

**А. П. ЧЕКМАРЕВ, А. Ф. САМАРИН,  
П. Т. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, К. И. БУРЦЕВ**

# **КУРС ПРОКАТКИ**

**В СЖАТОМ ВИДЕ**

**ОНТИ**

**НКТП**

---

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО УНРАНИ**

А. П. ЧЕКМАРЕВ, А. Ф. САМАРИН,  
П. Т. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, К. И. БУРЦЕВ

# КУРС ПРОКАТКИ

В СЖАТОМ ВИДЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
ПРОФ. А. П. ЧЕКМАРЕВА

*Рекомендовано ГУУЗ'ом НКТП в качестве учебного пособия  
для металлургических и машиностроительных вузов*



ОНТИ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ  
Харьков

ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
1936

НКТП  
Киев

Библиографическое описание  
этого издания помещено в  
„Летопись Укр. печати“, „Кни-  
точный реперт.“ и других указ-  
ателях Укр. Книж. Палаты

55 — 5 — 2

Ответственный редактор проф. *Н. Ф. Лева*  
Литредактор *И. Ю. Берхин*  
Техоформление *Н. И. Соколовский*  
Корректор *С. М. Супрун*

Типография Государственного научно-технического издательства Украины.  
Киев, ул. Воровского, 42

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	5
§ 1. Введение . . . . .	6
<b>I глава. Пластическая деформация металлов. Процесс прокатки</b>	
§ 2. Природа пластической деформации . . . . .	12
§ 3. Внешние факторы пластичности металла . . . . .	16
§ 4. Основные виды процессов обработки металлов в пластическом состоянии . . . . .	19
§ 5. Прессование, ковка . . . . .	20
§ 6. Прокатка . . . . .	27
§ 7. Условия захвата болванки валками . . . . .	30
§ 8. Факторы, влияющие на захват . . . . .	33
§ 9. Методы экспериментального исследования процессов пластической деформации . . . . .	37
§ 10. опережение и попятное движение . . . . .	38
§ 11. Влияние уширения на опережение и попятное движение . . . . .	44
§ 12. Активный слой и стержень сопротивления . . . . .	45
§ 13. Определение величины опережения и попятного движения . . . . .	47
§ 14. Уширение металла при прокатке . . . . .	51
§ 15. Зависимость уширения от геометрических размеров прокатываемого металла . . . . .	53
§ 16. Зависимость уширения от коэффициента трения между металлом в валках и др. факторов . . . . .	55
§ 17. Определение величины уширения . . . . .	59
§ 18. Деформация металла при кривой вальцовке . . . . .	62
§ 19. Разрушение внутренней полости болванки . . . . .	66
§ 20. Скручивание болванки . . . . .	69
<b>II глава. Калибровка прокатных валков</b>	
§ 21. Принципы калибровки . . . . .	72
§ 22. Прокатка в блумингах . . . . .	74
§ 23. Калибровка валков блуминга американского типа . . . . .	78
§ 24. Калибровка валков блуминга европейского типа . . . . .	87
§ 25. О расположении калибров на валках . . . . .	90
§ 26. Прокатка квадратного и круглого железа. Деформация металла в овальных, квадратных, ромбических и круглых калибрах . . . . .	95
§ 27. Калибровка круглого железа . . . . .	101
§ 28. Калибровка проволоки . . . . .	103
§ 29. Калибровка квадратного железа . . . . .	108
§ 30. Прокатка в непрерывных станах . . . . .	112
§ 31. Калибровка непрерывно-заготовочного стана . . . . .	115
§ 32. Калибровка обжимных клетей трио . . . . .	120
§ 33. Прокатка полосового железа . . . . .	123
§ 34. Калибровка широких полос . . . . .	126
§ 35. Калибровка узких полос . . . . .	132
§ 36. Принципы прокатки и калибровки углового железа . . . . .	136
§ 37. Деформация металла при прокатке фланцевых профилей . . . . .	139
§ 38. Принципы калибровки фланцевых профилей . . . . .	144
§ 39. Калибровка двутавровой балки в стане дуо . . . . .	147
§ 40. Калибровка двутавровой балки в стане трио . . . . .	154
§ 41. Калибровка фланцевых профилей по методу Торкара . . . . .	157
§ 42. Прокатка и калибровка прочих профилей . . . . .	159
<b>III глава. Работа затрачиваемая при прокатке</b>	
§ 43. Хронометраж и графическое изображение процесса прокатки . . . . .	163
§ 44. Работа прокатки и ее графическое изображение . . . . .	165

45. Работа деформации металла . . . . .	167
46. Работа трения металла в валках . . . . .	176
47. Дополнительная работа трения вращающихся частей стана . . . . .	179
48. Работа холостого хода стана . . . . .	181
49. Статистические методы определения работы прокатки . . . . .	184
50. Принципы определения мощности станových двигателей . . . . .	189

#### **V. глава. Устройство и работа прокатных станов и их вспомогательного оборудования**

51. Схема устройства прокатного стана . . . . .	194
52. Классификация прокатных станов . . . . .	195
53. Рабочая клеть. Рабочие валки . . . . .	203
54. Материал валков . . . . .	207
55. Общее устройство рабочей клетки . . . . .	208
56. Ставины . . . . .	211
57. Нажимные и уравнивающие устройства . . . . .	218
58. Подшипники рабочих клеток прокатных станов . . . . .	227
59. Привод прокатного стана . . . . .	231
60. Шестеренные клетки . . . . .	233
61. Устройство фундаментов прокатных станов . . . . .	236
62. Проводки . . . . .	237
63. Сборка, настройка и перевалка валков . . . . .	240
64. Вспомогательные механизмы прокатных станов . . . . .	242
65. Механизмы, обслуживающие непосредственно прокатку . . . . .	243
66. Уборочные механизмы . . . . .	252
67. Режущие и отделочные механизмы . . . . .	258

#### **V глава. Организация и технология прокатных производств**

68. Структура прокатных цехов . . . . .	268
69. Принципы проектирования и организации работы прокатных цехов . . . . .	271
70. Технико-экономические показатели прокатного производства . . . . .	276
71. Показатели использования . . . . .	276
72. Коэффициенты расхода . . . . .	278

#### *Прокатка заготовок*

73. Бламинги . . . . .	279
74. Непрерывно-заготовочные станы . . . . .	282

#### *Сортное и проволочное прокатное производство*

75. Сортное прокатное и проволочное-прокатное производство . . . . .	286
76. Крупносортовые прокатные станы . . . . .	287
77. Среднесортные прокатные станы . . . . .	294
78. Мелкосортные прокатные станы . . . . .	297
79. Проволочные прокатные станы . . . . .	303

#### *Рельсопрокатное производство*

80. Рельсовое производство в СССР . . . . .	308
81. Служба и качество рельсов . . . . .	310
82. Пороки при изготовлении рельсов . . . . .	311
83. Пороки рельсов в службе . . . . .	314
84. Термическая обработка рельсов . . . . .	315
85. Рельсовый металл . . . . .	318
86. Рельсовые и рельсо-балочные прокатные станы . . . . .	320
87. Правка, отделка и осмотр рельсов . . . . .	324

