезки на станках ХПТ-32 и ХПТ-55 равна 2—18 м, а на остальных станках она равна 2—10 м.
2. Максимальная вытяжка труб для четырех последних станов равна 3,5.

возвратно-поступательное перемещение по рельсам на катках. В станине на четырехрядных роликовых подшипниках установлены два вала с закрепленными на них секторами-калибрами, выполняющими роль валков. Оба вала по концам связаны между собой двумя парами одинаковых зубчатых колес (ведомых); на концах нижнего вала имеются зубчатые шестерни, которые находятся в зацеплении с зубчатыми рейками; последние неподвижно закреплены в приливах направляющей рамы клетки. Благодаря этим рейкам обеспечивается синхронный поворот валков и положение калибров валков будет всегда вполне определенным, зависящим только от перемещения рабочей клетки. Чтобы при движении клетки на катках взад и вперед не было бы ее перекоса, внизу с обеих сторон к направляющей раме прикреплены направляющие шлифованные планки, которые соприкасаются с параллельными направляющими плоскостями, имеющимися по бокам станины рабочей клетки. Таким образом, станина на катках передвигается по направляющим планкам подобно столу строгального станка.

Диаметр начальной окружности ведущих зубчатых колес, сцепляющихся с рейкой, равен среднему катающему диаметру калибра в валках, что обеспечивает равномерную вытяжку конца трубы.

Рабочие профили валков (калибры) закрепляются в бочках приводных валов при помощи клиньев и радиальных болтов.

В крайнем левом положении клетки труба не соприкасается с калибром валков — в этот момент производится ее подача вперед (оправка остает-

ся на месте); подача трубы осуществляется специальным кулачковым механизмом.

В крайнем правом положении рабочей клетки (по окончании прокатки данного участка трубы) трубу необходимо повернуть на 90° . Поворот переднего и заднего патронов (с зажатой в них трубой) осуществляется кулачковым механизмом. Поворот переднего патрона осуществляется через две шестерни с одной паразитной шестерней; нижняя шестерня посажена непосредственно на патрон. Движение заднему патрону передается системой конических передач.

После подачи новой заготовки (трубы) все операции совершаются автоматически. Зажим заготовки в патроне гильзы производится механизмом, работающим от гидравлического цилиндра. Вслед за этим стержень подается через трубу вперед; после чего начинается прокатка. В конце прокатки все операции производятся автоматически в обратном порядке.

Оправка представляет собой конусный стержень определенного диаметра в зависимости от размеров заготовки и готовой трубы.

Для прокатки труб из нержавеющей сталей разработана технология теплой прокатки. Трудности в изготовлении труб из нержавеющей стали холодной прокаткой объясняются главным образом свойствами аустенитной стали. Высокая степень упрочнения ее при холодной пластической деформации (наряду с интенсивной потерей пластичности) ограничивает технологические режимы прокатки труб и вызывает значительные нагрузки на узлы и детали стана. Так, при холодной прокатке труб из стали 1X18H9T давление металла на валки стана на 35—45% выше, чем при прокатке труб такого же размера из углеродистых сталей. Производительность станов ХПТ-75 при прокатке труб из стали 1X18H9T снижается с 130—180 до 80—100 м/ч.

Для повышения производительности станов при прокатке труб из нержавеющей стали целесообразно проведение процесса в таких условиях, которые значительно снижают сопротивление металла деформации. Такие условия могут быть получены при применении процесса теплой прокатки вместо холодной.

Теплой прокаткой называют такой вид обработки давлением, когда металл поступает в очаг деформации с температурой выше комнатной, но ниже температуры начала рекристаллизации. Необходимость применения теплой деформации вызывается главным образом двумя причинами. Теплая прокатка труднодеформируемых, а также пластичных, но склонных к сильному упрочнению при холодной деформации сталей и сплавов позволяет интенсифицировать процесс обжатия в связи со снижением сопротивления деформированию и уменьшением склонности этих сталей к упрочнению при небольшом повышении температуры. Кроме того, теплой прокаткой можно успешно обработать хрупкие малопластичные стали и сплавы, если деформация проводится при температурах выше их верхнего порога хладноломкости.

Процесс теплой прокатки, имея ряд важных технико-экономических преимуществ перед холодной прокаткой, сохраняет положительные качества холодной деформации (сортамент труб по диаметру и толщине стенки, высокая точность размеров и высокое качество поверхности).

Холодная деформация ввиду интенсивного упрочнения не позволяет использовать в достаточной степени большой запас пластичности нержавеющей аустенитной стали 1X18H9T. Более целесообразной является теплая деформация, при которой сталь, обладая высокой пластичностью, менее упрочняется. Оптимальная температура теплой прокатки стали 1X18H9T равна 300°C . Теплая прокатка позволяет получить но-

вое сочетание механических свойств стали 1X18H9T, характеризующееся высокой прочностью наряду с повышенной пластичностью.

На станах ХПТ обычной конструкции можно изготавливать трубы способом теплой прокатки, если станы оснащены необходимыми для этой цели устройствами.

Нагрузки на узлы и детали стана ХПТ при теплой прокатке труб из нержавеющей стали с повышенным режимом деформации не достигают величин, характерных для холодной прокатки.

Теплая прокатка труб из нержавеющей сталей (поставляемых по ГОСТ 5543—50) на станах ХПТ позволяет увеличить производительность станов на 40—90% по сравнению с холодной прокаткой, а также сократить один или два технологических цикла производства при изготовлении в один проход труб диаметром менее 44 мм (при холодной прокатке эти трубы изготавливают за два или три прохода).

Дальнейшее развитие технологии теплой прокатки позволит перейти от многоциклического к поточному производству и в дальнейшем к организации автоматических линий по изготовлению тонкостенных труб из нержавеющей стали.

Рабочую часть валков станов холодной пилгримовой прокатки

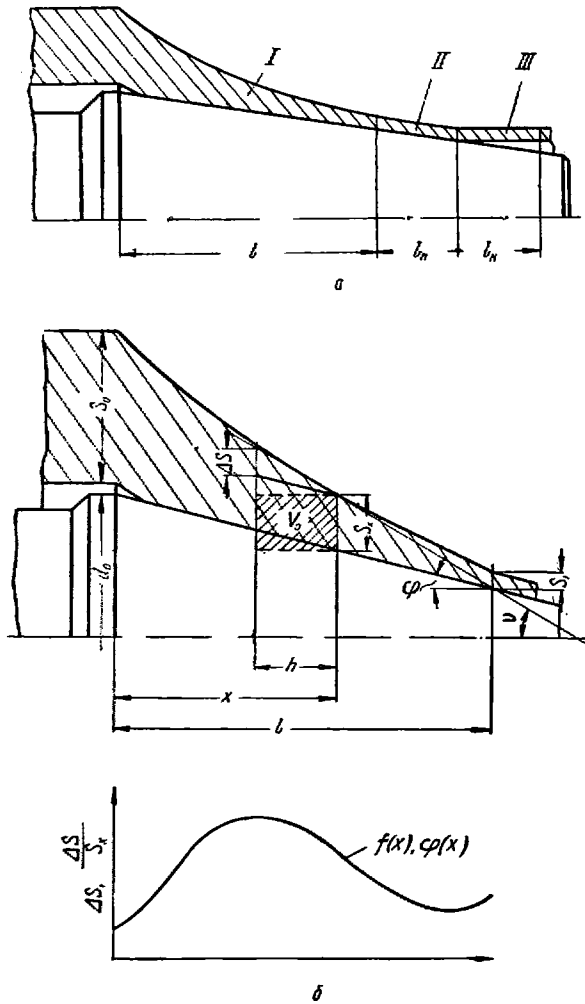


Рис. 439. Схема к расчету калибровки валков стана холодной прокатки труб

труб можно разделить на три участка: обжимной, предотделочный и калибровочный. В соответствии с этим и зону деформации разделяют на три участка (рис. 439, а). На обжимном участке осуществляется обжатие заготовки по диаметру и толщине стенки; на предотделочном и калибровочном — калибровка по толщине стенки и по диаметру.

Прокатываемая заготовка имеет на обжимном участке переменный диаметр и переменную толщину стенки, на предотделочном — переменный диаметр и постоянную толщину стенки и на калибровочном участке — постоянный диаметр и постоянную толщину стенки.

Деформация осуществляется в основном на обжимном участке, поэтому важнейшая задача калибровки валков станов ХПТ состоит в определении профиля этого участка.

Теоретически обоснованное определение профиля обжимного участка может быть дано лишь исходя из правильной схемы деформации. Согласно этой схеме, уменьшение площади (обжатие) в каком-либо поперечном сечении зоны деформации равно разности между площадью данного сечения и сечения, отстоящего от рассматриваемого на таком расстоянии, при котором объем металла, заключенный между этими сечениями, равен объему подачи металла за один двойной ход рабочей клетки. Исходя из этой схемы для определения профиля обжимного участка выведен ряд формул.

Определение профиля обжимного участка разбивается на две отдельные задачи, имеющие самостоятельное значение. Первая из этих задач состоит в выводе общих формул для расчета профиля обжимного участка по любому предварительно заданному закону распределения деформации по длине очага. Вторая задача состоит в отыскании оптимального закона распределения деформации.

При решении первой задачи П. К. Тетериным получены следующие зависимости:

$$s_x = Ce^{-\frac{\pi}{V} \int (d_0 - kx) f(x) dx}, \quad (\text{XXII.12})$$

$$s_x = \frac{1}{\frac{\pi}{V} \int (d_0 - kx) \varphi(x) dx + C}, \quad (\text{XXII.13})$$

- где V — объем подачи металла;
 s_x — текущее значение толщины стенки на обжимном участке;
 x — текущее значение расстояния от начала обжимного участка до рассматриваемого сечения;
 d_0 — диаметр цилиндрической части оправки;
 k — конусность оправки, равная $2 \operatorname{tg} \varphi$;
 φ — угол наклона образующей оправки;
 C — постоянная интегрирования;
 $f(x)$ — закон изменения абсолютного обжатия стенки по длине очага деформации;
 $\varphi(x)$ — закон изменения относительного обжатия стенки по длине очага деформации.

Граничные условия данных формул:

$$\begin{aligned} x = 0, & \quad s_x = s_0, \\ x = l, & \quad s_x = s_1, \end{aligned}$$

где s_0 — толщина стенки заготовки (включая зазор между заготовкой и цилиндрической частью оправки);

l — длина обжимного участка;

s_1 — толщина стенки трубы.

Первая формула отвечает любому наперед заданному закону изменения абсолютного обжатия стенки, вторая — любому наперед заданному закону изменения относительного обжатия стенки. Вывод этих формул получен на основании схемы, приведенной на рис. 439, б.

Функции $f(x)$ и $\varphi(x)$ могут быть взяты в виде параболы, гиперболы и т. д. Подставляя выражение таких функций в формулу (XXII.12) или (XXII.13), интегрируя и используя приведенные граничные условия, можно получить зависимость для расчета профиля обжимного участка, который будет отвечать данному закону распределения деформации.

Таким образом, формулы (XXII.12) и (XXII.13) являются универсальными и позволяют построить профиль обжимного участка, исходя из любого наперед заданного закона распределения обжатия.

Вторая задача — задача отыскания оптимальных функций $f(x)$ и $\varphi(x)$ до сих пор не решена. В первом приближении за оптимальные условия процесса можно принимать:

$$f(x) = A \left(1 - n \frac{x}{l} \right) \quad (\text{XXII.14})$$

и
$$\varphi(x) = B, \quad (\text{XXII.15})$$

где A, B — постоянные;

l — длина обжимного участка;

n — коэффициент, характеризующий степень уменьшения обжатия от начала к концу обжимного участка.

После подстановки выражения (XXII.14) в уравнение (XXII.12) и выражение (XXII.15) в уравнение (XXII.13), интегрирования и использования граничных условий получаем

$$s_x = s_0 \left(\frac{s_0}{s_1} \right)^{-\xi \left(\alpha + \beta \frac{x}{l} + \gamma \frac{x^2}{l^2} \right) \frac{x}{l}} \quad (\text{XXII.16})$$

и
$$s_x = \frac{s_0}{\left(\frac{t_0}{l} - 1 \right) \left(\frac{2\alpha - k \frac{x}{l}}{2\alpha - k} \right) \left(\frac{x}{l} + 1 \right)}, \quad (\text{XXII.17})$$

где $\alpha = \frac{\alpha_0}{l}$, $\beta = -\frac{1}{2}(\alpha n + k)$, $\gamma = \frac{kn}{3}$, $\xi = \frac{1}{\alpha + \beta + \gamma}$.

Коэффициент n , найденный из условия уменьшения давления металла на валки от начала к концу обжимного участка, равен

$$n = \left(\frac{m}{q} \psi \right)^2,$$

где m — отношение диаметра головки к диаметру трубы;

q — отношение предела текучести материала трубы к пределу текучести материала заготовки;

ψ — заданное отношение давления металла на валки в конце обжимного участка к давлению в начале участка.

Формула (XXII.16) отвечает условию, согласно которому абсолютное обжатие уменьшается от начала к концу обжимного участка по линейной зависимости. Формула (XXII.17) отвечает условию, согласно которому относительное обжатие по длине очага остается постоянным.

Широкое распространение получают роликовые станы. Эти станы предназначены для прокатки особо тонкостенных труб, т. е. с толщиной стенки менее 1/50 их наружного диаметра.

На роликовом стане ХПТР-15-30 (рис. 440) прокатываемая труба 1 обжимается тремя роликами 2 диаметром 60—70 мм, смонтированными в сепараторе 3 и опирающимися на специальные профилированные планки 4. Опорные планки устанавливаются в жесткой толстостенной втулке 5 рабочей клетки, в результате чего при прокатке давление металла на ролики почти полностью ею поглощается, обеспечивая строгую симметричность упругой деформации втулки.

В процессе прокатки при возвратно-поступательном движении рабочей клетки ролики, зажатые между опорными планками и частью прокатываемой трубы, «уплывают» в направлении движения клетки, обжимая трубу на оправке 6. При этом линейная скорость перемещения сепаратора — перемещения его вдоль трубы примерно в два раза меньше, чем перемещения рабочей клетки. Для обеспечения такого же, как и при

прокатке, соотношения скоростей движения рабочей клетки и роликов в момент холостого хода стана используется качающийся рычаг 7 с регулируемым положением осей серег 8, соединяющих рычаг с сепаратором. В качестве оправки применяют короткий цилиндрический закаленный шлифованный пруток, закрепленный на конце стержня 9.

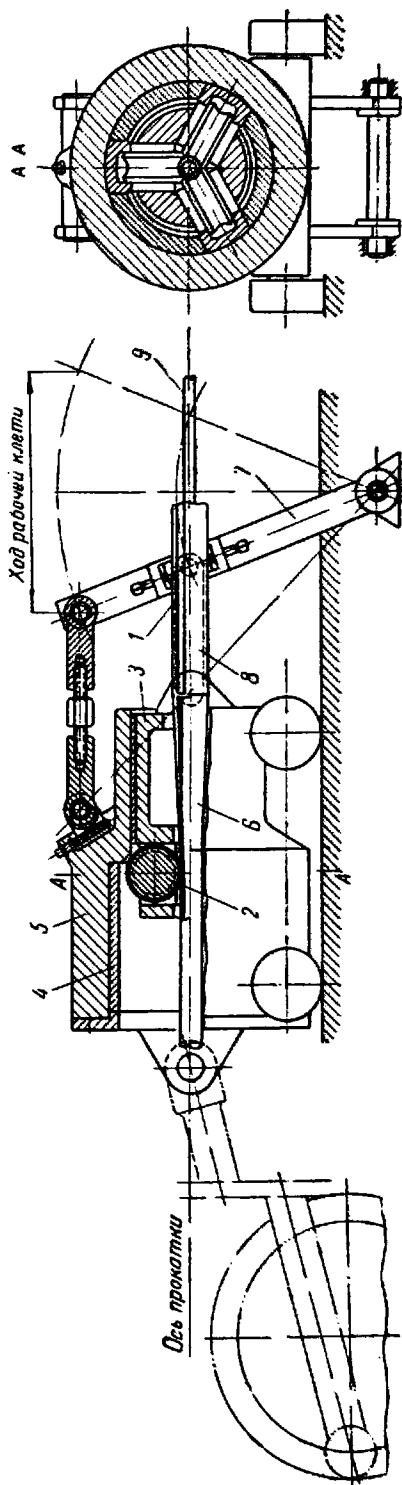
Отличительной особенностью роликовых станов является простота рабочего инструмента. Профиль опорных планок представляет собой сочетание наклонных поверхностей. Ручьи роликов имеют постоянное сечение, соответствующее размеру готовой трубы.

Для компенсации упругой деформации системы рабочий инструмент — рабочая клетка и возможных неточностей в изготовлении рабочего инструмента предусмотрены специальные клиновые устройства для каждой из опорных планок. Толстенную втулку 5 можно непосредственно устанавливать на катках или на облегченной сварной каретке.

По конструкции механизмов подачи и поворота заготовки, главного привода и по способу загрузки заготовки роликовые станы подобны валковым станам с той лишь разницей, что угол поворота заготовки для них желательно иметь постоянным и равным примерно $\frac{360^\circ}{2n}$ (где n — число роликов в сепараторе стана). Принятая в этом стане конструкция роликов ограничивает минимальный диаметр прокатываемых труб только прочностью стержня оправки и работоспособностью механизма его зажима. С увеличением диаметра прокатываемых на стане труб число роликов также увеличивают.