#### *Листопрокатное производство*

88. Прокатка толстых и средних листов . . . . .	328
89. Прокатка тонко-листового железа . . . . .	333

#### *Производство труб*

90. Способ Эргардта . . . . .	340
91. Шведский процесс . . . . .	342
92. Маньесмановский способ . . . . .	344
93. Автоматический способ прокатки Штифеля . . . . .	347
94. Изготовление труб малых диаметров . . . . .	350
95. Отделочные устройства трубных цехов . . . . .	353
96. Сравнение способов изготовления бесшовных труб . . . . .	355
97. Сварные трубы . . . . .	357

## ПРЕДИСЛОВИЕ

До сих пор у нас совершенно нет учебников по общему курсу прокатки, в которых изучающий нашел бы в необходимом объеме все основные сведения по прокатному делу. Между тем, особая нужда в них возникает для металлургических вузов при прохождении имеющегося в учебных планах металлургических специальностей курса горячей обработки давлением. Лектор, читающий общий курс горячей обработки давлением, находится в чрезвычайном затруднении, ибо почти никакой подходящей учебной литературы он порекомендовать студентам не может. Имеющиеся книги по калибровке (Виноградова, Тафеля, Жеза) не соответствуют общему курсу прокатки, да и вообще страдают недостатками, как учебники. Учебники по теории пластической деформации при горячей обработке давлением (Павлова, Головина) для общего курса весьма обширны. По расходу энергии при прокатке имеется книга проф. Виноградова, но она не удовлетворяет требованию общего курса, так как объем ее велик для этого. Учебник Щировского „Конструкции прокатных станов и их оборудования“ для общего курса также слишком объемист. По изучению технологических процессов основных прокатных производств (заготовочного, рельсо-балочного, сортового, проволочного, листового и трубного) также нет пособий, пригодных для общего курса.

В результате такого положения, изучение общего курса прокатки до сих пор происходит „с языка“ или, в лучшем случае, по конспектам лекций. Попытка рекомендовать студентам изучать курс по многочисленным раздробленным (и притом неудовлетворительным как учебники) пособиям приводит обычно к громадной затрате студентами лишнего времени.

Указанные соображения заставили кафедру прокатки Днепропетровского металлургического института выпустить в виде учебника курс лекций, читаемых по прокатке черных металлов на металлургических специальностях института. Курс имеет 66 часов. Ввиду, однако, возможности расширения курса и в целях приспособления учебника для прокатной специальности, в книгу введен дополнительный материал, напечатанный частично петитом. При этом основной материал сохраняет полную цельность и может быть изучен без текста, напечатанного петитом.

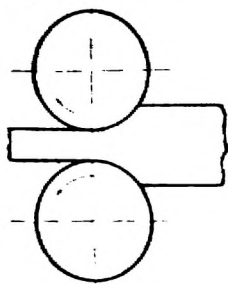
Составление учебника взяли на себя сотрудники кафедры: завед. кафедрой проф. А. П. Чекмарев, доц. А. Ф. Самарин, доц. П. Т. Емельяненко и ассист. К. И. Бурцев. Главы II и III целиком и § 68—87 включительно главы V написаны А. П. Чекмаревым; из главы V § 88, 89 и 97—А. Ф. Самарин, глава I и § 90—96 включительно главы V—П. Т. Емельяненко, глава IV—К. И. Бурцевым. Общая редакция принадлежит А. П. Чекмареву.

Делая попытку издания этого курса, авторы надеются, что учебник явится серьезным пособием при прохождении в металлургических вузах курса прокатки. Вместе с тем в курсе имеются, быть может, спорные вопросы, особенно в главе о теории прокатки, которые изложены авторами согласно их воззрениям.

*Редактор*

## ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Обработка металлов давлением в настоящее время получила *исключительно широкое распространение*. Способы обработки весьма разнообразны: прокатка, ковка, прессование, штампование, волочение. Применяются они в зависимости от необходимости получения того или иного конечного продукта и от экономичности способа. Наиболее экономически выгодным и технически единственно приемлемым для массового получения весьма широкого сортамента необходимых для нужд народного хозяйства изделий является бесспорно способ прокатки.



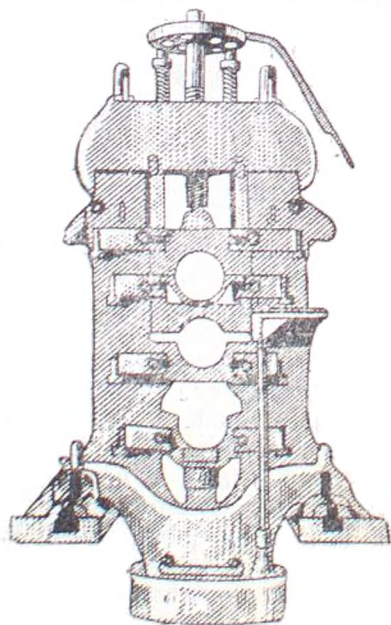
Фиг. 1. Схема прокатки металла между вальцами.

Ковка является наиболее древним способом обработки металлов; лишь в XVI столетии прибегли к холодной прокатке мягких цветных металлов, а затем к прокатке нагретых цветных и черных металлов и к комбинации прокатки с предварительной проковкой. Дальнейшее развитие машинной техники создало базу для развития прокатных станков, требующих мощных двигателей, и в XX век электричества и электродвигателей на основе полной электрификации прокатные станы получили свое дальнейшее развитие и глубокое усовершенствование.

При этом характерно, что принцип и схема устройства прокатного стана с давних времен его изобретения остались по сути неизменными до сих пор. Лишь видоизменялась и совершенствовалась конструкция прокатного стана и отдельных его частей. В области же вспомогательных устройств при прокатных станах мы имеем весьма большое количество нововведений, а также конструктивных усовершенствований.



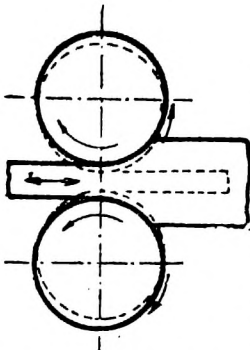
Фиг. 2. Прокатный рабочий валок.



Фиг. 3. Укрепление подшипников в прокатной станине.

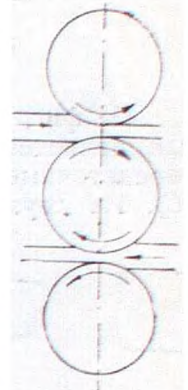
Идея прокатки заключается в уменьшении толщины (высоты) прокатываемого образца металла при пропуске его через вращающиеся навстречу друг другу валки (фиг. 1.). При этом давление валков на металл

должно быть достаточно для того, чтобы „прокатываемый“ металл деформировался не только упруго но и пластически, т. е. чтобы имели место пластические деформации. Необходимое при прокатке давление может быть создано тем, что валки, снабжаемые шейками (фиг. 2), закрепляются



Фиг. 4. Схема прокатки в дуо-реверсивном стане.