К достоинствам роликовых станов относят:

1) малый диаметр рабочих валков, что снижает удельное и полное давления деформируемого металла на рабочий инструмент, а следовательно, уменьшает упругую де-



Р и с. 440 Роликовый стан для холодной прокатки труб

формацию рабочего инструмента и обеспечивает возможность прокатки более тонкостенных труб (с отношением толщины стенки к диаметру трубы около $1/100$), чем на валковых станах;

2) применение трех и более роликов с меньшей глубиной вреза ручья (по сравнению с глубиной вреза ручья на валках) при постоянном сечении его по окружности резко уменьшает скольжение роликов

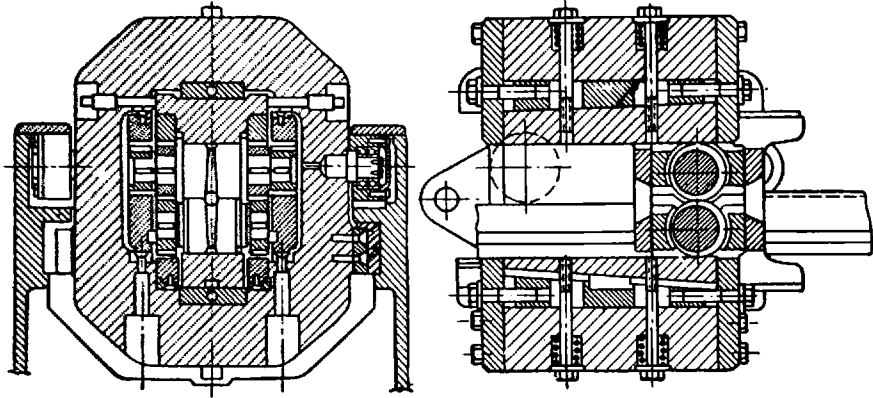


Рис. 441. Рабочая клеть с плавающими валками для холодной прокатки труб

по трубе в поперечном и продольном направлениях, уменьшает износ их и способствует получению труб с лучшим качеством наружной поверхности;

3) возможность изготовления рабочего инструмента с высокой точностью благодаря его простоте и сравнительно меньшим размерам, что с большей симметрией упругой деформации системы инструмент—клеть позволяет прокатывать особо тонкостенные трубы высокой точности (разностенность не выше $\pm 10\%$);

4) возможность прокатки труб из высоколегированных специальных сталей, которые трудно деформируются на валковых станах;

5) отсутствие подшипников рабочих валков;

6) небольшие размеры и масса оборудования стана.

К недостаткам роликовых станов следует отнести:

1) незначительное редуцирование внутреннего диаметра труб, что исключает возможность получения из заготовок одного диаметра готовых труб разных диаметров;

2) небольшую производительность станов вследствие трудности прокатки особо тонкостенных труб и примерно двукратного уменьшения длины пилигримовой головки по сравнению с валковыми станами ХПТ при одинаковой длине хода рабочих клетей.

Однако, поскольку на роликовых станах успешно прокатывают трубы с толщиной стенки даже менее $1/100$ наружного диаметра, в последние годы они получили применение на отечественных заводах при производстве особо тонкостенных труб.

Для уменьшения массы возвратно-поступательно движущихся частей стана и отрицательного влияния большого диаметра валков (вызывающих большие давления) применена новая конструкция рабочей клетки (рис. 441) с плавающими валками малого диаметра, имеющими ручьи переменного профиля. Уменьшенное давление металла при прокатке передается через опорные плиты на жесткую рабочую клеть, масса которой значительно меньше массы соответствующего валкового стана. Обеспечение синхронности поворота валков достигается при помощи

шестерен на концах цапф валков. Клеть передвигается при помощи обычной шатунно-кривошипной передачи, как и на валковых станах (шатуны соединяются с двумя серьгами на станине). На концах цапф верхнего валка имеются еще две шестерни, которые находятся в зацеплении с двумя неподвижными рейками, укрепленными на внешней неподвижной станине, установленной на фундаменте (на рис. 441 не показано).

Эти станы по конструкции значительно жестче, чем валковые; в последних давление металла воспринимают только валки. На станах с плавающими валками можно осуществить значительное редуцирование наружного диаметра и получение тонкостенных труб диаметром 15—100 мм.

Валки планетарного стана непрерывно вращаются и каждый рабочий валок производит небольшое обжатие, соприкасаясь с трубой

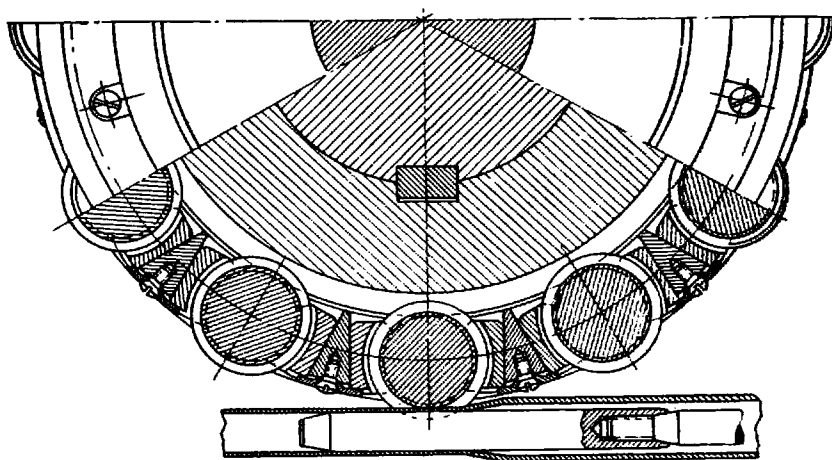


Рис. 442. Рабочий инструмент планетарного стана холодной прокатки труб

(рис. 442). Подача трубы вперед производится непрерывно при помощи подающих фрикционных роликов (на рис. 442 не показано), а поворот трубы — периодически, когда рабочие валки не соприкасаются с трубой.

Рабочий калибр образуется тремя планетарными роликами: вокруг каждого опорного приводного валка большого диаметра в боковых сепараторах смонтировано 12—18 планетарных роликов. Таким образом, схема стана аналогична расположенным под углом в 120° друг к другу роликподшипникам без наружных колец с внутренними приводными кольцами. При вращении опорных валков, связанных между собой коническими передачами, планетарные ролики вращаются вокруг своей оси и вокруг опорных валков. Подходя к вертикальной плоскости выхода трубы, каждые три ролика сближаются и производят обжатие трубы на оправке. Давление металла при прокатке передается непосредственно опорным валкам.

В течение последних лет в ряде стран для изготовления тонкостенных труб большого диаметра получил применение способ поперечной прокатки. Процесс осуществляется на цилиндрической (рис. 443, а) или на конической (рис. 443, б) оправке профильными валками, расположенными на равном расстоянии друг от друга по периметру трубы.

В процессе прокатки происходит утонение трубной заготовки. Смещаемый металл в одном случае расходуется на увеличение длины

трубы (рис. 443, а), в другом (рис. 443, б) — на увеличение диаметра. В зависимости от характера деформации металла процесс называют прокаткой с вытяжкой (рис. 443, а) или валковым расширением труб (рис. 443, б). Основным рабочим усилием в процессе поперечной прокатки является осевое усилие, которое прикладывается к переднему или заднему концу трубы. В связи с этим процесс часто называют ротационным выдавливанием.

Помимо продольного перемещения, заготовка получает также вращательное движение, которое сообщается ей или оправке, или валкам.

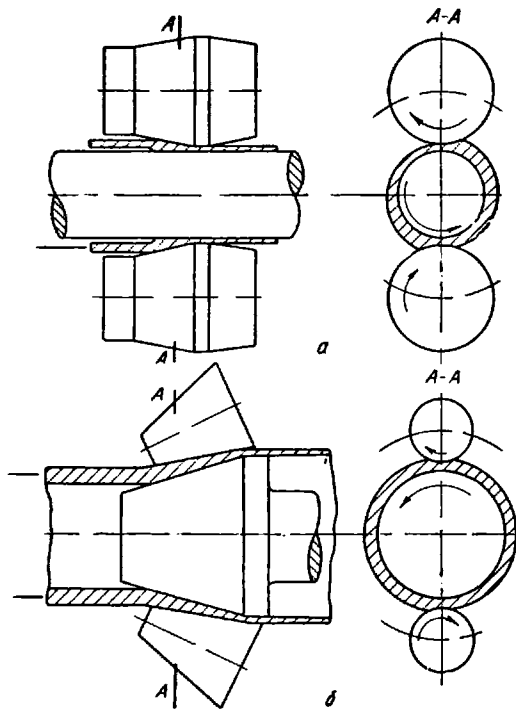


Рис. 443. Схема процесса поперечной холодной прокатки труб:

а — на цилиндрической оправке (с вытяжкой);
б — на конической оправке (с расширением)

При холодной поперечной прокатке, как правило, оси валков лежат в одной плоскости с осью трубы. Иногда оси валков оказываются повернутыми на некоторый угол, называемый углом подачи. В случае приводных валков угол подачи обуславливает появление осевой втягивающей силы, которая может быть достаточной для непрерывного осуществления процесса. Если валки не приводные, то угол подачи снижает осевое сопротивление перемещению металла, и для осуществления процесса требуется приложение меньшего рабочего усилия.

В качестве исходной заготовки применяют катаные, сварные, кованые и штампованные из листовой заготовки трубы («стаканы»).

Г л а в а XXIII

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ

1. ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ ТРУБ

Все современные трубосварочные станы являются непрерывными, на которых труба движется с постоянной скоростью. Поэтому часовая производительность трубосварочных станков может быть определена по формуле

$$A = 0,06v_{\tau}g \text{ т/ч,}$$

где v_{τ} — скорость выхода трубы, м/мин;

g — масса 1 м трубы, кг.

Применяемые скорости выхода трубы на непрерывных станах печной сварки труб приведены в табл. 42, а на станах сварки труб сопровивлением — в табл. 43.

Для трубосварочных станков, в которых между сваркой отдельных труб имеется пауза, часовая производительность определяется по формуле

$$A = \frac{3600G}{t_{св} + t_{в}} \text{ т/ч,}$$

где G — масса трубы, т;

$t_{св}$ — время сварки, сек;

$t_{в}$ — время вспомогательных операций, сек.

Время сварки

$$t_{св} = \frac{60L_{\tau}}{v_{св}} \text{ сек,}$$

где L_{τ} — длина свариваемой трубы, м.

$v_{св}$ — скорость сварки, м/мин.

Время вспомогательных операций определяют расчетом, исходя из возможностей механизмов, выполняющих эти операции, или на основании хронометражных данных.

Увеличение скорости сварки труб ограничивается запасом штрипса в петлевом устройстве и временем, затрачиваемым на сварку концов смежных рулонов. Действительно, скорость подачи штрипса в печь связана с этими величинами следующей зависимостью:

$$v_{ш} < \frac{60L_{п}}{t_{с.с}},$$

где $v_{ш}$ — скорость движения штрипса (скорость сварки), м/мин;

$L_{п}$ — запас штрипса в петлевом устройстве, который может быть «израсходован» при стыковой сварке рулонов, м;

$t_{с.с}$ — продолжительность стыковой сварки концов рулонов, сек.

Учитывая, что для станов непрерывной печной сварки

$$v_b = \mu_{\phi} v_{ш},$$

где v_b — скорость выхода трубы из стана, м/мин;

μ_{ϕ} — суммарный коэффициент вытяжки в формовочно-сварочном стане,

получаем следующую формулу для определения скорости выхода трубы:

$$v_b < \frac{60 \mu_{\phi} L_p}{t_{c.c.}}$$

Вторым фактором, ограничивающим скорость сварки, является длина рулона штрипса, так как время, затрачиваемое на разматывание рулона, должно быть достаточным, чтобы восстановить запас штрипса на петлевом столе.

Продолжительность разматывания рулона штрипса

$$t_{\text{разм}} = \frac{L_p}{v_{\text{пр}}},$$

где L_p — длина рулона, м;

Таблица 42

Скорость выхода трубы на станах непрерывной печной сварки труб и производительность станом

Размеры труб, мм		Скорость трубы м/мин	Производительность, т/ч
диаметр	толщина стенки		
21,25	2,75	442	31,0
26,75	2,75	412	39,5
33,50	3,25	292	41,0
42,25	3,25	244	43,3
48,00	3,50	196	42,8
60,00	3,50	157	43,7

Таблица 43

Скорость выхода трубы на стане для сварки труб сопротивлением

Размеры труб, мм		Скорость трубы, м/мин, при частоте тока, гц	
диаметр	толщина стенки	50	100—150
		Стан 10-60	
10—12	0,75—1,25	29—32	50—55
15—20	0,75—1,25	29—32	40—50
22—60	1,0—3,0	25—30	40—45
Стан 20-102			
25—45	1,5—2,0	—	60
	2,0—2,5	—	50
	2,5—3,0	—	40
51—76	1,5—2,0	—	60
	2,0—2,5	—	50
	2,5—3,0	—	35
83—76	3,0—4,0	25	—
	1,5—2,0	—	45
	2,0—2,5	—	40
	2,5—3,0	—	35
	3,0—4,0	25	—
4,0—4,5	20	—	—

$v_{\text{пр}}$ — максимальная для данного размера штрипса скорость правки, м/мин.

Длина рулона штрипса, поступающего на сварку за время разматывания рулона:

$$L_{c.v.} = t_{\text{разм}} v_{ш} = L_p \frac{v_{ш}}{v_{\text{пр}}}.$$

Следовательно, длина рулона должна удовлетворять выражению

$$L_p \geq L_n + L_p \frac{v_{ш}}{v_{\text{пр}}}.$$

Отсюда

$$L_p \geq \frac{v_{\text{пр}}}{v_{\text{пр}} - v} L_n.$$

Таким образом, в соответствии с условиями работы узла подготовки штрипса повышение скорости сварки должно сопровождаться увеличением длины петли в петлевом устройстве и сокращением продол-

жительности стыковой сварки рулонов при обязательном ограничении минимальной длины рулона в соответствии с приведенной выше формулой.

Годовой фонд рабочего времени оборудования зависит от режима его работы: по непрерывному или прерывному графику. Станы непрерывной печной сварки труб работают по непрерывному графику, а все остальные трубосварочные станы — по прерывному.

При работе по непрерывному графику предусматривают две остановки длительностью 24 ч в месяц для плаиково-предупредительного ремонта. Капитальный ремонт производится ежегодно в течение 7 суток. Тогда номинальный годовой фонд рабочего времени составит 7775 ч. При внутрисменном простоех 7% фактический фонд рабочего времени составит 6850 ч.

При работе по прерывному графику продолжительность капитального ремонта составляет 2—3 дня для малых труботрубоэлектросварочных станков (10-60, 20-102 и т. п.) и 6 дней для больших труботрубоэлектросварочных станков. Номинальный фонд рабочего времени составит 6575—6645 ч, фактический годовой; фонд рабочего времени при 5—7,5% внутрисменных простоев составит 6100—6325 ч.

2. ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА ТРУБ

Производительность трубопрокатного цеха определяется по узкому месту; для этого рассчитывают производительность каждой клетки. Узким местом автоматического стана может быть прошивная или автоматическая клетка, так как обкатные клетки, редуционный и калибровочный станы всегда обеспечивают максимальную производительность прошивной и автоматической клеток. Поэтому максимальная расчетная производительность трубопрокатного агрегата по отдельным размерам труб определяется сопоставлением максимальной производительности прошивной и автоматической клеток и равна меньшей из них.

Максимальная расчетная производительность прошивной клетки и автоматического стана устанавливается, исходя из времени прошивки (прокатки) трубы, т. е. из суммы машинного времени и времени вспомогательных операций.

Машинное время вычисляют теоретически; время вспомогательных операций — исходя из возможностей механизмов, выполняющих эти операции, и расположения оборудования; время ручных вспомогательных операций — практически, на основании хронометражных данных. Машинное время прошивки определяют по формуле

$$t_m = \frac{L_p + L_r}{v \eta_0 \sin \varphi}, \quad (\text{XXIII.1})$$

где L_p — длина рабочей части вала, мм;

L_r — длина гильзы, мм;

v — окружная скорость валков, м/сек;

φ — угол наклона оси вала к оси прошивки, град.;

η_0 — коэффициент осевого скольжения.

Окружная скорость вала

$$v = \frac{\pi D_{cp} n}{60},$$

где D_{cp} — средний диаметр вала, мм;

n — число оборотов валков в минуту.

Длина рабочей части вала

$$L_p = l_{np} + l_p = \frac{d_s + d_n}{2 \operatorname{tg} \varphi_{np}} + \frac{D_r - d_n}{2 \operatorname{tg} \varphi_p}, \quad (\text{XXIII.2})$$

где l_{np} и l_p — длина используемой части конусов прошивки и раскатки;

φ_{np} и φ_p — угол наклона образующей конусов прошивки и раскатки;

d_s и D_r — диаметр заготовки и гильзы;

d_n — расстояние между валками в пережиме.

Средний диаметр вала

$$D_{cp} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2},$$

где D_{\max} и D_{\min} — максимальный и минимальный диаметры валков, возможных к установке на стане.

Число оборотов валков для расчета производительности принимают по данным табл. 44. Средние значения коэффициентов осевого скольжения приведены в табл. 45.

Таблица 44

Число оборотов валков прошивных клетей

Наружный диаметр труб, мм	Окружная скорость валков м/сек	Число оборотов валков в минуту на агрегатах		
		140	250*	400
48—133	7,0—7,6	180	135	—
140—168	6,3—7,0	170	130	110
194—273	5,7—6,2	—	120	100
325	5,8	—	—	90
377	5,4	—	—	85
426	5,1	—	—	80

* Для прошивной клетки с приводом от двигателя постоянного тока.

Таблица 45

Расчетные коэффициенты осевого скольжения при прошивке

Наружный диаметр трубы, мм	Коэффициенты μ_0 для агрегатов		
	140	250	400
48—89	0,75	0,80	—
95—127	0,65	0,70	—
133—168	0,60	0,65	0,65
194—219	—	0,60	0,60
245—325	—	0,55	0,55
377—426	—	—	0,50

Оптимальные углы наклона валков к оси прошивки для различных агрегатов при первой прошивке следующие:

Агрегат	400	250	140
Угол, град.	9—11	9—10	10,5—11

Примечание. Для агрегата 400 при второй прошивке угол равен 11°.

Время вспомогательных операций, выполняемых механизмами, рассчитывается исходя из размеров прокатываемых труб и скорости движения механизмов.

Производительность прошивного стана

$$A_{np} = \frac{3600}{t_m + t_n} \text{ шт/ч.}$$

Машинное время прокатки трубы за один проход в автоматической клетке

$$t_m = \frac{L_1}{v}, \quad (\text{XXIII.3})$$

где L_1 — длина трубы после прокатки;

v — поступательная скорость трубы.

Скорость трубы

$$v = \frac{\pi D_k n}{60},$$

где

$$D_k = D_{\text{ср}} + \Delta - 0,75h_k,$$

$D_{\text{ср}}$ — средний диаметр валков по бочке;

Δ — зазор между валками;

h_k — высота калибра.

Окружную скорость валков автоматической клетки принимают равной 3,0—5 м/сек.

Время обратной подачи трубы определяют исходя из окружной скорости роликов обратной подачи:

$$t_0 = \frac{L_T + a + b}{v_0},$$

где a — расстояние от заднего конца трубы до оси валков после окончания прокатки ($a = 0,75$ м для станов 140 и 250 и $a = 0,9$ м для стана 400);

b — расстояние от переднего конца трубы до оси валков после окончания выбрасывания ($b = 2$ м для станов 140 и 250 и $b = 2,5$ м для стана 400);

L_T — длина возвращаемой трубы;

v_0 — окружная скорость роликов обратной подачи (7—9 м/сек).