помощью подшипников (фиг. 3) в „станинах“ на таком расстоянии друг от друга, чтобы щель между вращающимися поверхностями валков была меньше, чем толщина задаваемого в валки образца металла. Захваченный благодаря трению о валки образец металла вытягивается между ними и при этом „обжимается“. Усилия от давления металла на валки, достигающие громадных величин в десятки и сотни тонн, передаются через шейки валков и подшипники в тело станин, соответствующим образом рассчитываемых на эти усилия. Чтобы возможно было изменять величину щели между валками, положение верхнего (или и верхнего и нижнего) валка может регулироваться

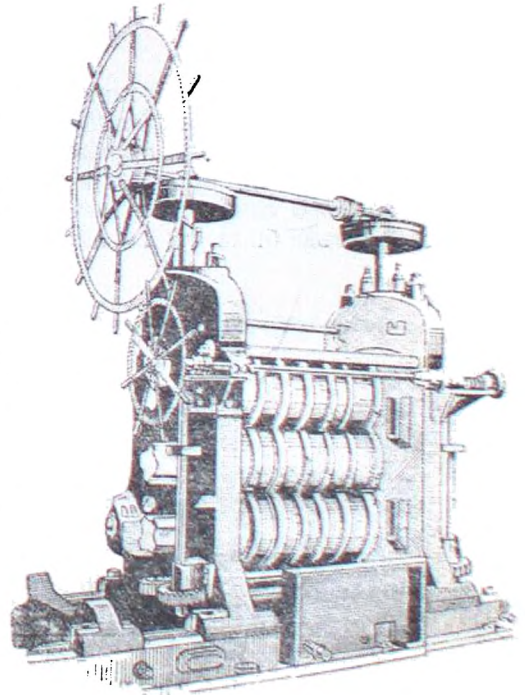


Фиг. 5. Схема прокатки в стане трио (веревреверсивном).

посредством подъема и опускания его подшипников. Давление их передается на „нажимной болт“, соответствующим опусканием или подъемом которого и достигается необходимая величина щели между валками, т. е. толщина выпускаемого из валков образца металла.

В качестве исходного продукта для прокатки применяются литые слитки, получаемые в сталеплавильных цехах. Для получения конечного требуемого изделия требуется не один, а несколько „пропусков“ слитка в валках, что может быть достигнуто или в валках системы „дуо“ (2 валка) при перемене направления их вращения (реверсировании) (фиг. 4) и уменьшении щели между валками, или в валках системы „трио“ (3 валка) без перемены направления их вращения (фиг. 5) и с уменьшением щели между валками.

Станины с рабочими валками и всеми сюда относящимися деталями носят название „рабочей клетки“ (фиг. 6). При большом количестве пропусков рабочих клеток обычно несколько. В них распределяются все необходимые пропуски. Число клеток достигает 5—10, а иногда 15—17. Постепенность получения конечного изделия



Фиг. 6. Рабочая клетка прокатного стана.

из начального сечения видна на фиг. 7, где представлены последовательные сечения при прокатке проволоки, и на фиг. 8, где представлены последовательные сечения при прокатке рельса. Для получения таких последовательных сечений в теле прокатных валков создаются вырезы, или

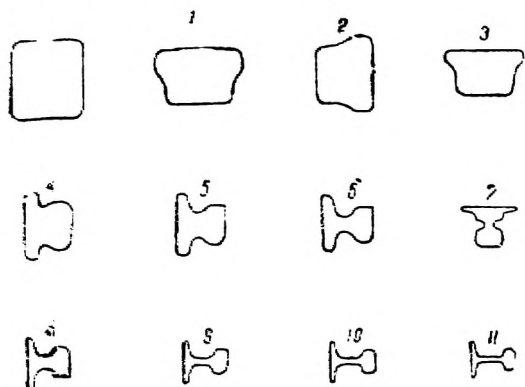


„калибры“, соответствующих формы и размеров. Система последовательных калибров носит название „калибровки“.



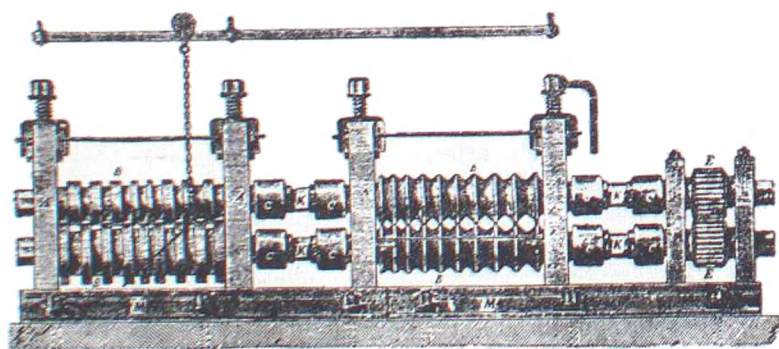
Фиг. 7. Последовательные сечения при прокатке проволоки.

На фиг. 9 представлен прокатный стан дуо в 2 рабочих клетки (В) для приведения во вращение валков служит шестеренная клетка (Е) и передаточные части: соединительные вальки (К) и соединительные муфты (С). Из двух шестерен (Е) одна имеет привод от двигателя стана, а вторая является приводной от первой. На фиг. 10 представлен прокатный стан трио. Привод рабочих валков осуществляется от двигателя также помощью одной из шестерен, две же других вращаются от первой. На фиг. 11 схематически изображен прокатный стан в 2 рабочих клетки с 1 шестеренной клетью. Здесь мы имеем одну „линию“, т. е. все клетки расположены по одной линии или оси. На фиг. 12 представлен стан в 2 линии и 5 клетей. Для привода каждой „линии“ имеется своя шестеренная клетка. На фиг. 13 представлен стан в 3 линии.



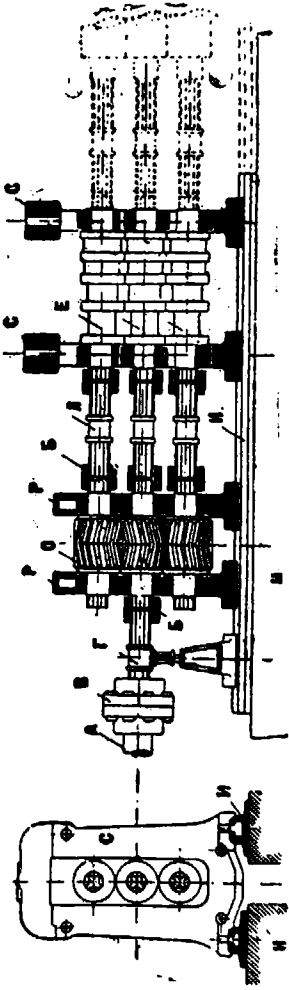
Фиг. 8 Последовательные сечения при прокатке рельса.

Разделение прокатного стана в линии делается для возможности постепенного повышения скорости прокатки (увеличения числа оборотов валков стана) по мере утонения прокатываемого слитка, дающего увеличение его длины. Конечный продукт в десятки, а иногда и сотни раз превышает длину начального слитка и прокатка короткой и длинной штук с одной и той скоростью была бы весьма нерациональна.

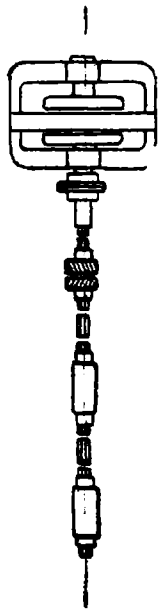


Фиг. 9. Дуо 2-клетьевого стан.

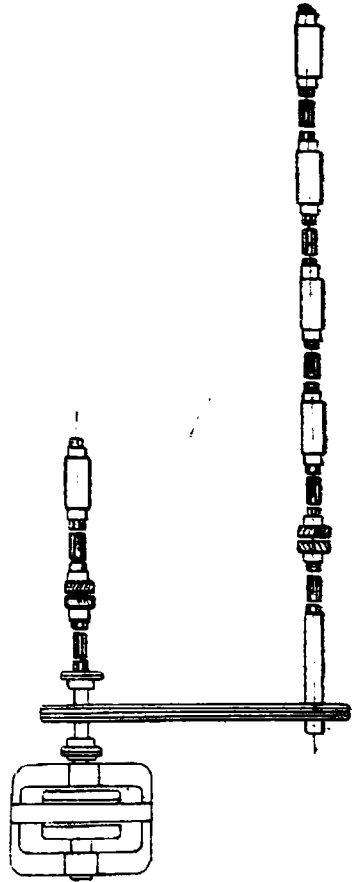
Ход технологического процесса прокатного производства вкратце таков (фиг. 14). Поступающие из сталеплавильного цеха или из прокатного заготовочного цеха слитки или заготовки загружаются в нагревательные печи (одну или несколько). Нагретые слитки выдаются из печи и обычно по рольгангу (система приводных роликов) направляются в первую клетку стана, называемого „обжимным“, где происходит уменьшение



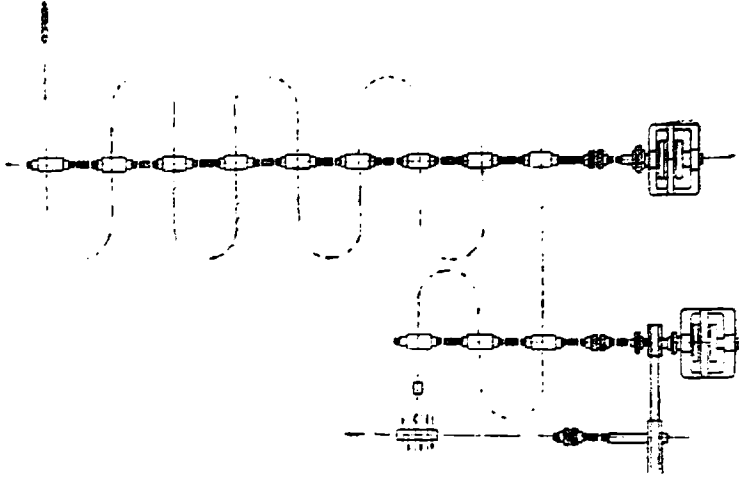
Фиг. 10. Прокатный стан трио.



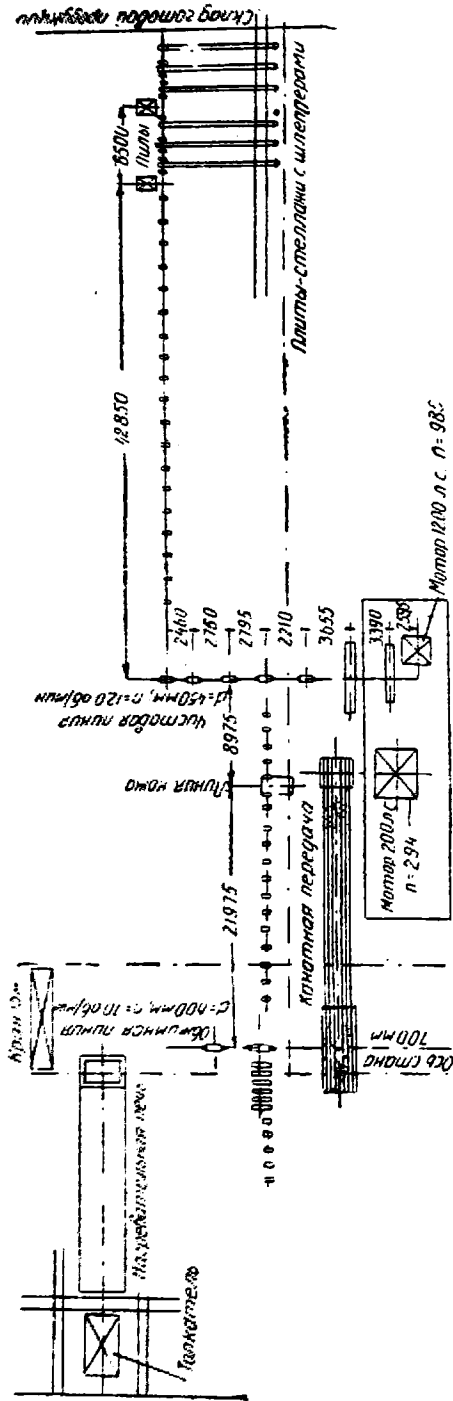
Фиг. 11. Прокатный стан в 1 линию и 2 рабочих клетки.



Фиг. 12. Прокатный стан в 2 линии и 5 рабочих клетей,



Фиг. 13. Прокатный стан в 3 линии и 13 рабочих клетей,



Фиг. 14. Схематический план прокатного цеха.