Время вспомогательных операций на станах принимают по хронометражным данным.

Максимальная производительность автоматической клетки

$$A_a = \frac{3600}{t_m + t_0 + t_{\text{в.м}} + t_{\text{в.р}}} \text{ шт/ч},$$

где t_m — машинное время прокатки, сек;

t_0 — время обратной подачи, сек;

$t_{\text{в.м}}$ и $t_{\text{в.р}}$ — время вспомогательных операций, выполняемых механизмами и вручную, сек.

Производительность агрегата с непрерывным станом для прокатки бесшовных труб определяется также по узкому месту. Узким местом агрегата может быть прошивная клеть или непрерывная группа.

Машинное время прокатки в непрерывной группе клетей

$$t_m = \frac{19,1\eta}{D_k} \left(C + \frac{\mu L_3}{n_i} \right), \quad (\text{XXIII.4})$$

где η — коэффициент скольжения;

D_k — катающий диаметр;

$$D_k = D_{\text{ср}} + \Delta - 0,75h_k,$$

$$C = l_{\text{кл}} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_{i-1}} \right);$$

$l_{\text{кл}}$ — расстояние между клетями;

n — число оборотов валков в минуту;

i — число клетей;

μ — суммарный коэффициент вытяжки;

L_3 — длина заготовки.

Для непрерывной группы клетей при прокатке на оправке, редукционных и калибровочных клетей $\eta = 1,04 \div 1,06$. При $\eta_{\text{ср}} = 1,05$

$$t_m = \frac{20}{D_k} \left(C + \frac{\mu L_3}{n_i} \right). \quad (\text{XXIII.5})$$

Вспомогательное время при прокатке труб в непрерывных клетях

$$t_b = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

где t_1 — время, затрачиваемое на сбрасывание труб в желоб непрерывной группы клетей, равно 1 сек;

t_2 — время, затрачиваемое на прижим трубы, равно 0,5 сек;

t_3 — время, затрачиваемое на введение оправки в гильзу до выхода переднего конца оправки из нее;

t_4 — время, затрачиваемое на вталкивание гильзы по оправке в валки.

Часовая производительность непрерывной группы клетей

$$A_n = \frac{3600}{t_m + t_b} \text{ шт/ч.}$$

Производительность трубопрокатных агрегатов с пилигримовыми станами также определяют по узкому месту. Узким местом агрегата являются пилигримовые клетки, так как прошивная клеть всегда обеспечивает максимальную производительность пилигримовых клетей.

Максимальную расчетную производительность пилигримовых клетей устанавливают исходя из длительности прокатки.

Машинное время определяют теоретически, продолжительность вспомогательных операций — исходя из практических данных.

По формуле П. Т. Емельяненко

$$t_m = \frac{60}{n \cdot m} (1 + \epsilon) (L_r + 0,5l_n), \quad (\text{XXIII.6})$$

где n — число оборотов валков в минуту;

m — величина подачи за оборот валков;

L_r — длина готовой трубы после обрезки;

l_n — длина сферической части пилигримовой головки;

μ — коэффициент вытяжки;

ϵ — коэффициент затравки, учитывающий потерю времени на начало процесса пильгерования.

Значения величин n , m , μ , L_r , входящих в формулу (XXIII.6), принимают в соответствии со скоростью процесса, характеристикой стана и данными таблицы технологического процесса прокатки труб.

Длина сферической части пильгерной головки

$$l_n = 1,15r_0\theta,$$

где r_0 — радиус валков в начале рабочего конуса;

θ — угол переднего конуса.

Радиус

$$r_0 = \frac{D_i}{2} - (\rho + s_r),$$

где D_i — идеальный диаметр валка;

ρ — радиус дорна;

s_r — толщина стенки гильзы.

Величина D_i и s_r принимают на основании таблицы технологического процесса прокатки труб и чертежа рабочих валков. Коэффициент ϵ принимают в пределах 0,05—0,1 в зависимости от диаметра и числа оборотов рабочих валков. Подачу за один оборот принимают равной 20—30 мм в зависимости от калибровки рабочих валков, толщины стенки, прокатываемой трубы и коэффициента вытяжки.

Таким образом, максимальная расчетная часовая производительность пилигримового стана

$$A_{\text{п}} = \frac{3600}{t_{\text{м}} + t_{\text{в}}} \text{ шт./ч.}$$

Для определения годовой производительности трубопрокатных станов необходимо определить годовой фонд рабочего времени оборудования. Трубопрокатные станы обычно работают по прерывному графику. Капитальный ремонт производится один раз в два года в течение 12 рабочих дней. При этих условиях номинальный годовой фонд рабочего времени составит 6575 ч. При текущих простоях (наладка, мелкий ремонт и т. п.) 5—7,5% фактический годовой фонд рабочего времени составляет 6100—6250 ч.

3. ВОЛОЧЕНИЕ И ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ТРУБ

Производительность станов холодного волочения труб зависит от скорости волочения, числа протягиваемых одновременно труб и времени вспомогательных операций. Производительность стана

$$A = 3600 \frac{ln}{T_{\text{м}} - T_{\text{в}}} \eta \text{ м/ч,} \quad (\text{XXIII.7})$$

где l — длина трубы, м;

$T_{\text{м}}$ — время волочения, сек;

$T_{\text{в}}$ — время вспомогательных операций;

n — число одновременно протягиваемых труб;

η — коэффициент одновременности, равный 1 при волочении одной трубы; 0,97—0,98 при волочении двух труб и 0,93—0,95 при волочении трех труб.

Время волочения $T_{\text{м}}$ состоит из времени разгона $t_{\text{раз}}$, времени волочения на установившейся скорости $t_{\text{вол}}$ и времени торможения $t_{\text{торм}}$, т. е.

$$T_{\text{м}} = t_{\text{раз}} + t_{\text{вол}} + t_{\text{торм}}. \quad (\text{XXIII.8})$$

В станах старой конструкции захват трубы и окончание процесса волочения происходят на рабочей скорости $v_{\text{вол}}$, поэтому

$$\begin{aligned} t_{\text{раз}} &= t_{\text{торм}} = 0, \\ T_{\text{м}} &= t_{\text{вол}} = \frac{l}{v_{\text{вол}}}. \end{aligned} \quad (\text{XXIII.9})$$

На станах современной конструкции скорость захвата трубы $v_{\text{зах}}$ равна обычно 5—20 м/сек; разгон осуществляется на длине трубы, равной 0,16—0,14 общей длины. Тогда

$$t_{\text{раз}} = \frac{2al}{v_{\text{зах}} + v_{\text{вол}}}, \quad (\text{XXIII.10})$$

где a — коэффициент, определяющий путь разгона.

Приближенно можно принять $t_{\text{торм}} \approx t_{\text{раз}}$.

Время волочения на установившейся скорости

$$t_{\text{вол}} = \frac{(1 - 2a)l}{v_{\text{вол}}}. \quad (\text{XXIII.11})$$

Время волочения

$$T_{\text{м}} = \left[\frac{4a}{v_{\text{зах}} + v_{\text{вол}}} + \frac{1 - 2a}{v_{\text{вол}}} \right] l \quad (\text{XXIII.12})$$

Принимая $a \approx 0,1$ и $v_{\text{зах}} \approx 0$, получаем

$$T_m \approx 1,2 \frac{l}{v_{\text{вол}}}. \quad (\text{XXIII.13})$$

Наиболее длительной вспомогательной операцией является время возврата тележки $t_{\text{возвр}}$. Обычно все остальные вспомогательные операции совершаются за время возврата тележки. Поэтому $T_b \approx t_{\text{возвр}}$. Окончательно можно записать

$$T_b = (1 + b)(1 + 2a_1) \frac{l}{v_{\text{тел}}}, \quad (\text{XXIII.14})$$

где b — коэффициент, показывающий, на сколько путь возврата тележки больше длины трубы, и равный 0,05—0,10;

a_1 — коэффициент, определяющий путь разгона и торможения тележки и равный 0,10—0,15;

$v_{\text{тел}}$ — скорость возврата тележки.

Приближенно можно принять

$$T_b \approx 1,3 \frac{l}{v_{\text{тел}}}. \quad (\text{XXIII.15})$$

Производительность станов холодной прокатки

$$A = 3600 \frac{l_3 \mu_{\text{в}}}{T_m + T_b}, \quad (\text{XXIII.16})$$

где l_3 — длина заготовки;

$\mu_{\text{в}}$ — суммарная вытяжка.

Машинное время

$$T_m = \frac{60l_3}{m\pi} \quad (\text{XXIII.17})$$

или

$$T_m = \frac{60l_{\text{тр}}}{\mu\pi}, \quad (\text{XXIII.18})$$

где m — величина подачи;

π — число ходов рабочей клетки в минуту.

Для станов старой конструкции (с периодической загрузкой) время перезарядки стана (время вспомогательных операций) равно 12—30 сек. Для современных станов непрерывной прокатки $T_b = 0$.

Волоочильные цехи и цехи холодной прокатки работают по прерывному графику. Длительность капитального ремонта для волоочильных станов составляет 3 дня, а для станов холодной прокатки 5 дней. Тогда номинальное время работы волоочильных станов составит 6645 ч, а станов холодной прокатки 6600 ч. Внутрисменные простои для волоочильных станов принимают 3%, а для станов холодной прокатки 8,5%. Следовательно, фактически годовой фонд рабочего времени волоочильных станов равен 6450 ч, а станов холодной прокатки 6050 ч.

ПРОИЗВОДСТВО СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

1. КОЛЕСА

Производство колес и бандажей для железнодорожного транспорта является комбинированным процессом обработки металлов давлением, включающим ковку и прокатку [I. 7, 10; VI. 25].

Применяемые в железнодорожном транспорте колеса можно разделить на две группы:

1) цельные колеса, когда бандаж и центр составляют одно целое (рис. 444, а); колеса этой группы изготовляют литьем или прокаткой;

2) составные колеса, когда бандаж и центр колеса изготовляют отдельно (рис. 444, б); центр колес этой группы изготовляют также литьем или прокаткой.

Наибольшее распространение в настоящее время получают цельнокатаные колеса. Недостатки составных колес:

1) ненадежность работы бандажа при эксплуатации;

2) сложность изготовления составного колеса, связанного с необходимостью обработки центра, обработки внутренней стороны бандажа и насадка бандажа на центр, что требует большого числа станков и значительно удорожает стоимость колес;

3) несколько больший расход металла вследствие необходимости припуска на обработку тех частей, которые в цельнокатаных колесах не обрабатываются.

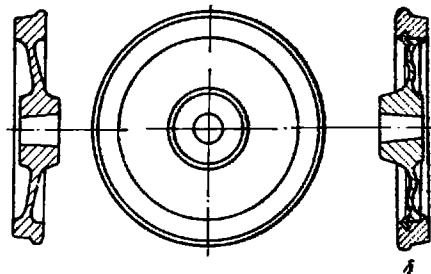
Кроме того, установки для производства составных колес дают значительно меньшую производительность, чем современные установки для производства цельнокатаных колес.

Цельнокатаные колеса изготовляют диаметром 800, 900, 950 и 1050 мм из углеродистой стали с содержанием 0,50—0,80% С, 0,60—0,90% Mn, 0,15—0,35% Si, до 0,05% S и до 0,05% P.

Исходным материалом для изготовления цельнокатаных колес являются обычно так называемые комплектные слитки многогранного сечения. Массу слитка выбирают так, чтобы из одного слитка можно было изготовить несколько колес.

На рис. 445 представлена схема расположения оборудования одного из современных колесопрокатных цехов.

Последовательность операций изготовления колес в современных колесопрокатных цехах следующая (рис. 446): резка слитков на заго-



Р и с. 444. Виды колес:
а — цельные; б — составные

товки, нагрев заготовок, осадка и прошивка заготовки на прессе, формовка колесной заготовки на прессе, прокатка на стане, выгибка и калибровка колес на прессе, термическая обработка колес.

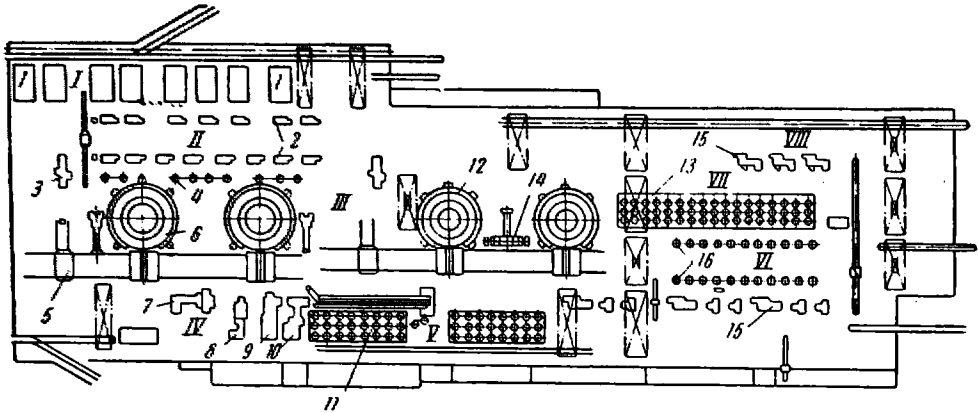


Рис. 445. Схема расположения оборудования колесопрокатного цеха: I — склад слитков; II — слиткорезное отделение; III — печное отделение; IV — прессово-прокатное отделение; V — отделение термической обработки; VI — колесоотделка; VII — отделение термической обработки; VIII — отделение приемки и сортировки; 1 — стеллажи для слитков; 2 — слиткорезные станки; 3 — слитколоматель; 4 — карусельные станки; 5 — посадочная машина; 6 — кольцевые печи для нагрева заготовок; 7 — парогидравлический пресс усилием 30 Мн (3000 тс); 8 — парогидравлический пресс усилием 70 Мн (7000 тс); 9 — колесопрокатный стан; 10 — пресс усилием 25 Мн (2500 тс); 11 — печи (колодцы) изотермической выдержки; 12 — кольцевые печи для нагрева под закалку; 13 — печи (колодцы) для отпуска; 14 — закалочные столы; 15 — столы осмотра; 16 — карусельные стянки

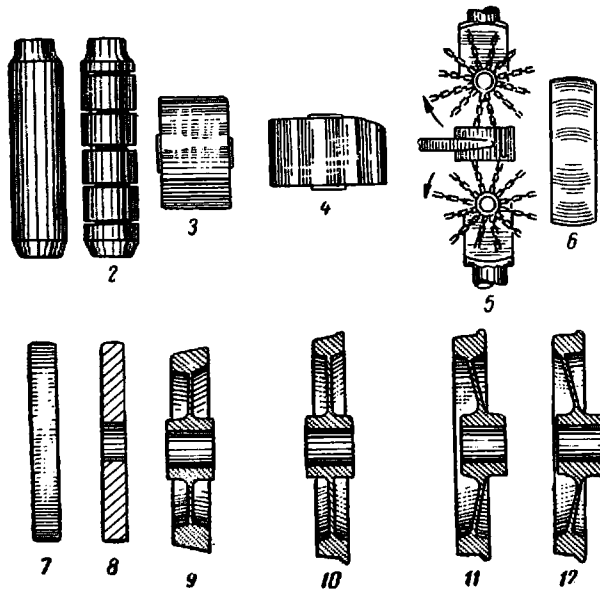


Рис. 446. Технологические операции при изготовлении колес в современных колесопрокатных цехах:

1 — слиток; 2 — разрезка слитка; 3 — заготовка массой 0,5 т; 4 — нагрев заготовки; 5 — сбивка окалины; 6 — осадка на прессе усилием 30 Мн (3000 тс) для удаления окалины; 7 — обжатие заготовки в кольце на прессе усилием 40 Мн (4000 тс); 8 — прошивка отверстия на прессе усилием 30 Мн (3000 тс); 9 — формовка на прессе усилием 70 Мн (7000 тс); 10 — прокатка обода и части диска на стане; 11 — выгибка диска на прессе усилием 25 Мн (2500 тс); 12 — прошивка двух водильных отверстий в диске

Слитки мартеновской стали двенадцатигранного сечения массой 3—5 т поступают в пролет склада слитков, где их осматривают, зачищают и укладывают поплавочно в штабеля. Затем производят надрезку

(оставляется шейка диаметром 150 мм) слитка на многолезцовых станках и разделение клином на отдельные заготовки на гидравлическом горизонтальном слитколомателе усилием 3 Мн (300 тс). После взвешивания заготовки при помощи напольно-поворотных посадочных машин загружают в две карусельные печи непрерывного действия диаметром 28 м, где их нагревают до 1200—1250 °С. После нагрева посадочная машина вынимает заготовку из печи и подает в один из окалиноломателей для сбивки окалины с торцов заготовки звеньями вращающихся цепей. Не освобождая заготовки из клещей, посадочная машина подает ее на стол парогидравлического пресса усилием 30 Мн (3000 тс)

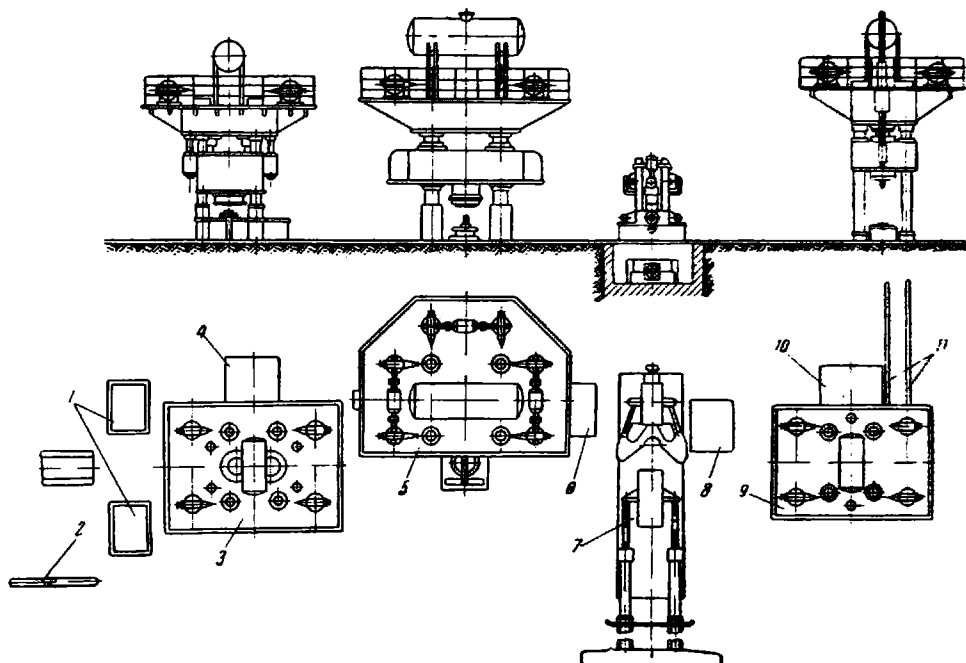


Рис. 447. Схема расположения оборудования колесопрокатной установки:

1 — окалиноломатель; 2 — рельс шаржир-машины; 3 — пресс усилием 30 Мн (3000 тс) для обжатия и прошивки колесной заготовки; 4 — пульт управления прессом усилием 30 Мн (3000 тс); 5 — пресс усилием 70 Мн (7000 тс) для обжатия и формовки колесной заготовки; 6 — пульт управления пресса усилием 70 Мн (7000 тс); 7 — колесопрокатный стан; 8 — пульт управления колесопрокатного стана; 9 — пресс усилием 25 Мн (2500 тс) для выгибки диска, пробивки водильных дыр и калибровки обода колеса; 10 — пульт управления прессом усилием 25 Мн (2500 тс); 11 — шлеперный холодильник

(рис. 447). Назначение пресса — предварительная осадка заготовки для удаления окалины с ее боковых поверхностей, осадка в кольцо и прошивка отверстия в центре заготовки. Опавшая с заготовки окалина сдувается со стола паром. Далее заготовку с помощью передаточного устройства транспортируют на стол парогидравлического пресса усилием 70 Мн (7000 тс), где штампуют ступицу, диск и контуры обода. Операция выполняется за один ход пресса.