поперечного сечения слитка. Далее *полоса* передается в следующие „черновые“ клетки, где происходит *постепенное приближение формы металла к требуемой* и, наконец, прокатка заканчивается в „чистой“ (последней) клетке, из валков которой *выходит готовый „профиль“*. Отсюда и произошло название линий: *обжимная, черновая и чистовая*. Иногда эти линии не разделяются (на старых станах) или происходит не полное разделение: например, черновые и чистовая клетки совмещаются в одну линию (см. фиг. 14). Между линиями обычно происходит *разрезка „штуки“ на части и обрезка переднего и заднего концов* для более удобной из задачи в валки. Для этой цели служат *ножи*, имеющие или самостоятельный привод, или привод от вала стана. По выходе из последней клетки прокатанное изделие обычно *в горячем еще виде разрезается на части требуемой длины*, для чего служат *пилы с быстро вращающимися зазубренными дисками*. Для быстрой передачи прокатываемых „штуков“ от одной клетки к другой и из одного пропуска в следующий применяются *подъемно-передающие устройства*, к числу которых относятся „подъемные столы“, *рольганги шлеппера* и т. п. Передача более мелких сечений производится с помощью *желобов, обводок* и т. п. После разрезки под пилой изделия поступают на *горячие стеллажи*, где они остывают, и затем идут в *холодную отделку, правку, фрезеровку торцов* и т. п. Мелкие изделия (мелкосортное железо) обычно не подвергается холодной отделке и резка его может происходить не под пилой, а под *прессом* или ножом, специально для этого приспособленным. Последним этапом прокатного производства является *осмотр изделий и механические испытания образцов из них*, после чего *годные изделия погружаются в вагоны и отправляются по назначению, а бракованные поступают в переплавку или назначаются на неответственную службу*.

Исходя из процесса прокатного производства, изучение его должно складываться из изучения *нагрева металла и теории деформации металла в валках при прокатке*, на основе которой изучается *калибровка прокатных валков и расчет расхода энергии*, потребной для прокатных двигателей (составляющей наибольшую величину в потреблении энергии на металлургическом заводе). Далее, изучению подлежат *конструкции устройств прокатных цехов*. В заключение на основе предыдущего необходимо изучение, хотя бы весьма схематическое, *технологических процессов прокатного производства*, которые иногда весьма существенно друг от друга отличаются в зависимости от рода прокатываемой продукции.

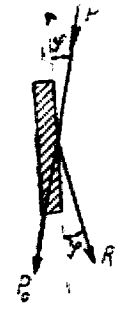
К числу *основных прокатных производств* должны быть отнесены производства *обжимное или заготовочное, рельсо-балочное, сортовое и проволочное, листовое, трубное*. Нагрев металла и изучение нагревательных печей является предметом отдельного курса печей; предлагаемым же курсом прокатки охвачены перечисленные выше разделы, относящиеся к собственно прокатному делу.

---

## ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ. ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ

### § 2. Природа пластической деформации

Если под *упругой деформацией* понимают такое изменение формы или расположения частиц тела под действием внешнего усилия, которые при прекращении действия последнего исчезают, т. е. когда тело *принимает свою первоначальную форму* и все частицы возвращаются в свое исходное положение, то характерным признаком *пластической деформации* будет *сохранение формы, приданной действием внешней силы достаточной величины и после прекращения действия силы*, т. е. когда частицы тела уже не возвращаются в свое первоначальное положение. Такого рода определения упругой и пластической деформации являются определениями поверхностного наблюдателя, ничего не говорящими о самой природе, самом *механизме протекания деформации*. До тех пор, пока наука не достигла более или менее совершенного понимания строения материи, отличия в структуре тел при разных их состояниях, все теории деформации тел не выходили из области гипотез. Последние достижения физических наук дали в этом направлении очень много материала, который при надлежащей обработке и увязке с данными практики может служить основой для более или менее глубокого понимания процессов деформации тел, в частности металлов. Не вдаваясь в детали, относящиеся к областям физико-химии и рентгенографии, здесь мы будем пользоваться непосредственно определенными ими данными.



Фиг. 15. Отклонение рентгеновских лучей, пропущенных через пластинку кристаллического тела.

Наиболее характерным признаком твердого тела служит *правильное расположение его частиц (атомов, молекул, ионов) в пространстве*, которое образует так называемую *пространственную решетку*. Действительность существования таких пространственных решеток, отличных по форме или по размерам для каждого кристаллического вещества, подтверждается данными рентгенографического анализа.

Существующие различные методы рентгенографического анализа (разработанные Laue, Bragg'ами, Debye-Scherrer'ом<sup>1</sup>, сводятся все в основном к следующему. Если через пластинку кристалла пропустить рентгеновские лучи определенной длины волны (фиг. 15), то они будут отклоняться на углы, определяемые по формуле для дифракционной решетки

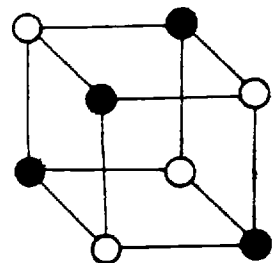
$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{2d},$$

где  $\varphi$  — угол отражения луча длины волны  $\lambda$  при отражении от решетки с расстоянием элементов  $d$ . Отражения при этом получают первого,

<sup>1</sup> Подробно описаны в книгах Браттов „Рентгеновские лучи и строение кристаллов“ и их же „Введение в анализ кристаллов“.

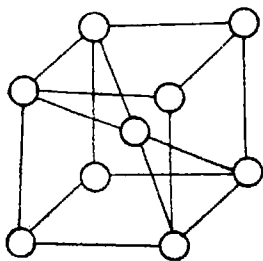
второго, ...,  $n$ -того порядка. На фотографической пластинке при этом получаются пятна, по расположению которых и судят на основании подсчетов о форме и размерах решетки. Путем такого рода рентгеновского анализа было обнаружено существование в кристаллических веществах целого ряда типов решеток. Как наиболее простую, можно привести решетку NaCl, элементарный куб которой показан на фиг. 16.

Большинство металлов имеют правильные пространственные решетки, обыкновенно *кубической системы*, при чем их кристаллическое строение характерно тем, что вещество состоит не из одной, как NaCl, а из нескольких пространственных решеток, вставленных друг в друга в определенном порядке. Для примера можно взять структуру  $\alpha$ -железа, характеризующуюся двумя кубическими решетками, расположенными друг относительно друга таким образом, что вершины кубов одной решетки находятся в центрах кубов другой.



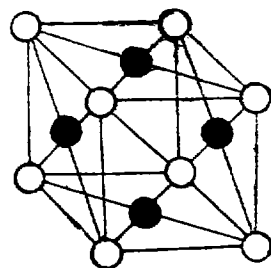
Фиг. 16. Кубическая решетка NaCl.

Если теперь рассматривать один какой-либо пространственный куб, то окажется, что он состоит из обыкновенного куба с добавочным атомом в его центре. Поэтому такой тип решеток называют *центрированным кубом* (фиг. 17). Наиболее распространенным типом решетки металлов является *куб с центрированными гранями* (фиг. 18). Система этих кубов представляет собой четыре простые кубические решетки, вставленные друг в друга таким образом, что вершины кубов одной решетки занимают центры граней других. Элементами решетки металлов являются отдельные атомы, валентные электроны которых очевидно могут свободно перемещаться внутри между узлами решетки. Этим свойством и можно



Фиг. 17. Решетка центрированного куба.

объяснить, между прочим, большую электропроводность и другие свойства характерные для металлов. Поэтому такие решетки и называют *металлическими* или *атомными*. Вообще, по современным понятиям, все различия в физических свойствах веществ определяются в основном особенностями в их пространственных решетках.