Колесная заготовка, полученная на штамповочном прессе, поступает на колесопрокатный стан, на котором производится раскатка диска, прилегающего к ободу, раскатка обода, а также выкатка гребня на ободу колеса.

Схема прокатки колеса показана на рис. 448. Стан имеет 7 валков, из которых валок 1 является коренным (приводным), валки 2 и 3 — нажимными. Эти три валка предназначены для обработки рабочей по-

верхности колеса. Для обработки внутренних и торцовых поверхностей обода имеются два наклонных валка 4 и 5. Валки 6 и 7 являются направляющими. Ввиду того, что при раскатке диаметр колеса увеличивается, стационарно установлен лишь один валок 1, а остальные имеют возможность перемещаться. Валки 2, 3, 6 и 7 прижимаются к ободу при помощи гидравлических цилиндров. При включении двигателей стана начинают вращаться коренной и наклонные приводные валки; нажимные и направляющие валки подвоятся к ободу колесной заготовки. Наклонные валки отжимают металл с внутренней части обода на наружную: силами трения, возникающими при деформации, заготовка начинает вращаться и за каждый оборот ее с внутренней части смещается кольцевой слой металла. Конец прокатки фиксируется специальным указателем, измеряющим внутренний диаметр колеса.

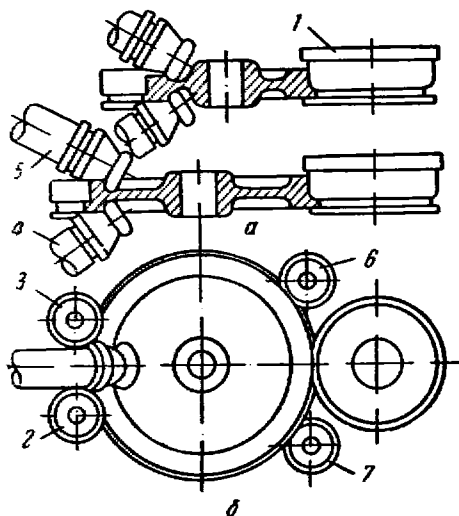


Рис. 448. Схема прокатки колеса на стане:

а — положение валков в начале прокатки; б — положение валков в конце прокатки

воды и имеют централизованную жидкую смазку. Заготовку подают в стан сбоку; готовое колесо убирают со стана также в сторону. Это сокращает время на установку и уборку колеса, так как подача и выдача могут осуществляться одновременно. Верхний наклонный валок имеет привод от дополнительного электродвигателя.

Прокатанное колесо передают на парогидравлический пресс усилием 25 Мн (2500 тс), где производится выгибка диска колеса, калибровка обода и горячее клеймение всех знаков на колесе без применения ручного труда. Все перечисленные операции на прессах и стане производят с одного нагрева заготовки. Транспортирование заготовки между прессами и колеса от стана к калибровочному прессу производится при помощи поворотных кранов с подвешенными к ним на цепях специальными крючковыми захватами.

После калибровочного пресса колеса пластинчатым транспортером передают к колодезным печам с газовым отоплением; предварительно их погружают мостовым краном в промежуточные термосы, откуда столами с помощью мостового крана перегружают в печи колодезного типа для изотермической выдержки с целью предотвращения образования флокенов.

На рис. 449 показана кинематическая схема колесопркатного стана. Привод коренного валка и нижнего наклонного валка осуществляется от электродвигателя постоянного тока через редуктор 13 и конические передачи 14 и 15. По мере раскатки колеса нижний наклонный валок отходит вправо, причем нижняя приводная коническая шестерня 14 также передвигается вправо вместе со своим подшипником на валу главного привода.

В станах последней конструкции подшипники скольжения коренного вала и наклонных валков заменены подшипниками качения; применение главного тихоходного двигателя позволило избежать установки редуктора; все передачи защищены от попадания окалины и

Колеса, прошедшие изотермическую выдержку, стопами передают в отделение предварительной сортировки и ремонта, затем велосипедным краном по одному передают на стеллажи предварительного осмотра, ремонта и испытания на твердость. Годные колеса на тележках отправляют в смежный пролет чистовой механической обработки, откуда краном передают на штабелирующее устройство закалочного отделения.

Со столов штабелирующего устройства колеса снимают напольно-поворотными посадочными машинами и передают в карусельные печи. После нагрева колеса укладывают на закалочные столы для закалки поверхности качения обода и затем пластинчатым транспортером передают к промежуточным термосам. Из промежуточных термосов спе-

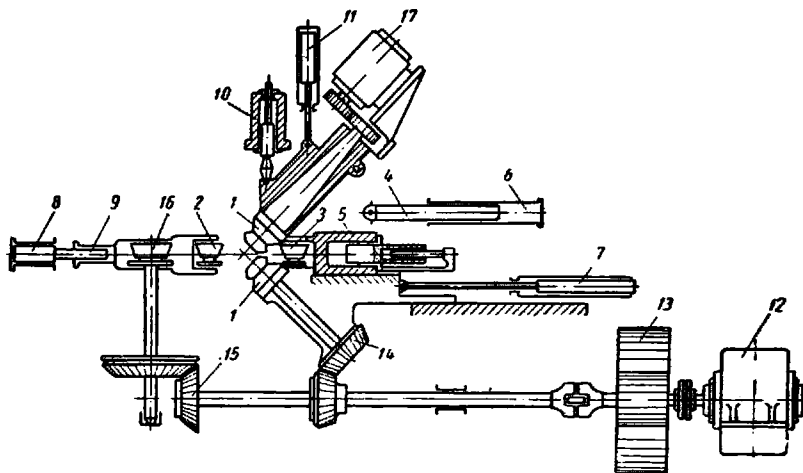


Рис. 449. Кинематическая схема колесопрокатного стана:

1 — наклонные валки; 2 — направляющий валок; 3 — нажимной ролик; 4 — плунжер; 5 — салазки нажимных роликов; 6 — цилиндр хода рабочей клетки; 7 — цилиндр обратного хода рабочей клетки; 8 — цилиндр для подачи направляющих роликов к колесу; 9 — цилиндр обратного хода направляющих роликов; 10 — нажимной цилиндр верхнего наклонного вала; 11 — цилиндр подъема верхнего наклонного вала; 12 — главный двигатель стана; 13 — редуктор; 14 — коническая зубчатая передача к нижнему наклонному валу; 15 — коническая зубчатая передача к вертикальному валу; 16 — коренной валок; 17 — двигатель верхнего наклонного валка

циальным краном стопы колес подают в колодцевые печи для отпуска после закалки; охлажденные до температуры цеха колеса передают на тележках на склад готовой продукции, где их разгружают у стеллажей для окончательного осмотра, испытания на твердость и сортировки.

2. БАНДАЖИ

Бандажи изготовляют из углеродистой стали с содержанием 0,50—0,80% С, 0,60—0,90% Мп, 0,15—0,35% Si, до 0,05% S и до 0,05% P.

При производстве бандажей в старых бандажепрокатных цехах исходным материалом обычно являются слитки массой, соответствующей массе только одного бандажа. Исходным материалом в современных бандажепрокатных цехах являются комплектные многогранные слитки, рассчитанные на 5—8 бандажей. Для получения требуемой массы заготовок эти слитки надрезают на многорезцовых токарных станках и ломают на слитколомателях. Последовательность операций изготовления бандажей следующая:

- 1) резка слитков на заготовки (при комплектных слитках);
- 2) нагрев заготовок или слитков (одиночных);

- 3) осаживание на прессе и прошивка стверстия в центре;
- 4) разгонка отверстия и калибровка обода по высоте в черновой клетке;
- 5) прокатка в чистовой клетке с целью получения требуемого профиля поверхности катания и заданного диаметра (для выполнения последнего требования иногда осуществляют растяжку обода на прессе);
- 6) термическая обработка.

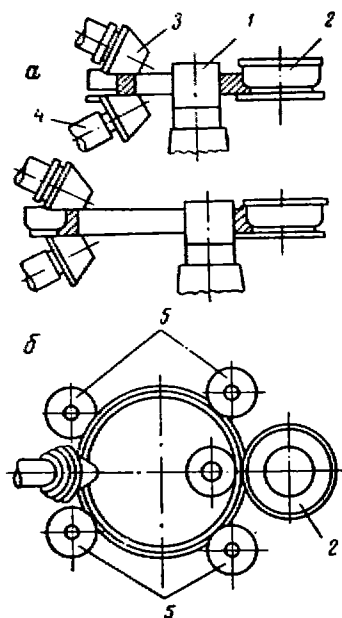


Рис. 450. Схема прокатки бандажей на стане:
 а — положение валков в начале прокатки; б — положение валков в конце прокатки

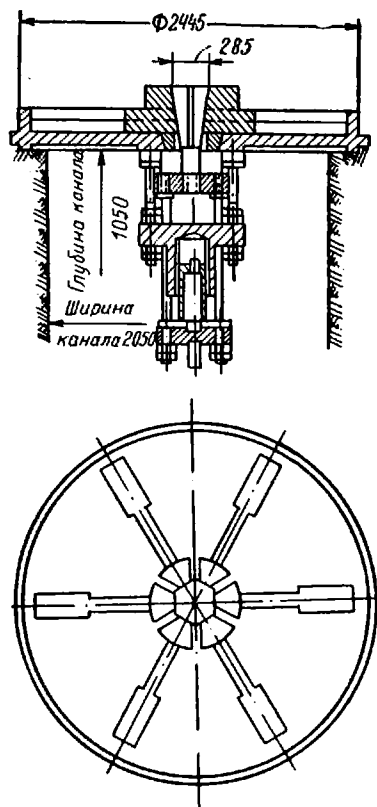


Рис. 451. Схема пресса для растяжки бандажей

По принципу работы бандажепрокатные станы аналогичны колесопрокатным. На рис. 450 показана схема бандажепрокатного стана. Стан состоит из двух вертикальных валков 1 и 2, двух наклонных 3 и 4 и четырех направляющих роликов 5. Для обработки рабочей и внутренней поверхностей бандажа служат валки 1 и 2, а для торцовых поверхностей — валки 3 и 4. Валки 2, 3 и 4 приводные, а валок 1 — холостой. Подшипники валка 1 опираются на плунжер гидравлического цилиндра, при помощи которого уменьшается расстояние между валками 1 и 2 по мере прокатки бандажа. Валки 3 и 4 установлены на специальной каретке, которая по мере увеличения диаметра прокатываемого бандажа перемещается в горизонтальном направлении вместе с валками 3 и 4.

По выходе из стана бандажи подвергают растяжке на прессе до нужного диаметра. Схема действия этого пресса показана на рис. 451. После растяжки производят маркировку бандажей специальным маркировочным прессом.

После этих операций бандажи подвергают закалке с последующим отпуском. Далее их осматривают, испытывают на твердость, сортируют и направляют на склад готового проката.

3. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ

При периодической прокатке получают изделия, поперечное сечение которых закономерно изменяется, и это изменение обычно периодически повторяется по длине прокатываемой полосы.

Прокатку периодических профилей начали осуществлять более 100 лет назад. Сначала на стане стремились получать периодический профиль в виде готовых изделий (лопат, вил и др.). Однако более широкое распространение периодическая прокатка получила при производстве заготовок для штамповки различных деталей машин [I. 7, 10; VI. 5, 9, 17, 19, 22, 26].

Получение заготовок периодической прокаткой выгодно, так как при этом значительно сокращаются работы по штамповке (уменьшается загрузка прессов и молотов и пр.) и, кроме того, достигается экономия металла (20—30%) и энергии по сравнению с тем, когда штамповка деталей производится из обычного проката.

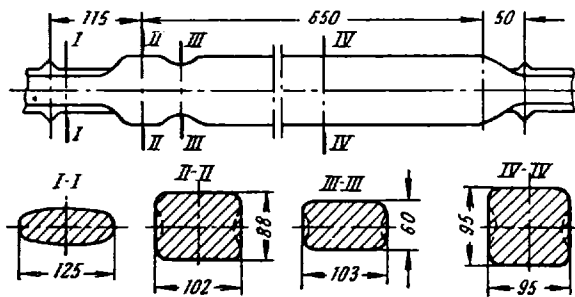
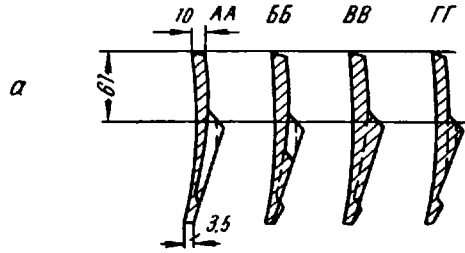
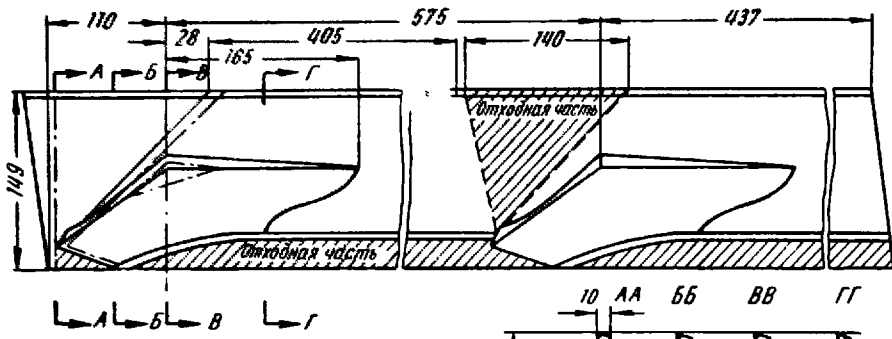
В настоящее время периодические профили получают двумя основными методами: продольной и поперечной прокаткой. Например, при продольной периодической прокатке получают следующие профили: с односторонним периодом (рис. 452, *a*), с двусторонним совпадающим периодом и свободным уширением (*b*), с двусторонним совпадающим периодом и заусенцами (*в*), с несовпадающими верхними и нижними периодами (*г*) и др.

Калибровка валков для получения периодического профиля существенно отличается от калибровки валков при прокатке обычных профилей. При прокатке периодических профилей окончательная форма придается за один проход, причем в различных сечениях одного периода вытяжка непрерывно изменяется, достигая в некоторых случаях двух-трехкратной. В связи с этим при расчете калибров возникают значительные трудности в определении уширения. Формулы, выведенные для определения уширения при обычной прокатке, могут дать для случая периодической прокатки лишь приближенные значения.

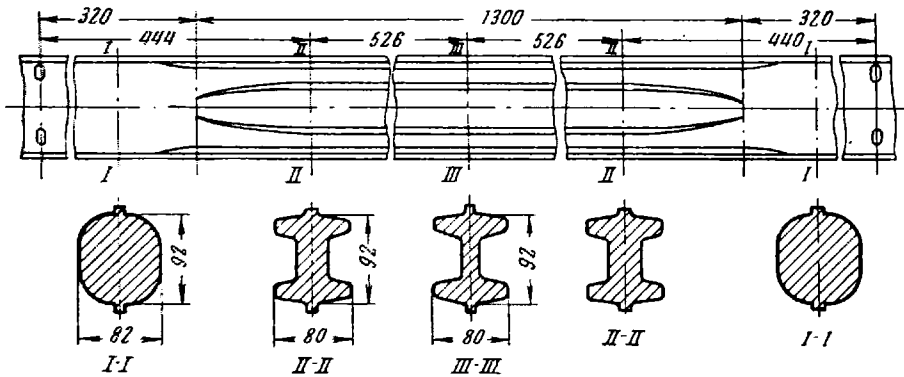
Различие в сжатиях по длине периода вызывает ряд трудностей в определении профиля ручья калибра и протяженности его по окружности валка. Следует иметь в виду, что изменение деформации металла вызывает изменение расстояния между осями валков по длине периода за счет упругих деформаций валков и деталей стана. Это обстоятельство следует учитывать при калибровке и вносить соответствующие поправки, в противном случае размеры профиля по высоте будут отличаться от заданных на 1,5—2 мм.

Большие трудности встречаются при расчете длины периодического профиля, так как допуски по длине периода составляют очень незначительную величину (примерно 1%). В то же время длина выходящей из валков полосы (длина периода) зависит от изменения опережения, величину которого определить очень трудно из-за непостоянства катающего радиуса валков, изменения условий трения между деформируемой полосой и валками и др.

Большое влияние на получение правильных размеров периода по длине оказывает непостоянство коэффициента трения при прокатке. Известно, что с увеличением температуры прокатки коэффициент трения уменьшается, следовательно, будет уменьшаться опережение и длина



δ



б

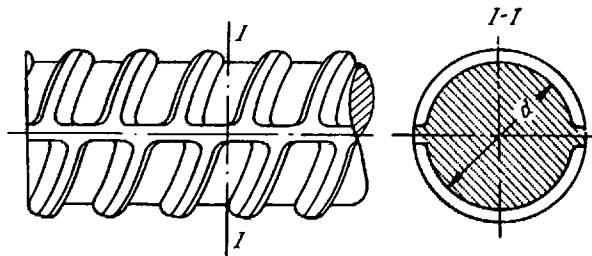


Рис. 452. Виды периодических профилей, получаемых продольной прокаткой

периода прокатываемой полосы; при уменьшении температуры все происходит наоборот. Это хорошо подтверждается практическими данными. Поскольку задний конец полосы, как правило, несколько холоднее переднего, часто к концу раската длина периода увеличивается.

Наблюдения показали, что наибольшее влияние на длину прокатываемого периода оказывает окалина, налипающая на поверхность валков. Причем действие этой окислы вызывает изменение коэффициента трения. Поэтому для устранения колебания длины периода необходимо удалять окислу с поверхности калибра водой, а также сбивать ее с полосы. При этом следует иметь в виду необходимость поддержания постоянства температуры прокатываемой полосы.

Изготовление валков для периодической прокатки сложнее, чем валков для обычных станков, так как, кроме обработки на токарных станках, их обрабатывают также на долбежных и фрезерных. При периодической прокатке многих профилей валки целесообразно изготовлять сборными. Такой валок состоит из сердечника и набора колец, образующих калибр.

Незначительный допуск по длине периода ограничивает возможность использования валков после их переточки. Практически в сборных валках средние кольца перетачивают обычно 1—2 раза. Все это удорожает стоимость валков на 1 т проката в 7—10 раз по сравнению со стоимостью валков для обычной прокатки.

При прокатке периодического профиля с двусторонним совпадающим периодом очень важна установка верхнего валка относительно нижнего. Для этого применяли специальную кулачковую муфту. Между кулачками муфты закладывали клинья, чем обеспечивался поворот одного валка относительно другого в пределах $0-45^\circ$ с интервалом 1° . Однако настройка валков таким способом требует длительного времени, потому что при этом приходится останавливать стан; последнее приводит к снижению производительности стана. Кроме того, точность установки валков ограничена размерами набора клиньев.

В настоящее время на заводе им. Петровского применена конструкция шестеренной клетки (рис. 453), которая позволяет устанавливать верхний валок относительно нижнего за 3—4 сек. Подушки с подшипниками для шеек шестерни могут поворачиваться в корпусе шестеренной клетки; при этом верхняя шестерня будет обкатываться по нижней и через шпindel поворачивать верхний валок относительно нижнего. Механизм вращения не имеет ступеней и поэтому позволяет производить установку валка с любой точностью.

Большое значение при прокатке периодических профилей имеет создание механизма для задачи полосы валка рабочей клетки. При случайной задаче металла в валки на концах каждой полосы будут получаться периоды неполной длины; этот металл идет в обрезь. Чтобы приблизить расходные коэффициенты при прокатке периодических профилей к расходным коэффициентам при прокатке обычного сортового металла, необходимо осуществлять захват всегда при одном и том же положении валков, соответствующем началу периода.

Для обеспечения правильной задачи полосы в валки механизмы задачи могут быть различной конструкции. Например, можно применять специальные упоры. Полоса подается к валкам и при этом удерживается упором. При определенном положении валков упор отходит и полоса захватывается валками. Задающие механизмы могут быть и другой конструкции.

Таким образом, производство периодических профилей имеет специфические трудности по сравнению с обычной продольной прокаткой.

Однако значительные выгоды, получаемые при применении периодического проката, требуют дальнейшего развития данного вида производства.

Поперечная прокатка периодических профилей существенно отличается от продольной прокатки тем, что заготовка и готовый профиль представляют собой тела вращения.

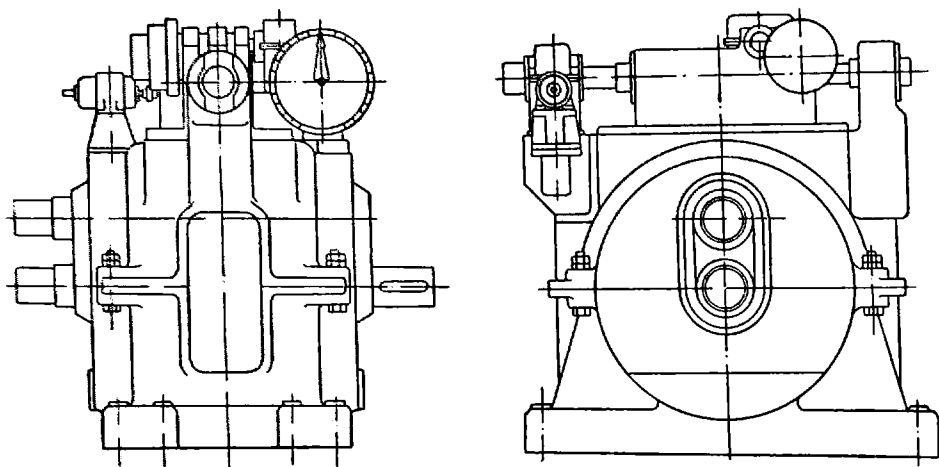


Рис. 453. Шестеренная клетка стана периодической прокатки

Производство периодических заготовок круглого сечения началось сравнительно недавно. Однако этот способ производства заготовок получает широкое распространение. Достаточно сказать, что в автомобильной промышленности около 90% всех заготовок кованых деталей машин целесообразно изготовлять из периодических профилей круглого

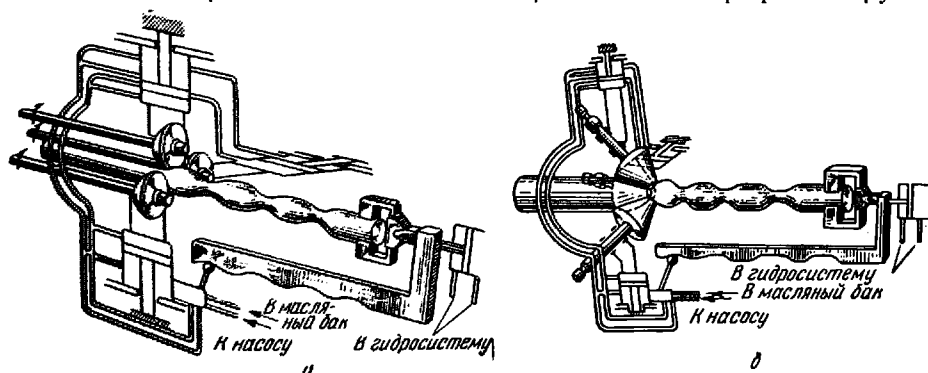


Рис. 454. Схема прокатки на трехвалковых станах с валками: а — дисковыми; б — коническими

сечения. Имеется много валов, осей и других деталей машин, которые также целесообразно изготовлять из круглого периодического проката.

В настоящее время поперечной прокаткой изготовляют круглые периодические профили, являющиеся заготовками для последующей штамповки или обработки резанием, шары для шарикоподшипников и шаровых мельниц, различные шестерни и др.

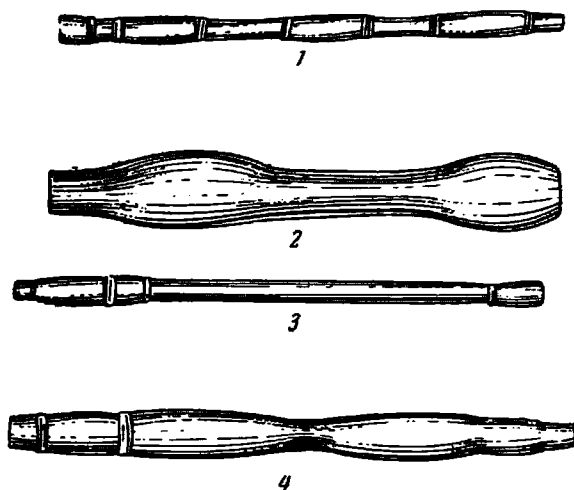
Поперечная прокатка периодических профилей осуществляется на двух- и трехвалковых станах. Конструкция трехвалковых станов разра-

ботана коллективом сотрудников под руководством А. И. Целикова. Прокатка на данном стане осуществляется дисковыми или коническими валками (рис. 454), расположенными в рабочей клетке стана под углом 120° друг к другу. Валки приводятся через шестеренную клетку и универсальные шпиндели.

Круглую штангу, нагретую до $1100\text{--}1150^\circ\text{C}$, подают к упору зажима, который автоматически захватывает передний конец полосы. Одновременно с захватом заготовки происходит опускание ролика следящего клапана на копирувальную линейку, и вращающиеся валки, обжимая заготовку, сообщают последней вращение. В то же время гидравлическое натяжное устройство перемещает зажимной патрон в направлении рабочего хода (от валков). По мере перемещения зажима с

Рис. 455. Виды профилей, получаемых поперечной прокаткой:

1 — заготовка вторичного вала коробки передач автомобиля «Москвич»; 2 — заготовка для штамповки шатуна автомобиля «Москвич»; 3 — полуось автомобиля «Москвич»; 4 — ось вагонетки



металлом валки сближаются и расходятся в соответствии с профилем копирувальной линейки, благодаря чему осуществляется получение периодического профиля круглого сечения. По окончании прокатки захват автоматически освобождает заготовку и стан готов к приему следующей полосы.

Прокатываемые на стане изделия могут иметь весьма сложную форму, представляющую комбинацию цилиндрических, конических и сферических участков (рис. 455). В результате прокатки на трехвалковом стане наблюдается улучшение механических свойств металла.

Процесс поперечной периодической прокатки профилей можно полностью автоматизировать: загрузку в нагревательные устройства, подачу к стану, захват, прокатку, освобождение и транспортировку готового проката. Эти станы позволяют получать профили различной конфигурации, причем переход с одного профиля на другой осуществляется весьма быстро.

Двухвалковые станы поперечной прокатки применяют для производства шаров, различных шестерен и других изделий.

Существовавшие ранее способы производства (штамповка) заготовок шаров, роликов и других коротких тел вращения сравнительно малопродуктивны, вызывают излишний расход металла в стружку и повышают трудоемкость при механической обработке. В настоящее время успешно внедрены в промышленность высокопроизводительные агрегаты для производства заготовок шаров диаметром $25\text{--}50$ мм, ша-

ров для мельниц диаметром 40—80 мм и роликов для подшипников качения.

Исходным материалом для прокатки заготовок шаров подшипников является круглая калиброванная прутковая сталь ШХ-15 длиной до 4,5 м и диаметром, примерно равным диаметру шара. Штанга нагревается до 850—900 °С в индукторе, затем, проходя термостат, попадает в валки. Передний конец нагретой штанги захватывается винтовыми ребрами валков (рис. 456) и заготовка, вращаясь, продвигается по оси калибра. По мере продвижения заготовка приобретает форму шара. соединенного перемычкой с остальной прокатываемой частью заготовки. Для удаления оставшихся перемычек между шарами их (после охлаждения) подвергают обработке в барабанах. За каждый оборот валков прокатывается один шар, поэтому производительность стана определяется скоростью вращения валков.

При производстве шаров для мельниц исходной заготовкой является горячекатаная круглая сталь. При этом калибр и настройка валков

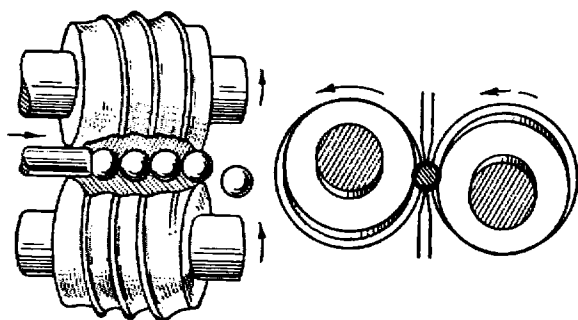


Рис. 456. Схема прокатки шаров в винтовых калибрах

должны обеспечить полное отделение шаров от заготовки и закатку полусных выступов.

Валки шаропрокатных станов устанавливаются под некоторым углом в горизонтальной плоскости подобно прошивным клетям трубопрокатных агрегатов. Бочки валков крепят на осях, установленных на подшипниках качения. Для удержания заготовки на оси прокатки

применяют проводки. По характеру деформации калибр валка можно разделить на формующий участок, где осуществляется захват заготовки и ее постепенное сжатие в шар, и отделочный участок, где обеспечивается придание точных размеров шару и его отделение от остальной заготовки.

Для обеспечения нормального процесса прокатки размеры формующего участка калибра рассчитываются, исходя из следующих основных условий: объем металла, обжимаемого в калибре, должен оставаться постоянным в течение всего процесса формовки шара; изменение профиля и размеров ребры калибра должно соответствовать вытяжке обжимаемой заготовки; обжатие должно осуществляться относительно узкими участками, чтобы предотвратить разрушение металла в осевой зоне заготовки.

Диаметр валка для прокатки шаров выбирают, исходя из условий прочности осей валков и надежности захвата заготовки валками; в частности, при прокатке шаров диаметром 6—25 мм следует принимать диаметр валков 200—220 мм. Прокатку более крупных шаров диаметром 35—50 мм следует осуществлять на валках диаметром 280—300 мм. Протяженность калибра условно измеряется в градусах развертки винтовой линии калибра. Общая протяженность калибра колеблется в пределах 1170—1350°, причем протяженность отделочного участка обычно принимают равной 810°.

Шарики диаметром 1—4 мм, а иногда и более прокатывают в холодном состоянии.

В настоящее время имеются станы для прокатки шаров диаметром 25—40, 40—80 и 80—120 мм. Стан (рис. 457) состоит из рабочей клетки 1, имеющей валки 2 с винтообразными калибрами, привода валков (шпинделей 3, шестеренной клетки 4, редуктора 5 и электродвигателя 6) и установки для индукционного нагрева заготовок (на рисунке не

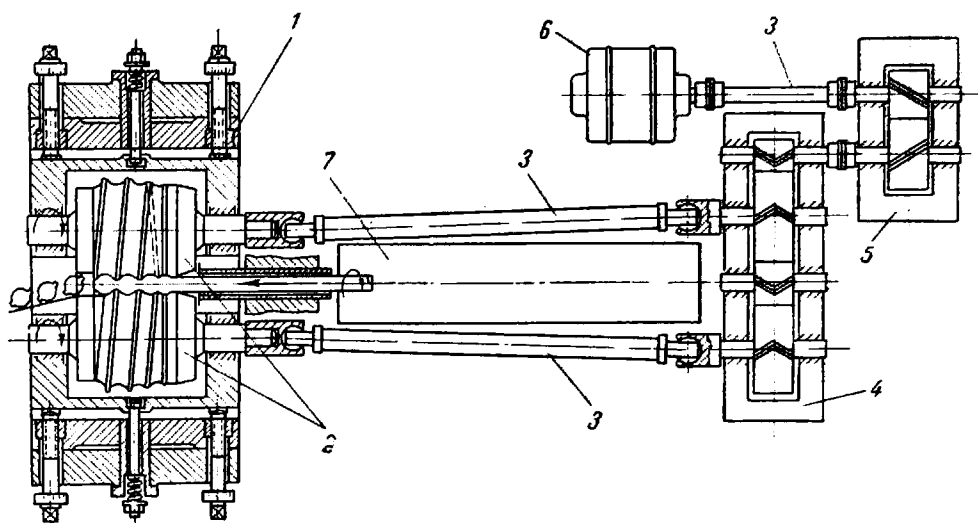


Рис. 457. Стан для прокатки шаров

показана). Исходным материалом являются круглые заготовки длиной 3—5 м.

Очередная заготовка после нагрева в индукционной печи по наклонной решетке скатывается в приемный желоб 7, расположенный между шпинделями привода валков. При этом автоматически включается толкатель, который задает заготовку передним концом во вращающиеся валки стана.

Конструкция рабочей клетки аналогична обычной прошивной клетки, но валки имеют винтообразные калибры с переменными по высоте гребнями. За каждый оборот валков с выходной стороны выходит один шар. Таким образом, при скорости валков 60—150 об/мин производительность стана соответственно равна 60—150 шаров в минуту.

Наиболее распространенными деталями машин являются зубчатые колеса. Существующие способы их изготовления резанием недостаточно производительны, требуют применения дорогостоящего инструмента и вызывают лишний расход металла в виде стружки.

В настоящее время разработан новый метод изготовления зубчатых колес прокаткой нагретой заготовки в специально профилированных зубчатых валках. Этот способ обеспечивает большую производительность, высокую механическую прочность зубчатых колес и меньший расход металла (зубья получаются выдавливанием).

Зубчатые колеса можно прокатывать двумя способами. В одних случаях в качестве заготовки используют плоский диск, который зажимается головками суппорта и располагается между двумя зубчатыми валками (рис. 458), имеющими модуль зацепления, равный модулю прокатываемой шестерни.

Заготовка токами высокой частоты нагревается непосредственно в суппорте на сравнительно небольшую глубину. После этого вращающиеся

ся валки начинают сближать, происходит постепенная формовка зубьев, при этом металл вытесняется из впадин в головку. Прокатка шестерни заканчивается, когда наружный диаметр ее достигает заданной величины.

В других случаях прокатка шестерен ведется из круглой длинной заготовки или из заготовок, сложенных стопой. Валки перед прокаткой устанавливаются на расстояние, соответствующее окончательно прокатанной шестерне, и за время прокатки их не перемещают.

Заготовка зажимается в суппорте и проталкивается между вращающимися валками вдоль ее оси. Нагрев заготовки производится кольцевым высокочастотным индуктором, установленным перед входом металла в валки. После прокатки и охлаждения зубчатый цилиндр разрезается на отдельные шестерни.

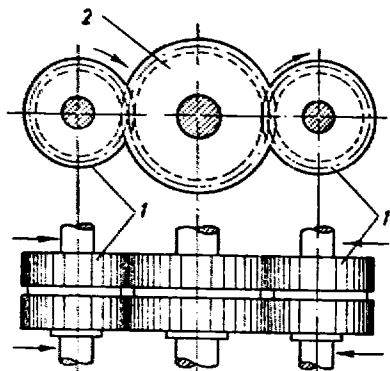


Рис. 458. Схема прокатки шестерен:

1 — шестерня-инструмент; 2 — заготовка для накатки зубьев

Вторая схема обеспечивает большую точность зубчатого зацепления прокатываемых шестерен и большую производительность. Первую схему применяют при получении шестерен большого диаметра, а также тогда, когда конфигурация прокатываемых шестерен не позволяет применять схему с осевой подачей заготовки (например, прокатка шестерен с шевронными зубьями).