Фиг. 18. Решетка куба с центрированными гранями.

Ко всему этому следует еще заметить, что атомы или ионы пространственной решетки не находятся в статическом равновесии, т. е. не лежат неподвижно каждый на своем определенном месте, в узле решетки, как это было представлено для упрощения на схемах (фиг. 16, 17, 18), а все время находятся в непрерывных колебательных движениях около точек равновесия. *Амплитуда колебаний зависит от температуры тела.*

Расстояния между этими точками равновесия, или, иначе говоря, величины ребра кубов (параметр решетки) являются величинами *вполне определенными* для каждого металла при данной температуре. С помощью рентгеновского анализа было установлено, что следующие металлы<sup>1</sup> имеют пространственные решетки в виде кубов с центрированными гранями (кубическая решетка с атомами, расположенными по углам куба и в центрах всех граней, как на фиг. 18). Параметр решетки, т. е. расстояния между вершинами углов, равны для Cu —  $3,61 \cdot 10^{-8}$  см, Al —  $4,07 \cdot 10^{-8}$  см,

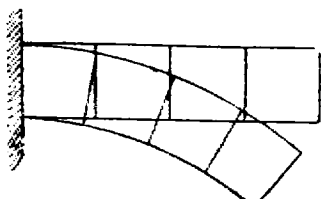
<sup>1</sup> Tamman, Lehrbuch der Metallographie.

Pb —  $4,91 \cdot 10^{-8}$  см, Ag —  $4,08 \cdot 10^{-8}$  см,  $\alpha$  и  $\beta$  Ni —  $3,58 \cdot 10^{-8}$  см, Th —  $5,12 \cdot 10^{-8}$  см, Au —  $4,07 \cdot 10^{-8}$  см,  $\alpha$ -Co —  $3,57 \cdot 10^{-8}$  см,  $\gamma$ -Fe —  $3,60 \cdot 10^{-8}$  см.

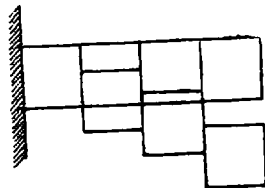
Все частицы решетки (ионы, атомы, молекулы) связаны между собой силами электрического характера. На каждую частицу действуют одновременно силы отталкивания и притяжения соседних частиц, которые и предохраняют решетку от самопроизвольного распада. Взаимодействие частиц происходит согласно закону Кулона. Под действием этих сил отталкивания и притяжения частица принимает некоторое мгновенное состояние равновесия в точке взаимного уравнивания сил. Внешняя сила, достаточной величины, может, будучи приложена к частице, сдвинуть ее нормальный центр колебания. Результатом такого сдвига частиц является деформация пространственной решетки.

Если после прекращения действия внешней силы частицы займут снова свое прежнее положение равновесия и решетка примет свою первоначальную форму, то такую деформацию можно считать упругой. Таким образом упругую деформацию нужно связывать с временной деформацией пространственной решетки, что схематически можно представить фиг. 19.

Пластическую деформацию, связанную с остаточной деформацией тела, можно представлять себе как явление скольжения отдельных кристаллов относительно друг друга по своим плоскостям (трансляции), как это представлено на фиг. 20, без нарушения связи кристаллов между собой, т. е. без появления разрывов или трещин. Такое представление о природе пластической деформации целиком подтверждается данными рентгенографических и микроструктурных наблюдений.



Фиг. 19. Схема упругой деформации пространственной решетки.



Фиг. 20. Схема пластической деформации пространственной решетки.

Со стороны расхода энергии упругая деформация представляет собой целиком обратимый процесс. Это означает, что после прекращения действия деформирующей силы и возвращения в исходное положение тело имеет запас энергии, равный первоначальному, т. е. упругая деформация протекает без потери работы извне.

В этом отношении пластическая деформация отличается тем, что после прекращения действия внешнего усилия ни форма тела, ни его запас энергии не соответствуют их первоначальным состояниям.

Работа, затрачиваемая внешней силой на пластическое деформирование тела, должна, повидимому, вся целиком уходить на преодоление сил внутреннего трения при образовании поверхностей скольжения, т. е. на ослабление связей между молекулами. При этом, понятно, выделяется более или менее значительное количество теплоты.

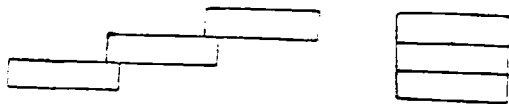
При исследовании Н. Норт<sup>1</sup> над брусками из мягкого чистого железа, в которых он вычислял разность в количествах работы, затраченной на деформацию, выраженной в калориях, и количества выделяемой теплоты, определяемой калориметрическим путем, оказалось, что от 5 до 15% затраченной механической работы остается при деформации в металле в форме скрытой потенциальной энергии. В отношении того, в каком виде находится эта остающаяся потенциальная энергия, имеются различные теории (Beilby, Rosenhain и др.), но наиболее приближающейся

<sup>1</sup> Mittel, über Forschungsarbeit, Herausgegeben vom V. D. I. № 41, (1907).

к действительности, поскольку она не отрицается, подобно предыдущим, данными рентгенографического и микроструктурных исследований, и не противоречащей общим положениям физики является теория скрытых упругих деформаций кристаллической решетки (Heun, R. Gross).

Подтверждением наличия линий и плоскостей скольжения являются данные многочисленного ряда опытов, из которых давно известно, что после деформирования на хорошо отполированных поверхностях металлов появляются темные линии, по которым при увеличении деформации в мало пластичных плоскостях и происходит разрыв.

Под *совершенной пластичностью* тела нужно понимать свойство истечения материала во всех направлениях, при достаточной величине приложенной силы, без образования в нем трещин и изломов. Для соблюдения этого необходимы следующие условия: во-первых, чтобы *число систем плоскостей скольжения было равно по крайней мере трем* и, во-вторых, чтобы сопротивление излому элемента кристалла, ограниченного этими тремя плоскостями скольжения, значительно *превышало силы сопротивления скольжению*, так как иначе произойдет излом или разрыв тела ранее, чем начнется пластичное истечение материала.



Фиг. 21. Плоскости скольжения.

Наличие этих двух условий не объясняет, однако, качественной стороны пластической деформации. Известно, что разные тела обладают различной степенью деформации, или разной способностью к деформированию. Кроме того, одно и то же тело при различной температуре также имеет различную степень пластичности.

Для объяснения этого обстоятельства следует рассмотреть следующее сопоставление. На фиг. 21 показаны два кристалла одинаковой величины и формы. Однако при данных условиях, при действии на них внешних сил, они обладают способностью образовывать различное число плоскостей скольжения. Если подвергнуть теперь оба кристалла максимально возможной величине пластической деформации, т. е. произвести сдвиг по плоскостям скольжения, до крайних пределов, так что дальнейшее его продолжение вызовет разрыв, то становится ясным, что *способность тела к деформации, или величина его пластичности, будет определяться числом поверхностей скольжения, приходящихся на единицу длины прямой, перпендикулярной к направлению скольжения*.