Валки для прокатки шестерен изготавливают из легированных сталей (5ХНТ или 5ХНМ с закалкой на твердость 52—55 HRC). Однако имеется возможность изготавливать валки и из

углеродистой стали Ст.3 с последующей цементацией зубьев на глубину 0,5—1 мм. Стойкость таких валков достигает 3000—5000 шестерен. В зависимости от способа прокатки валки разделяют на валки для прутковой и штучной прокатки, а в зависимости от назначения процесса прокатки на чистовые и черновые валки.

Черновые валки используют для прокатки заготовок шестерен, обрабатываемых в дальнейшем на зуборезных станках, при этом толщина зуба валка принимается с учетом припуска на дальнейшую механическую обработку зубьев шестерни.

Чистовые валки предназначены для получения таких зубчатых шестерен, когда точность прокатки достаточна, чтобы не применять механическую обработку зубьев.

Следует отметить, что интенсивная пластическая деформация металла при образовании зубьев способствует получению более качественного металла в зубчатом венце: при этом достигается изгиб волокна по профилю зуба, а также уплотнение металла по поверхности зубьев на глубину 0,5—0,6 мм. Изгиб волокон в соответствии с профилем зубьев и уплотнение поверхностного слоя повышают прочность зубьев прокатанных шестерен.

4. ГНУТЫЕ ПРОФИЛИ

В авиационном, автотракторном, транспортном и других отраслях машиностроения, а также в строительных конструкциях и в промышленности предметов широкого домашнего потребления в очень большом

количестве требуются легкие тонкостенные профили сложного сечения, так называемые экономичные профили (рис. 459). Получить тонкостенные профили горячей прокаткой во многих случаях оказывается невозможным вследствие сложности формы и быстрого и неравномерного охлаждения тонкостенных профилей в валках. Эти профили успешно изготовляют гибкой тонкой полосы на специальных профилегибочных станах [I. 7, 10; VI. 20].

Оборудование для изготовления тонкостенных гнутых профилей аналогично оборудованию непрерывных формовочных клетей трубосварочных станков. Процесс профилирования не является процессом прокатки; при прокатке в каждой клетке изменяется не только форма поло-

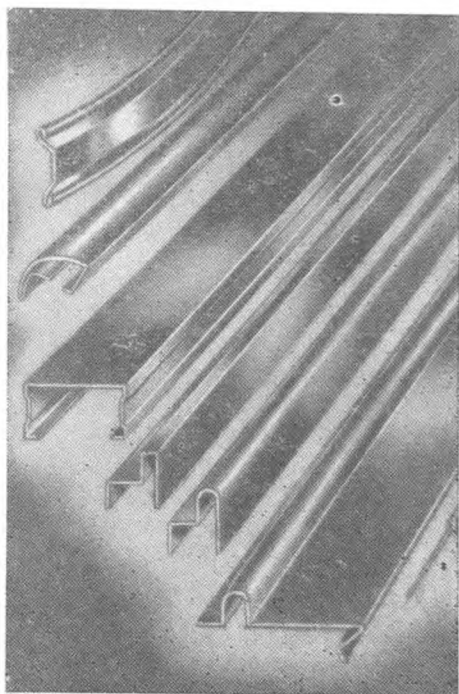


Рис. 459. Виды гнутых профилей

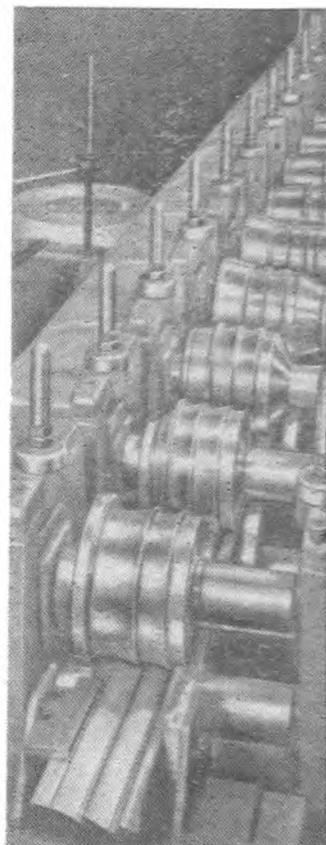


Рис. 460. Общий вид профилировочного стана для производства гнутых профилей

сы, но и ее поперечное сечение, а при профилировании последовательно изменяется только форма поперечного сечения полосы.

Очевидно, что в каждой паре валков форму сечения полосы можно изменить только незначительно, поэтому для получения сложного профиля необходимо применять многоклетевые непрерывные станы (6—20 и более клетей). Сложные тонкостенные профили изготовляют также методом штамповки листовой стали на прессах. Однако этот способ малопроизводителен.

На современных профилегибочных станах (рис. 460) осуществляется непрерывный процесс получения тонкостенных профилей путем сварки в стык концов ленты в рулонах перед первой формовочной клетью и последующей резки на мерные длины полученных профилей летучими

ножницами или пилами. Скорость движения ленты (полосы) через валки равна 30—90 м/мин. В настоящее время имеются станы для изготовления профилей из полосы шириной до 2 м, толщиной 0,5—20 мм.

Важным преимуществом этого процесса является упрочнение металла в результате холодного профилирования, что позволяет еще более уменьшить массу металлоконструкций и деталей.

Ролики (валки) стана имеют последовательно изменяющиеся калибры от первой клетки к последней. При прохождении через калибры валков всех клеток полоса подвергается последовательному изгибу и приобретает требуемую фасонную форму поперечного сечения (рис. 461).

Так как процесс является непрерывным, производительность стана весьма большая, и работа на стане почти полностью автоматизирована.

Для профилирования горячекатаной и холоднокатаной полосы применяют поточные агрегаты трех типов: 1) для профилирования листов; 2) для профилирования листов, получаемых непрерывной резкой рулонной полосы перед формовкой; 3) для профилирования «бесконечной» полосы с последующей резкой готовых профилей на мерные длины.

Во всех этих агрегатах профилирование листов или полосы осуществляется в многоклетевом стане с горизонтальными и вертикальными валками. Валки этих клеток образуют калибры для последовательного изгиба листа (полосы) и получения соответствующего открытого или закрытого готового профиля.

Рис. 461. Схема формовки профиля из полосы на профилировочном стане

При последовательном изгибе полоса испытывает напряжения, близкие к пределу текучести не по всему сечению, а только на участках деформации. Усилия на валки, возникающие при изгибах, небольшие, поэтому клетки непрерывного стана имеют весьма простую конструкцию. На станах для профилирования узких листов и полосы валки (ролики) в клетях устанавливают консольно; в станах для профилирования широкой полосы применяют клетки с двухопорным расположением валков в станинах открытого типа.

Скорость формовки выбирают с учетом материала, толщины и ширины листов и полосы, сложности профиля, качества валков и т. д. Обычно скорость формовки принимают в пределах 0,5—3 м/сек. Для облегчения деформации металла и уменьшения износа валков при формовке применяют смазку: 5—10%-ную масляную эмульсию, мыльные растворы и т. п. Тонкие полосы можно формовать без смазки.

Для профилирования можно применять листы и полосы с покрытиями (оцинкованные, луженые и покрытые пластиками). Перед формовкой при помощи специальных устройств, встроенных в поточную линию, в полосу можно пробивать отверстия, узоры и т. п.

Агрегаты первого типа (рис. 462, а) для профилирования листов являются наиболее простыми по конструкции. Листы из стопы (пачки) по одному поднимаются при помощи электромагнита или вакуумных

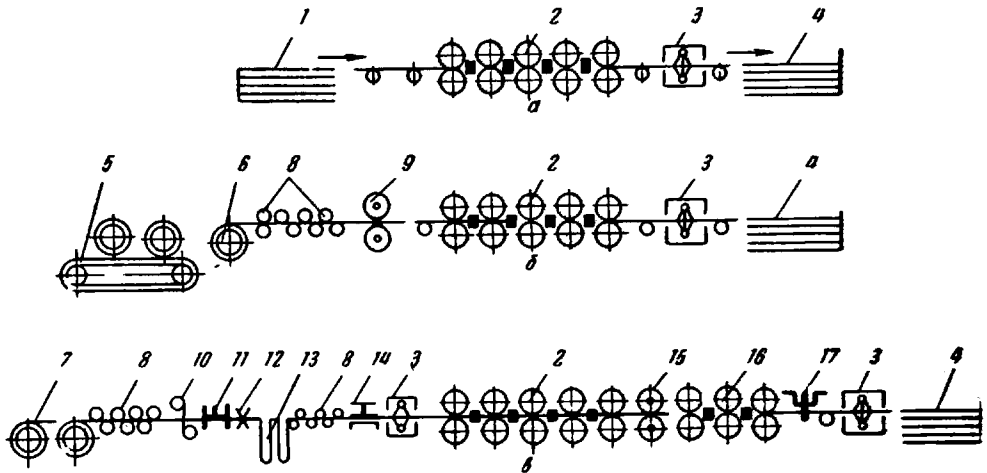


Рис. 462. Схемы профилегибочных агрегатов:

1 — стопа листов; 2 — стан; 3 — промасливающая машина; 4 — укладчик профилей; 5 — транспортер рулонов; 6 — разматыватель; 7 — двухпозиционный разматыватель; 8 — правильная машина; 9 — летучие ножницы; 10 — гильотинные ножницы; 11 — стыковарочная машина; 12 — гратоснятель; 13 — петлеобразователь; 14 — пресс для перфорации полосы; 15 — летучие ножницы с профильными ножами; 16 — правильно-калибровочные клетки; 17 — летучая пила для резки закрытых профилей

присосов и задаются в непрерывный профилегибочный стан. По выходе из последней клетки стана полученные профили промасливают и укладывают в пачки. Агрегаты этого типа применяют для формовки профилей из листов шириной более 1000 мм и толщиной 16—20 мм. Существенным недостатком агрегата является неточность размеров и формы концов профиля вследствие их «пружинения».

Агрегаты второго типа (рис. 462, б) применяют для профилирования листов толщиной до 6 мм и шириной до 1500 мм. По сравнению с агрегатом первого типа этот агрегат обладает большей производительностью и большей степенью механизации и автоматизации технологических операций. Так как полосу перед формовкой разрезают на листы, и в этом агрегате готсовые профили имеют указанный выше недостаток.

Агрегат третьего типа (рис. 462, в) является наиболее совершенным. Благодаря стыковой сварке концов полос и наличию петлеобразователя на агрегате осуществлен «бесконечный» технологический процесс. На этом агрегате устраняется неточность размеров концов профиля. Кроме того, для повышения точности размеров дополнительно установлены три правильно-калибровочные клетки. Резка на ходу открытых профилей осуществляется летучими ножницами с профильными ножами, а закрытых профилей — летучей дисковой пилой. Агрегат работает при скорости до 3 м/сек и предназначен для профилирования полосы толщиной 1—8 мм и шириной до 800 мм (резка на ходу более крупных профилей еще не освоена). Типовыми агрегатами конструкции

ВНИМАНИЕ Машин и СКМЗ, установленных на отечественных заводах, являются агрегаты второго типа $1 \div 4 \times 400 \div 1500$, $2 \div 7 \times 80 \div 500$ и $4 \div 10 \times 400 \div 1200$; агрегаты третьего типа $1 \div 4 \times 50 \div 300$ и $2 \div 8 \times 100 \div 600$.

Конструкция многих машин, входящих в агрегат, аналогична описанным выше (транспортеры рулонов, разматыватели, правильные машины, гильотинные ножницы и т. д.). Рассмотрим конструкцию формовочного стана агрегата $1 \div 4 \times 50 \div 300$. Он состоит из 15 основных и трех дополнительных клетей дуо с горизонтальными приводными валами; между этими клетями расположены вертикальные направляющие холостые ролики. Все 15 клетей имеют групповой привод от трех электродвигателей каждый мощностью 140 квт, 640 об/мин через цилиндрические редукторы, трансмиссионные валы с коническими шестернями, комбинированные шестеренные клетки и универсальные шпиндели. Число клетей, участвующих в профилировании, зависит от размеров и сложности формы профиля; скорость профилирования равна 0,5—2,5 м/сек. За последними основными и дополнительными клетями установлены роликовые обоймы с горизонтальными и вертикальными роликами, предназначенные для точной калибровки профиля.

5. БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ И МНОГОСЛОЙНЫЙ ПРОКАТ

Биметаллический и многослойный прокат (проволока, трубы и листовая сталь) в настоящее время широко применяют в различных отраслях народного хозяйства.

Применение биметаллов позволяет достигнуть значительной экономии дорогостоящих сталей металлов и сплавов. Так, при прокатке толстолистовой нержавеющей стали из слитков расходный коэффициент составляет 1,4—1,6. При изготовлении коррозионностойкой толстолистовой стали тех же размеров экономия стали достигает 70%. Это равноценно увеличению ресурса по выпуску коррозионностойкой листовой стали в 2—3 раза при том же расходе стали. Одновременно экономятся дефицитные легирующие элементы — никель (до 100 кг на 1 т листовой стали) и хром (до 200 кг).

Стоимость двухслойной листовой стали на 30—60% ниже стоимости коррозионностойкой листовой стали. Так, на одном из заводов стоимость 1 т коррозионностойкой листовой стали 0X13 толщиной 10—15 мм составляет 242 руб., двухслойной листовой стали Ст. 3—0X13 той же толщины 185 руб., стали X17H13M2T и двухслойной стали 20K—X17H13M2T составляет соответственно 868 и 626 руб.

Биметаллы обладают свойствами, которых часто не имеют составляющие их металлы. Так, некоторые биметаллы сочетают высокую прочность с высокой электропроводностью, другие — высокую прочность с высокой коррозионной стойкостью и т. п. Применение термобиметаллов позволяет получать совершенные приборы для автоматизации и комплексной автоматизации производственных процессов. Термобиметаллы состоят из металлов, один из которых имеет низкий коэффициент теплового расширения, а второй — высокий.

Известно применение биметалла многих видов: сталь — медь, сталь — бронза, сталь — алюминий, сталь — латунь, сталь — никель, сталь — монель, сталь — нержавеющая сталь, сталь — титан и т. д. Для атомной энергетики применяют плакирование циркония и бериллия другими металлами. В электротехнике и радиотехнике для изготовления проводов и кабелей применяют биметаллическую проволоку, состоящую из стального сердечника и поверхностного слоя меди или алюми-

ния. По сечению проводника ток распределяется неравномерно — от центра к периферии плотность тока возрастает. Поэтому вместо медной проволоки применяют биметаллическую, имеющую более низкую стоимость; прочность такой проволоки значительно выше, чем монометаллической.

В настоящее время в промышленности применяют следующие методы получения биметаллов [VI.3, 4; V.2, 3]:

1) заливка расплавленного металла в изложницу со вставленными в нее пластинами из другого металла (или двух металлов), полунепрерывная и непрерывная разливка биметаллов;

2) совместная пластическая деформация составных пакетов (симметричных и асимметричных);

3) наплавка и металлизация распылением металла;

4) электрохимическое нанесение покрытия на поверхность металла в процессе электролиза;

5) покрытие погружением металла в расплавленные металлы или соли;

6) прессование или прокатка порошков из разнородных металлов или порошков на подкладке из основного металла;

7) испарение металлов в вакууме и осаждение их на поверхности основного металла;

8) сварка и пайка разнородных металлов.

Первыми двумя методами возможно получение биметаллов, толщина плакирующих слоев в которых может быть равна 2—50% толщины биметалла, а другими методами 2—3%.

В зависимости от назначения и сортамента биметаллических изделий применяют различные методы, причем третий, четвертый, пятый и седьмой применяют без последующей обработки давлением.

Литые биметаллы получают:

1) заливкой жидкого металла в изложницу, в которую предварительно вставлена пластина из другого металла или две пластины с разделительной обмазкой между ними (рис. 463, а, б);

2) одновременной или последовательной заливкой двух жидких металлов в изложницу с перегородкой, которая остается в слитке или удаляется после частичного затвердевания первого металла непосредственно перед заливкой второго;

3) последовательной заливкой металлов в центробежную машину для получения трубных заготовок с плакирующим слоем на внутренней и наружной поверхностях;

4) нанесением жидкого металла на перемещающиеся полосы, ленты, прутки, проволоку, трубы или заливкой жидкого металла между двумя полосами (рис. 468, в);

5) нанесением одной составляющей в виде порошкообразной массы на стенки изложницы и последующей заливкой основного металла. После прокатки получают прочное сцепление пластины из порошка со вторым металлом;

6) на установках полунепрерывной и непрерывной разливки (рис. 463, г, д).

При получении литого биметалла на установках непрерывной разливки применяют несколько схем кристаллизаторов (рис. 464). По первой схеме (рис. 464, а) в кристаллизатор 1 заливают основной металл, который после затвердевания вытягивают в виде слитка 2 вниз до нижней кромки другого кристаллизатора 3. Затем в кристаллизатор 3 заливают плакирующий металл 4, который взаимодействует с твердой поверхностью основного слоя.

По второй схеме (рис. 464, б) слиток 2 получают сначала в кристаллизаторе 1, а затем слиток 4 — в кристаллизаторе 3.

По третьей схеме (рис. 464, в) металл 1 заливают в наружный кристаллизатор 2, в котором формируется полый слиток 4, а затем заполняют внутреннюю полость этого слитка 2, который служит кристаллизатором для металла 3.

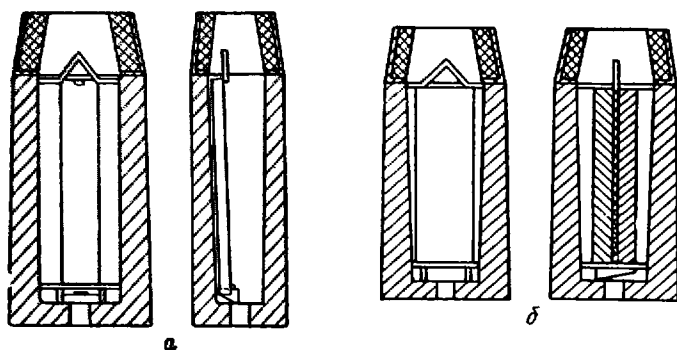
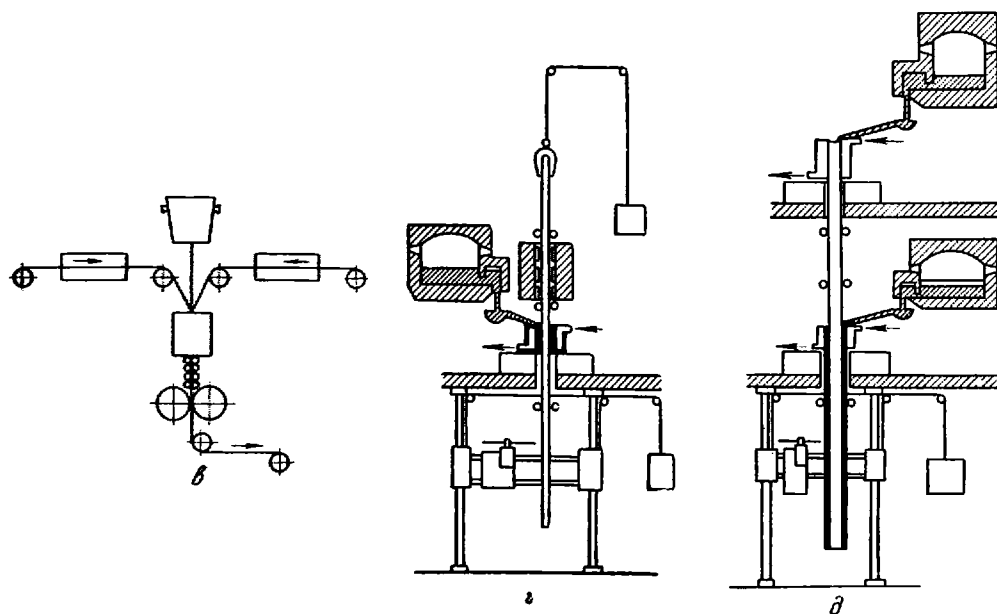


Рис. 463. Способы получения литого биметалла:

а — заливка металла в изложницу для получения двухслойной стали; б — заливка металла в изложницу для получения двух биметаллических листов; в — заливка жидкого металла между двумя полосами; г — полунепрерывная разливка; д — непрерывная разливка



Совместную пластическую деформацию составных пакетов из разнородных металлов широко применяют для получения биметалла различных видов. На пластину основного металла с одной или с обеих сторон накладывают пластины плакирующего металла. Для предотвращения взаимного сдвига пластины скрепляют болтами, заклепками или проводят обварку по периметру сварным швом (рис. 465). Контактные поверхности составляющих биметалла подвергают очистке от окисных пленок, загрязнений и обезжириванию. После сборки осуществляют холодную или горячую прокатку пакетов. Прокатка симметричных пакетов уменьшает неравномерность деформации и позволяет получить биметаллические полосы с толстым плакирующим слоем, обладающим низким сопротивлением пластическому деформированию.

Применяют также и другие методы сборки пакетов. Так, основной слой обертывают тонким листом или лентой плакирующего слоя (рис. 466). В процессе последующей прокатки возникает прочное сцепление слоев биметалла.

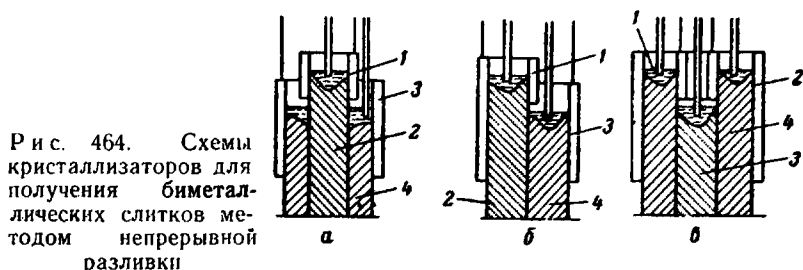


Рис. 464. Схемы кристаллизаторов для получения биметаллических слитков методом непрерывной разливки

Для улучшения сцепления слоев и предотвращения окисления контактных поверхностей во время нагрева применяют методы электролитического покрытия железом, медью, хромом, никелем и т. д. Пакеты нагревают в печах с защитной атмосферой или в вакууме.

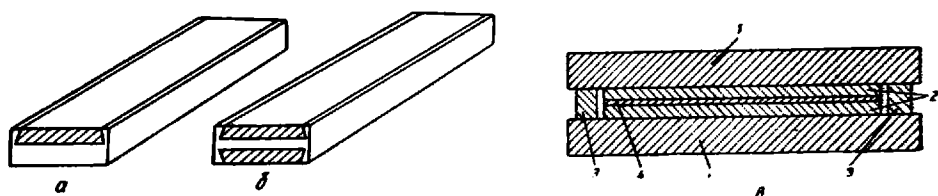


Рис. 465. Составные пакеты: а — двухслойный; б — трехслойный; в — парный симметричный; 1 — основной слой; 2 — плакирующий слой; 3 — упорные прокладки; 4 — слой изоляции

В случае, если основной и плакирующий слои, взаимодействуя друг с другом, образуют хрупкие интерметаллические соединения или легкоплавкие эвтектики, применяют плакирование через прокладку третьего металла. Так, титан с железом образует при 1083 °С легкоплавкую эвтектику, нагрев и совместная пластическая деформация пакетов биметалла титан—сталь приводят к образованию интерметаллических соединений титана с железом, резко понижающих механические свойства и пластичность биметалла. Для предотвращения этого нежелательного явления производят плакирование через тонкую прокладку ванадия, который обеспечивает прочное сцепление компонентов биметалла и отсутствие интерметаллических соединений.

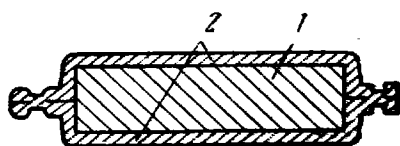


Рис. 466. Обертывание основного слоя 1 листом 2

Биметаллические заготовки получают также запрессовкой трубы из плакирующего слоя (или основного слоя) в трубу из основного слоя. Прокатывая такую заготовку, можно получить двухслойные трубы с наружным или внутренним покрытием.

Совместная пластическая деформация составных пакетов имеет ряд преимуществ перед способами получения биметаллов литым плакированием и электрошлаковой сваркой; операции по подготовке пакетов выполняются вне пределов основного металлургического процесса, по-

верхность плакирующего слоя симметричного пакета биметалла во время нагрева не подвергается окислению, прокатка таких пакетов резко уменьшает неравномерность деформации.

Литое плакирование не требует дополнительных капитальных затрат, но при получении двухслойных слитков возникает ряд трудностей в сталеплавильном цехе при их разливке, после прокатки и термической обработки наблюдается сильное коробление двухслойных листов, что затрудняет их транспортировку. При прокатке двухслойных слитков поверхность плакирующего слоя окисляется, окалина вкатывается в поверхность листов и наблюдается значительная разнотолщинность плакирующего слоя.

Для получения биметаллических листов толщиной 50—150 мм применяют электрошлаковую сварку. В этом случае подготовку биметаллических слябов осуществляют вне основного металлургического процесса. Прочность сцепления слоев биметалла получается достаточно высокой. Однако этот способ требует установки специального оборудования для электрошлаковой сварки биметаллических заготовок, а при нагреве производительность колодцев блюминга снижается вследствие необходимости работы на холодном всаде слитков и увеличения продолжительности первого периода их нагрева. Поверхность плакирующего слоя также подвергается окислению во время нагрева и прокатки биметаллических заготовок.

Двухслойную нержавеющую сталь широко применяют в различных отраслях промышленности. Находит широкое использование и многослойная сталь. В качестве основного слоя, определяющего прочность и жесткость листа, применяют низкоуглеродистую сталь. Плакирующим слоем является никель, алюминий, нержавеющая сталь, жаропрочная сталь и т. д.

Наиболее целесообразно получать двухслойную нержавеющую сталь прокаткой составных пакетов (пакетным способом) и с применением электрошлаковой сварки.

Подготовку пакетов осуществляют в специальном отделении, в состав которого входит и участок для получения заготовок с применением электрошлаковой сварки (если толщина двухслойной стали превышает 40 мм).

На рис. 467 приведена схема расположения оборудования пакетосборочного отделения, предназначенного для получения двухслойной нержавеющей стали толщиной 4—14 мм, шириной до 1700 мм, длиной до 6000 мм на стане 2300/1700 производительностью до 100 тыс. т в год.

Исходными материалами для основного слоя являются слябы из углеродистой или низколегированной сталей размерами 90 ÷ 120 × 700 ÷ 1200 × 1700—2000 мм и массой 840 ÷ 2260 кг, а для плакирующего — пластины из нержавеющей или жаропрочной стали 0X13, X17, X25, X18N10T, X17N13M2T, 0X23N28M3D3T и др. размерами 14 ÷ 20 × 500 ÷ 1000 × 1600 ÷ 1900 мм и массой 88—300 кг. Упорные прокладки изготовляют из углеродистой стали размерами 32 ÷ 42 × 1700 ÷ 2000 × 2500 ÷ 6000 мм.

Слябы, пластины и полосы для упорных прокладок и другие материалы поступают в пакетосборочное отделение в железнодорожных вагонах или на автомашинах. Разгрузку их производят мостовым краном с подхватом на стеллажи.

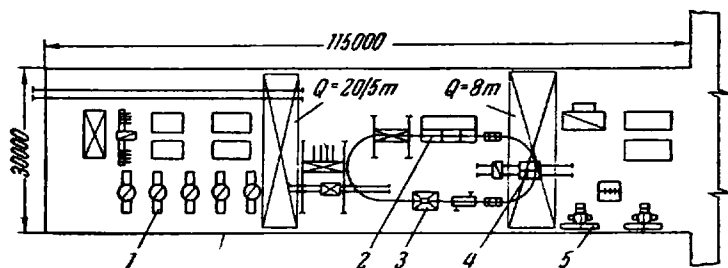
Для устранения прогиба пластин и слябов применяют правильный пресс усилием 12 Мн (1200 тс). После правки заготовки основного слоя фрезеруют с одной стороны на глубину до 10 мм на фрезерных станках, а затем укладывают обработанной поверхностью вверх на стеллаж-

тележку. На нижние слябы укладывают упорные прокладки и предварительно приваривают их электросваркой. Окончательное прикрепление сплошным герметичным швом упорных прокладок к нижнему слябу пакета производят сварочным трактором АДС-1000-2.

Последующую обработку слябов — обезжиривание, промывку и сушку производят в камере в положении «на ребро». Перед сборкой слябы хранят под колпаками.

Пластины плакирующего слоя со стеллажа кранораскладчиком укладывают на тележку и на одну их поверхность наносят слой разделительной обмазки. После сушки обмазки пластины обрабатывают в дробеструйной камере для обеспечения соответствующей чистоты и шероховатости поверхности перед металлизацией.

Для улучшения сцепления и предотвращения окисления контактных поверхностей после дробеструйной обработки на поверхности пластин



Р и с. 467. Пакетосборочное отделение:

1 — участок фрезеровки слябов; 2 — линия обезжиривания слябов;
3 — установка для металлизации пластин; 4 — участок для сборки пакетов; 5 — участок сварки пакетов

наносит никелевый подслоя при помощи металлизационных газовых аппаратов. Толщина покрытия равна 40 мкм.

Слябы и пластины с обработанными поверхностями передают к передвижному кантователю, на котором производят сборку пакетов в следующем порядке: нижний сляб устанавливают на наклонные рычаги передвижного кантователя, на него укладывают две пластины плакирующего слоя с разделительной обмазкой, затем верхний сляб обработанной поверхностью к пластинам. Собранный пакет устанавливают в горизонтальное положение и передают к гидродомкрату, где его сдавливают усилием 200 кН (20 тс), а затем сваривают по периметру сплошным герметичным швом на сварочном автомате. Готовые пакеты маркируют (на верхнюю и нижнюю стороны пакета наносят номер плавки, марки сталей) и передают на весы. После взвешивания пакеты укладывают на складе слябов.

Нагрев и прокатку пакетов осуществляют по двум вариантам:

1. В нагревательных колодцах блюминга пакеты устанавливают вертикально. Температура камеры равна 1300 °С при томлении. После прокатки на блюминге с обжатиями, несколько меньшими, чем при прокатке слитков, слябы разрезают на мерные длины и в горячем состоянии передают в методические печи листового стана. Температура посадки равна 900—950 °С. Режим нагрева в методических печах: температура сварочной зоны 1280—1320 °С, томильной зоны 1240—1270 °С, продолжительность нагрева определяется из расчета 0,9 мин на 1 мм толщины сляба-пакета.

Прокатку на двухклетевом стане 2800 осуществляют так. Сначала два прохода в клетях дуо, затем сляб-пакет кантуют на 90° и прокатыва-

ют в поперечном направлении до получения необходимой ширины, далее следует кантовка на 90° и прокатка в продольном направлении. После прокатки в клети дуо раскат передают в клеть кварто, где производят прокатку на заданную толщину.

2. Нагрев, прокатку и охлаждение пакета осуществляют по технологии, применяемой для углеродистой толстолистовой стали. При этом продолжительность нагрева пакетов в сварочной зоне методической печи принимают на 30—40% больше, чем при нагреве таких же сечений слэбов углеродистой стали. В первом проходе обеспечивают максимальное обжатие для увеличения прочности сцепления слоев.

Отделку двухслойных листов производят в отделениях отделки листопрокатных цехов или в специальных отделениях для биметаллических листов. В первом случае термическую обработку биметаллических листов осуществляют в проходных роликовых печах, причем двухслойные листы с плакирующим слоем из сталей X18H10T, X17H13, M2T и X17H13M3T подвергают нормализации, а листы с плакирующим слоем из стали 0X13 — нормализации с последующим отпуском. Нагрев для нормализации ведут при температуре печи 980°C (температура металла $940\text{—}950^\circ\text{C}$), охлаждение листов — под вентилятором. Отпуск осуществляют при 700°C . Биметаллические листы подвергают правке в холодном состоянии. Концы и боковые кромки обрезают на гильотинных ножницах. После обрезки раскат разделяют на два двухслойных листа. Готовые листы осматривают, маркируют и отгружают потребителю.

Во втором случае отделение для отделки биметаллических листов имеет механизмы, предназначенные только для отделки двухслойных листов (рис. 468). Термическую обработку раскатов осуществляют до обрезки кромок, что предотвращает коробление раскатов в печи. Травление, промывку, сушку, осмотр, зачистку, сортировку, маркировку и взвешивание двухслойных листов производят по схемам, принятым при обработке качественной листовой стали.

Примером трехслойной листовой стали является листовая сталь для отвалов плугов. Она состоит из мягкого среднего слоя (низкоуглеродистая сталь МСт. 2) и твердых наружных слоев (сталь 60). Исходным материалом является трехслойный слиток, полученный заливкой стали 60 в изложницу с установленной в нее пластиной из стали МСт. 2. Ширина пластины на 50 мм меньше ширины изложницы. Чтобы обеспечить удовлетворительное сцепление слоев биметалла при прокатке, необходимо равномерный нагрев слитков по сечению. Прокатку в первых проходах ведут с более интенсивным обжатием, чем при прокатке слитков низкоуглеродистой стали.

При современном производстве биметаллической проволоки стальной сердечник покрывают медью заливкой в специальной непрерывной автоматической линии. Стальной сердечник подвергают механической очистке, калибровке, электронагреву и затем заливают медью. Обрезку и сварку концов стального сердечника в непрерывную нить производят автоматически. После заливки меди биметаллическую круглую заготовку прокатывают на стане. Для прокатки применяют универсальную калибровку (квадрат—восьмигранник—круг), обеспечивающую круглую форму сердечника и равномерное распределение слоя меди на нем.

В некоторых случаях стальную проволоку покрывают слоем меди непосредственно после волочения. Нанесение медного покрытия на стальную проволоку, предназначенную для изготовления телефонного провода, осуществляют на специальных установках непрерывного действия длиной 18 м. Сердечник диаметром 0,84 мм изготавливают из стали с содержанием 0,65—0,75% С на волочильном стане. Затем его подвер-

гают очистке от масла и загрязнений, оставшихся после волочения, в ванне с горячим щелочным раствором, травлению в растворе серной кислоты для удаления окалина и окислов. Шероховатая поверхность, получающаяся после травления, способствует лучшему сцеплению стали с медным покрытием, которое наносится электролитически.

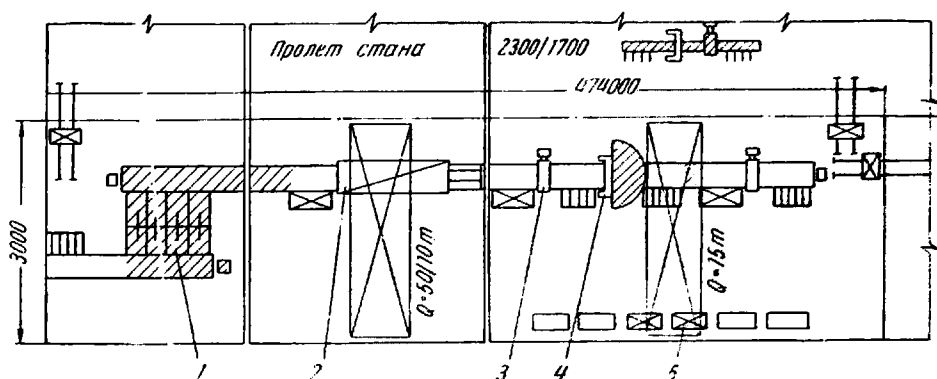


Рис. 468. Отделение отделки биметаллических листов стана 2300/1700:
1 — шлеллер; 2 — проходная печь; 3 — правильная машина; 4 — ножницы; 5 — коллаковая печь

После нанесения покрытия слой меди оплавляют, для этого проволоку нагревают переменным током и охлаждают в воде. Оплавление производят в защитной атмосфере для предотвращения окисления ме-

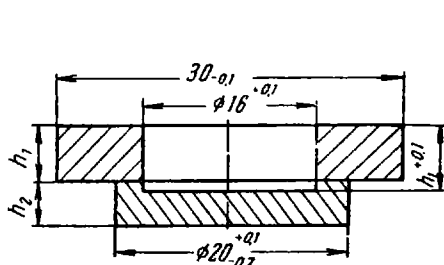


Рис. 469. Образцы для испытания прочности сцепления на отрыв компонентов биметалла

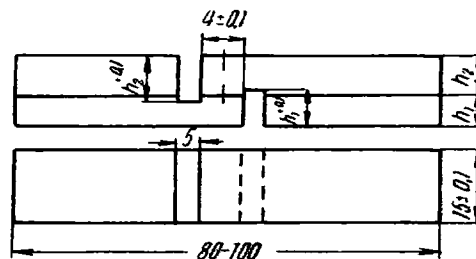


Рис. 470. Образцы для испытания прочности сцепления на срез компонентов биметалла

ди. Затем наносят тонкий слой свинца и гонкий слой латуни, толщина этих слоев составляет несколько микрон.