Благодаря образованию поверхностей скольжения сама пространственная решетка остается недеформированной, но, как показали наблюдения, число плоскостей скольжения никогда не достигает числа пространственных решеток, расположенных перпендикулярно направлению действия деформирующей силы.

Таким образом пластичность или хрупкость материалов определяется их способностью образовывать плоскости скольжения. Не обладающие этой способностью хрупкие тела не могут быть подвергнуты формоизменяющей обработке. Опыт показал, однако, что непластичные тела приобретают способность к образованию плоскостей скольжения, т. е. *пластичность, при наличии в кристаллах примесей и при повышении температуры*.

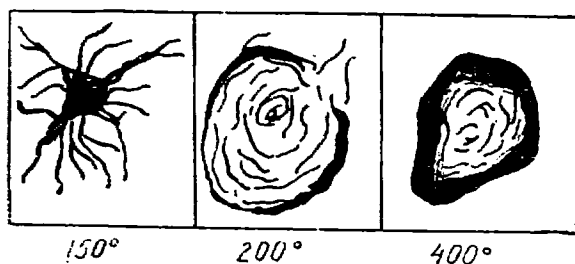
Для иллюстрации приводим на фиг. 22 пример перехода от хрупкости к пластичности соединения  $\text{Cu}_2\text{Cd}_3$ <sup>1</sup> при повышении температуры (увеличено в 110 раз). От укола швейной иглой при 150° получаются многочисленные трещины. При 200° место укола уже гладкое, окруженное слабым вздутием, с единичными наружными трещинами. При 400° трещин совсем не наблюдается.

<sup>1</sup> Tamman, Lehrbuch der Metallographie.



Кроме влияния температуры и примесей, способность к образованию плоскостей скольжения зависит от давления, а именно, с повышением давления число поверхностей скольжения, приходящихся на единицу длины, сильно возрастает.

Влияние всех этих факторов давления, температуры и наличия примесей, на увеличение пластичности можно объяснить повидимому *уменьшением трения на поверхностях скольжения*. Подтверждением такого объяснения служит рост *скорости истечения* с повышением температуры или давления в значительно большей степени, чем это должно было бы происходить по закону пропорциональности. Например, у металлов скорость истечения удваивается при повышении температуры всего на  $10^\circ$ .



Фиг. 22. Степень пластичности  $\text{Cu}_2\text{Cd}$  при разных температурах.

Все факторы природы вещества, определяющие пластичность кристаллического тела, следовательно, можно свести к следующим: 1) *число систем плоскостей скольжения*, 2) *их ориентировка*, 3) *направление сдвига относительно плоскости скольжения*, 4) *число плоскостей скольжения* и 5) *трение на отдельных системах плоскостей скольжения*. Наука еще не в достаточной степени изучила и определила качественные и количественные значения этих факторов для материалов, подвергающихся формоизменению, а потому в дальнейших анализах процессов пластической деформации уже имеющиеся отдельные сведения и характеристики природы и механизма деформации не нашли пока своего полного отображения и не увязаны еще в единую стройную теорию пластической деформации.

### § 3. Внешние факторы пластичности металла

Чисто внешними признаками большей или меньшей пластичности металлов являются:

1) *количество работы* и величины усилий, необходимых для осуществления определенной деформации;

2) *возможность применения к данному металлу всех или только ограниченного количества видов обработки в пластическом состоянии* и допускаемая без ухудшения его механических или структурных свойств *степень обработки*;

3) *интервал температуры* и его относительная высота, в пределах которого допустимо формоизменение металла;

4) *скорость появления наклепа* и его степень, если производится обработка тел пластичных при низких температурах.

На все эти показатели пластичности металлов в первую очередь оказывают решающее влияние факторы самой *природы вещества*, рассмотренные в предыдущем параграфе. Но, так как они покуда еще недостаточно глубоко не изучены, не следует пренебрегать и внешними, определенными *опытно, факторами*, оказывающими свое влияние на пластичность металлов. Из них останавливаемся на основных.

**Влияние химического состава.** Как общее правило, следует сказать, что всякие примеси металлов или металлоидов *уменьшают пластичность данного металла.*

Пластичность *железа и стали* определяется в первую очередь содержанием в них *углерода*. Увеличение содержания последнего вызывает уменьшение пластичности стали и железа, которую (пластичность) при содержании С равном 1,7% можно считать равной нулю. Аналогичное действие, но только в меньшей степени, оказывает увеличение содержания *кремния и марганца*. При этом высокое содержание марганца (7—12%) значительно увеличивает вязкость сталей.

Очень вредное влияние на пластичность металла оказывают *примеси фосфора и серы*. Содержание фосфора уже в количестве 0,1% значительно увеличивает хрупкость железа. Особенно сильно проявляется влияние фосфора в сталях, почему в последних, особенно в высокоуглеродистых сортах, допускается значительно меньшее содержание этой примеси, чем в мягком железе. Вредное влияние фосфора особенно сильно сказывается на пластичности железа при низких температурах, так как он придает последнему свойство, называемое *хладноломкостью*. Поэтому высококачественные сорта железа содержат фосфора всего лишь 0,01—0,003%.

Содержание *серы* в железе и сталях придает им свойство, называемое *красноломкостью*, т. е. уменьшение пластичности при обработке в нагретом состоянии. Поэтому желательно, чтобы содержание серы не превышало 0,05%. В этом отношении присутствие марганца уменьшает ее вредное влияние на пластичность.

Наличие *кислорода* в железе оказывает действие, аналогичное действию серы, т. е. *уменьшает пластичность* при высоких температурах обработки.

Для сравнения пластичности различных металлов можно воспользоваться таблицей 1<sup>1</sup>, составленной по понижающейся пластичности.

**Влияние температуры.** *Температура, как известно, является основным фактором пластичности металлов.* Как уже сказано в § 2, повышение температуры тела вызывает увеличение амплитуды колебания элементов пространственной решетки вокруг узлов. При некоторой температуре, для каждого тела различной, энергия колебания окажется больше силы взаимопритягивания частиц пространственной решетки, и последняя разрушается, т. е. *тело переходит в жидкое состояние*. Таким образом, механические свойства металлов с изменением температуры также претерпевают изменения.

В качестве примера зависимости механических свойств от температуры можно взять таковую для железа и стали<sup>1</sup> (табл. 2).

Если выразить математически зависимость временного сопротивления от температуры в пределах, наиболее благоприятных для пластической обработки, т. е. 800—1200°, то можно получить изменение временного сопротивления по закону арифметической прогрессии с разностью в 0,07. Эта зависимость дает возможность путем интерполяции определять просто и с достаточной степенью точности временное сопротивление разрыву при любой температуре в пределах 800—1200°.