При контроле технологического процесса биметалла проверяют состояние контактных поверхностей компонентов биметалла перед сборкой пакетов, правильность геометрических размеров заготовок и соблюдение точности сборки пакетов или изготовления биметаллических слитков, температурный режим обработки биметалла, режим прокатки и отделки биметалла.

После прокатки и отделки биметаллических изделий осуществляют механические испытания на прочность сцепления компонентов, контроль макро- и микроструктуры биметалла и зоны контакта его составляющих, проверку правильности геометрических размеров испытания антикоррозионных свойств биметалла.

Прочность сцепления компонентов биметалла на отрыв определяют, применяя специально изготовленные образцы (рис. 469). Испытания

прочности на срез проводят на образцах с пазами (рис. 470), размеры и форма образцов установлены ГОСТ 10885—64. Для испытания прочности сцепления применяют и методы кручения и переменного изгиба образцов. При раскручивании или выпрямлении образцов, имеющих дефекты соединения, неизбежно возникают расслоения.

Толщину слоя биметалла определяют на контрольных образцах после шлифовки и травления торцовых поверхностей, используя обычные измерительные приборы, а в случае малой толщины слоев — под микроскопом. Применяют также и различные приборы для измерения толщины покрытий.

Для контроля качества соединения применяют ультразвуковой метод, шевинг-процесс и пробу на «пузыри».

Методом ультразвуковой дефектоскопии качество сцепления определяют без разрушения биметаллического изделия. Однако этим методом определяют лишь крупные расслоения.

При применении шевинг-процесса производят строгание металла поперек толщины. В случае достаточной прочности сцепления компонентов стружка не имеет излома в зоне контакта.

Пробу на пузыри применяют при испытании двухслойной нержавеющей коррозионностойкой и кислотоупорной сталей. В этом случае плакирующий слой нагревают кислородно-ацетиленовой горелкой; вследствие разницы в коэффициентах линейного расширения слоев при наличии дефектов (расслоений) на поверхности биметалла образуются пузыри.

Для оценки физико-механических свойств биметаллических изделий применяют и обычные методы испытаний материалов — механические испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, удар, выносливость, длительную прочность, ползучесть, коррозионную устойчивость и т. д.

Литература

I. Основная

1. Бахтинов Б. П., Штернов М. М. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1953.
2. Данилов Ф. А. и др. Горячая прокатка труб. Металлургиздат, 1962.
3. Зарошинский М. Л. Технологические основы проектирования прокатных станов. Металлургиздат, 1962.
4. Королев А. А. Механическое оборудование прокатных цехов. Металлургиздат, I изд. 1959, II изд. 1965.
5. Литовченко Н. В. и др. Калибровка валков сортовых станов. Металлургиздат, 1963.
6. Павлов И. М. Теория прокатки. Металлургиздат, 1950.
7. Полухин П. И., Федосов Н. М., Королев А. А., Матвеев Ю. М. Прокатное производство. Металлургиздат, 1960.
8. Чемкарев А. П. и др. Теория продольной прокатки. Изд-во Харьковского университета, 1965.
9. Целиков А. П. Основы теории прокатки. Изд-во «Металлургия», 1965.
10. Прокатное производство. Справочник, т. I, II, Металлургиздат, 1962.

II. Теория прокатки, калибровка и расчет прокатных станов

1. Бровман М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. Изд-во «Металлургия», 1965.
2. Выдрин В. Н. Динамика прокатных станов. Металлургиздат, 1960.
3. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. Изд-во «Металлургия», 1967.
4. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов, т. I—III. Металлургиздат, 1960.
5. Гуревич А. Е., Рокотян Е. С. Методы исследования прокатных станов. Металлургиздат, 1957.
6. Зайков М. А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке. Металлургиздат, 1960.
7. Зюзин В. И. и др. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. Изд-во «Металлургия», 1964.
8. Кириллов П. Г. Теория обработки металлов давлением. Изд-во «Высшая школа», 1965.
9. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г. Основы физико-химической теории обработки металлов давлением. Машгиз, 1960.
10. Королев А. А. Новые исследования деформации металла при прокатке. Машгиз, 1953.
11. Королев А. А. Прокатные станы. Конструкция и расчет. Машгиз, 1958.
12. Королев А. А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов. Атлас. Металлургиздат, 1963.

13. Крейндлиг Н. Н. Расчет обжатий при прокатке цветных металлов. Металлургиздат, 1963.
14. Одинг И. А. Теория дислокаций в металлах и ее применение. Изд-во АН СССР, 1959.
15. Павлов И. М. Теория прокатки и основы пластической деформации, ГОНТИ, 1938.
16. Перлин И. Л. Теория волочения. Metallurgizdat, 1957.
17. Северденко В. П. Теория обработки металлов давлением. Изд-во «Высшая школа», 1966.
18. Смирнов В. С. Теория прокатки. Изд-во «Металлургия», 1967.
19. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. Изд-во «Высшая школа», 1963.
20. Суворов И. К. Обработка металлов давлением. Изд-во «Высшая школа», 1964.
21. Гарновский И. Я. и др. Теория обработки металлов давлением. Metallurgizdat, 1963.
22. Томленов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. Машгиз, 1963.
23. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Изд-во «Металлургия», 1964.
24. Унксов Е. П. Инженерная теория пластичности. Машгиз, 1959.
25. Целиков А. И., Смирнов В. В. Прокатные станы. Metallurgizdat, 1958.
26. Целиков А. И. Прокатные станы. Metallurgizdat, 1946.
27. Целиков А. И. Теория расчета усилий в прокатных станах. Metallurgizdat, 1962.
28. Чижииков Ю. М. Прокатное производство. Metallurgizdat, 1958.
29. Чижииков Ю. М. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов. Изд-во «Металлургия», 1965.
30. Чижииков Ю. М. Прокатываемость стали и сплавов. Metallurgizdat, 1961.
31. Чижииков Ю. М. Моделирование процесса прокатки. Metallurgizdat, 1963.
32. Сб. «Материалы по теории прокатки». Metallurgizdat, I, II, 1934; ч. III, 1941; ч. IV, 1948; ч. V, VI, 1960.
33. Сб. «Обработка металлов давлением». Metallurgizdat, вып. III, 1953; вып. IV, 1956.
34. Geleji A. Bildsame formung der Metalle in rechnung und versuch, Akademie — Verlag, Berlin, 1961.
35. Underwood L. R. The rolling of Metals, v. 1, London, 1952.

III. Прокатка блюмов, слябов и заготовки

1. Аксельруд Л. Г., Сухов И. И. Нагревательные колодцы. Metallurgizdat, 1962.
2. Бойченко М. С. и др. Непрерывная разливка стали. Metallurgizdat, 1961.
3. Зарошинский М. Л. Прокатка стали. Metallurgizdat, 1948.
4. Королев А. А. и др. Блюминг 1000. Машгиз, 1955.
5. Королев А. А. Зарубежные прокатные станы. Машгиз, 1958.
6. Краузе Г. Н. Оборудование прокатных станов. Машгиз, 1963.
7. Гарновский И. Я. и др. Прокатка на блюминге. Metallurgizdat, 1963.
8. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. Metallurgizdat, 1950.
9. Трофимчук В. Д. Дефекты прокатной стали. Metallurgizdat, 1954.
10. Тягунов В. А. Режимы прокатки на реверсивных станах. Metallurgizdat, 1954.
11. Достоевский Б. Г. Огневая зачистка стали. Metallurgizdat, 1950.
12. Целиков А. И. и др. Прокатка стали. Metallurgizdat, 1943.
13. Швейкин В. В., Тягунов В. А. Технология прокатного производства. Metallurgizdat, 1956.

IV. Прокатка рельсов, сортовых профилей и проволоки

1. Амчиславский Н. В., Павловский С. И. Отделка и сортировка металла. Металлургиздат, 1956.
2. Демченко Л. Т. и др. Механическое оборудование непрерывных мелкосортных и проволочных станов. Изд-во «Металлургия», 1965.
3. Жадаи В. Т., Стефанов В. Е. Сб «Новые процессы прокатки металлов и сплавов» (МИСвС), XLIII. Изд-во «Металлургия», 1966.
4. Касьянов С. Ф., Трунцев Д. С. Механизация отделки проката. Металлургиздат, 1955.
5. Нефедов А. А., Гетманец В. В. Производство катанки. Металлургиздат, 1963.
6. Победин И. С., Дрозд В. Г. Производство сортовой стали. Металлургиздат, 1962.
7. Полухин П. И. и др. Прокатка и термическая обработка железнодорожных рельсов. Металлургиздат, 1962.
8. Протасов А. А. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1963.
9. Стефанов В. Е., Протасов Н. Ф., Сталь, 1963, № 8, с. 540.
10. Тришевский И. С. Проводки прокатных станов. Металлургиздат, 1957.
11. Филиппов И. Н. и др. Атлас калибровок валков прокатных станов Изд ЦИИН ЧМ, 1965.
12. Филиппов С. Н. Настройка прокатных станов. Металлургиздат, 1951.
13. Чекмарев А. П. Точная прокатка. Металлургиздат, 1952.
14. Чекмарев А. П., Майзлия Ю. Ш. Автоматические обводные аппараты. Изд-во АН УССР, 1952.
15. Чекмарев А. П. и др. Прокатка на мелкосортных станах. Изд-во «Металлургия», 1967.
16. Чекмарев А. П., Машковцев Р. А. Износ прокатных валков. Металлургиздат, 1955.
17. Чекмарев А. П., Чернобривенко Ю. С. Роликовая арматура прокатных станов. Металлургиздат, 1964.
18. Шум Б. М. Арматура рельсобалочных и крупносортовых станов. Металлургиздат, 1956.
19. Шуралев М. В., Скорняков В. Б. Отделка проката. Металлургиздат, 1962.
20. Юхвец И. А. Волоочильное производство. Металлургиздат, ч. I, 1954; ч. II, 1960.

V. Горячая и холодная прокатка листов

1. Антонов С. П. и др. Холодная прокатка жести. Изд-во «Металлургия», 1965.
2. Аркулис Г. Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. Изд-во «Металлургия», 1964.
3. Астров Е. И. Плакирование многослойных металлов. Изд-во «Металлургия», 1965.
4. Айзенкольб Ф. Листовая сталь для глубокой вытяжки. Металлургиздат, 1958.
5. Бельский Б. Э. Производство горячекатаного листа. Металлургиздат, 1953.
6. Виткин А. И. Производство электролитической луженой жести. Металлургиздат, 1959.
7. Бринза В. Н., Кошка А. П. Повышение производительности станов холодной прокатки. Изд-во «Металлургия», 1965.
8. Жетвин Н. П. и др. Удаление окалины с поверхности проката. Металлургиздат, 1957.
9. Когос Л. М. Механическое оборудование волоочильных и лентопркатных цехов. Изд-во «Металлургия», 1964.
10. Ксензук Ф. А., Трощенко Н. А. Прокатка и отделка полосовой нержавеющей стали. Металлургиздат, 1963.

11. Ларке Е. К. Прокатка листового и полосового металла, перев. с англ. Металлургияиздат, 1959.
12. Ледков В. Г. Непрерывные травильные линии. Металлургияиздат, 1961.
13. Липухин В. А. Листопрокатное производство в капиталистических странах. Изд-во «Металлургия», 1964.
14. Литовченко Н. В. и др. Производство толстолистовой стали. Изд-во «Металлургия», 1964.
15. Литовченко Н. В. Горячая прокатка толстых и средних листов. Металлургияиздат, 1955.
16. Макагон В. Г., Бурьянов В. Ф. Непрерывные широкополосные станы горячей прокатки. Металлургияиздат, 1963.
17. Михеев В. А., Павлов А. М. Гидросбив окалины в прокатных цехах. Изд-во «Металлургия», 1964.
18. Полухин П. И. и др. Тонколистовая прокатка и служба валков. Изд-во «Металлургия», 1968.
19. Полухин В. П. Сталь, 1964, № 2, с. 145—148.
20. Понасенко Ф. Л. Производство холоднокатаной листовой стали. Металлургияиздат, 1963.
21. Понасенко Ф. Л. Прокатка и термическая обработка толстых листов. Металлургияиздат, 1959.
22. Петров А. С., Карманов А. И. Производство валков холодной прокатки. Металлургияиздат, 1962.
23. Сафьян М. М. Горячая прокатка листов на непрерывных и полунепрерывных станах. Металлургияиздат, 1962.
24. Суяров Д. И., Бениковский М. А. Качество тонких стальных листов. Металлургияиздат, 1964.
25. Терентьев В. С., Цалюк М. Б. Аджюстаж тонколистовых станов. Металлургияиздат, 1961.
26. Третьяков А. В. Прокатка тончайшей ленты. Металлургияиздат, 1957.
27. Третьяков А. В. Теория, расчет и исследование станов холодной прокатки. Изд-во «Металлургия», 1966.
28. Третьяков А. В. и др. Температурный режим работы валков. Изд-во «Металлургия», 1964.
29. Тягунов В. А. Рациональная калибровка листовых станов. Металлургияиздат, 1949.
30. Шефтель Н. И. Холодная прокатка листовой стали. Изд-во «Металлургия», 1966.
31. Сб. «Производство крупных машин», вып. 6. Прокатное производство. Изд-во «Машиностроение», 1965.

VI. Производство труб и специальных профилей

1. Агре В. Л., Ваткин Ю. Я. Стальные трубы. Металлургияиздат, 1961.
2. Альшевский Л. Е. Тяговые усилия при холодном волочении труб. Металлургияиздат, 1952.
3. Астров Е. И. Плакированные многослойные металлы. Изд-во «Металлургия», 1965.
4. Голованенко С. А., Меандров Л. В. Производство биметаллов. Изд-во «Металлургия», 1966.
5. Бень Т. Г. Экономичные профили проката. Металлургияиздат, 1963.
6. Биск М. Б., Швейкии В. В. Волочение труб на самоустанавливающейся оправке. Металлургияиздат, 1963.
7. Борисов С. И. Производство труб на автоматических и пилигримовых станах. Металлургияиздат, 1959.
8. Ваткин Я. Л. и др. Бесшовные трубы. Металлургияиздат, 1963.
9. Давыдов В. М., Максакон М. П. Производство гнутых тонкостенных профилей. Металлургияиздат, 1959.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
97	5 св.	на рис. 60 и 61 приведены	строят
98	1 сн.	b_p	$b_{кв}$
99	2 св.	h_p	$h_{кв}$
165 и 171	Рисунки 118 и 123 поменять местами (без подписей).		

Заказ 1509

10. Ермолаев Н. Ф. Механическое оборудование трубных цехов. Металлургиздат, 1953.
11. Жуковский Б. Д. и др. Производство труб электросваркой методом сопротивления. Metallurgizdat, 1953.
12. Кофф З. А. и др. Холодная прокатка труб. Metallurgizdat, 1962.
13. Матвеев Ю. М., Кричевский М. Я. Отделка труб. Metallurgizdat, 1953.
14. Матвеев Ю. М. Сварные трубы. Metallurgizdat, 1950.
15. Озоль В. Л., Марцинчик Ф. Б. Механизация и автоматизация трубных цехов. Изд-во «Металлургия», 1964.
16. Орро П. И., Осада Я. Е. Производство стальных тонкостенных бесшовных труб. Metallurgizdat, 1951.
17. Северденко В. П., Федоров Л. И. Прокатка в машиностроении. Минск, 1959.
18. Смирнов В. С. и др. Поперечная прокатка в машиностроении. Машгиз, 1957.
19. Сб. «Высокоэкономичные гнутые профили проката». Изд-во «Металлургия», 1965.
20. Тришевский И. С. и др. Гнутые профили проката. Гостехиздат, 1963.
21. Фомичев И. А. Косая прокатка. Metallurgizdat, 1963.
22. Чекарев А. И. Прокатка экономичных профилей. Гостехиздат, 1963.
23. Шеваркин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. Metallurgizdat, 1963.
24. Шевченко А. А. Непрерывная прокатка труб. Metallurgizdat, 1954.
25. Шифрин М. Ю., Соломович М. Я. Производство цельнокатаных колес и бандажей. Metallurgizdat, 1954.
26. Шор Э. Р. Новые процессы прокатки. Metallurgizdat, 1959.
27. Шурупов Л. К., Фрейберг М. Л. Производство труб экономичных профилей. Metallurgizdat, 1963.

VII. По автоматизации и экономике прокатного производства

1. Афанасьев В. Д. и др. Электрооборудование предприятий черной металлургии. Metallurgizdat, 1963.
2. Бельгольский Б. П., Медведев И. Л. Экономика, организация и планирование прокатного производства. Metallurgizdat, 1963.
3. Беляковский М. А., Бровман М. Я. Применение тензометрии в прокатке. Изд-во «Металлургия», 1965.
4. Богачев А. М., Лямбах Р. В. Приборы автоматического контроля проката. Госэнергоиздат, 1962.
5. Бражников Н. В. Автоматизация доменного и прокатного производства. Metallurgizdat, 1962.
6. Дружинин Н. Н. Электрооборудование прокатных станов. Metallurgizdat, 1956.
7. Касьянов С. Ф. Механизация и автоматизация в черной металлургии. Metallurgizdat, 1963.
8. Кацнельсон Н. Г. и др. Автоматизация трубопрокатных станов. Metallurgizdat, 1963.
9. Левитанский Б. Л. Электрооборудование предприятий черной металлургии. Metallurgizdat, 1963.
10. Ломакин Н. Д. и др. Комплексная автоматизация обжимных станов. Изд-во «Металлургия», 1965.
11. Меерович И. М., Филатов А. С. Измерение усилий в прокатных станах. Metallurgizdat, 1963.
12. Челюсткин А. Б., Розенман Е. А. Автоматическое управление прокатными станами. Metallurgizdat, 1956.

ПОЛУХИН Петр Иванович, ФЕДОСОВ Наум Максимович,
КОРОЛЕВ Андрей Андреевич, МАТВЕЕВ Юрий Михайлович

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Редактор издательства В. М. Горобинченко

Технический редактор Л. В. Добужинская

Переплет художника Ю. И. Степанова

* *
*

Сдано в производство 14/II 1968 г. Подписано в печать
2/VIII 1968 г. Бумага № 2 типографская, 70×108¹/₁₆—21,13
бум. л.—59,15 печ. л. (усл.) 53,87 уч.-изд. л. Заказ 1509
Изд. № 4257 Т-11743 Тираж 11000 экз. Цена 2 р. 07 к.

* *
*

Издательство «Металлургия», Москва, Г-34, 2 Обыденский
пер., д. 14, Московская типография № 21 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Москва, 88, Угрешская, 12.