Таблица 1  
Пластичность различных металлов

Ковкость	Тягучесть
Золото	Золото
Серебро	Серебро
Медь	Платина
Олово	Железо
Платина	Никель
Свинец	Медь
Цинк	Цинк
Железо	Олово
Никель	Свинец

<sup>1</sup> Ing. O. Bergman, Handbok i Järn-och metallarbetsning.

Таблица 2

Влияние температуры на механические свойства железа и стали

Температура (°С)	Временное сопротивление (по Жезу)		Давление истечения (по Кольману)	
	Железа	Стали	Железа	Стали
1200	155	208	—	—
1150	230	310	—	—
1100	330	440	120	320
1050	445	595	130	360
1000	575	760	150	400
950	696	920	190	470
900	794	1050	220	540
850	850	1125	—	—
800	940	—	400	790
700	—	—	620	1050
600	—	—	700	1500

Нужно сказать, что не во всех случаях соблюдается эта пропорциональная зависимость пластичности от температуры. Некоторые металлы обладают большой пластичностью только в *известных интервалах температуры*, дальнейшее повышение которой вызывает появление хрупкости. Иногда также более или менее пластичный металл в холодном состоянии с повышением температуры теряет пластичность на некотором интервале температур.

Выбор температуры определяется *характером предполагаемой обработки* металла, так как для того или иного вида процесса (ковка, волочение, прокатка, изгиб) необходимы различные механические свойства. Поэтому, скажем, волочение проволоки производится большей частью в холодном состоянии.

В случаях, когда причин вышеуказанного характера нет, обработку металлов производят *большей частью в нагретом состоянии*. Это обусловливается меньшим расходом работы на совершение деформации при высоких температурах.

**Влияние качества отливок.** Если отливка металла, подвергающегося дальнейшей обработке давлением, будет иметь шлаковые включения, газовые пузыри и т. п. неоднородности, то, естественно, его способность к деформации, ковкость, временное сопротивление будут понижены по сравнению с таковыми более плотного и более однородного по структуре металла. Из металлургии стали известно, что эти пороки обуславливаются самым процессом разлива и могут быть в большей или меньшей степени предупреждены путем применения специальных присадок в расплавленную сталь других металлов (Al). В таких случаях увеличение плотности, а с ней и способности к деформации, компенсирует могущее вообще быть уменьшение пластичности согласно общего правила, что примеси к металлу ухудшают его ковкость.

Неплотность и наличие включений особенно сильно выражается при разливе металлов в мелкие отливки. Поэтому с точки зрения способности к деформации и качества окончательной продукции, более желательнее производство крупных отливок.

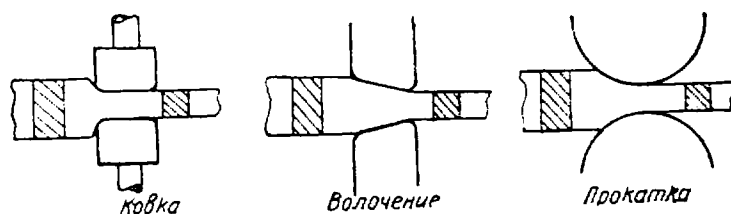
**Влияние предшествующей обработки.** Если обработка металла производится при низких температурах, таковой постепенно теряет свою

первоначальную пластичность. Примером такого рода „ожесточения“ металла может служить волочение проволоки или протяжка труб — процессы, при которых материал становится настолько твердым, что дальнейшая обработка без восстановления утерянных свойств становится невозможной.

Металлу могут быть возвращены первоначальные свойства путем *отжига*, который устраняет возникающие при обработке напряжения между кристаллами. Немаловажное влияние на механические свойства, а с ними и на пластичность металлов, оказывает предшествующая *термическая обработка*. Известно резкое увеличение твердости и хрупкости стали при закалке. Соответствующая термическая обработка может придать некоторую ковкость даже такому хрупкому материалу, как чугун.

#### § 4. Основные виды процессов обработки металлов в пластическом состоянии

Вообще говоря, существует большое количество различных видов обработки металлов в пластическом состоянии. Сюда можно отнести такие процессы, как ковка, штампование, прессование, протяжка, прокатка, изгибание, высадка, клепка, выдавка, накатка резьбы и т. д. Все эти многочисленные процессы можно отнести к одному классу, так как при всех этих методах обработки намечаемое формоизменение материала достигается



Фиг. 23. Схема ковки, волочения и прокатки.

путем относительного перемещения его частиц без нарушения связи между ними. Само перемещение частиц производится под действием приложенных внешних сил.

Основными процессами обработки металлов в пластическом состоянии являются ковка, волочение и прокатка. На фиг. 23 представлено схематическое изображение этих процессов, наиболее принятое в настоящее время<sup>1</sup>. Эта схема соответствует методу исследования, который исходит из допущения, что изучаемые тела или отдельные их части переходят из начального состояния в конечное путем простой деформации параллелепедов. Согласно этому методу, изучаемый предмет рассматривается как бы состоящим из ряда элементов, которые в результате деформации переходят из состояния I в состояние II (фиг. 23).

Принципиальное отличие этих трех основных процессов обработки металла давлением заключается в *различном способе действия обрабатывающих орудий*. При ковке обрабатывающие плоскости бойков имеют *возвратно-прямолинейное движение в направлении, перпендикулярном к направлению истечения деформированного металла*. При протяжке волочильная доска или протяжное кольцо, в которых происходит формоизменение, *неподвижны, внешняя сила приложена к металлу и действует в направлении, совпадающем с направлением истечения металла*. Наконец,

<sup>1</sup> Stahl und Eisen, 1931 г., стр. 1462—1468, статья Siebel'a.

при прокатке формоизменение достигается *вращающимися валками, которые вытягивают шпунку в просвет между их поверхностями, одновременно ее обжимая. Направление вращения валков совпадает с направлением движения металла.* Таким образом, прокатка является наиболее сложным, комплексным процессом, включающим элементы иковки, и волочения.

Разновидностью процессаковки следует считать еще процессы *прессования и штампования.* Прессование отличается отковки тем, что оно протекает значительно медленнее, чемковка, и потому, если для совершения формоизмененияковкой используется *живая сила удара молота,* то при прессовании живой силы недостаточно, и основной действующей силой является *давление.*

При прессовании иликовке металл обыкновенно имеет возможность *свободно истекать во все стороны.* Если это свободное истечение металла приковке или прессовании ограничить со всех, или хотя бы с двух сторон, стенками формы или матрицы, то истечение металла будет *несвободное или полусвободное* и сам процесс будет называться уже *штампованием.*

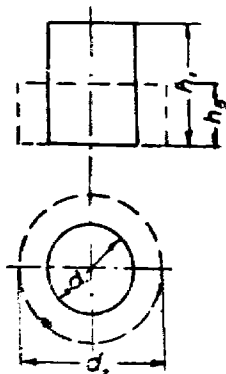
## § 5. Прессование,ковка

Наиболее простым примером, на котором можно разобрать эти два близкие и принципиально не различающиеся процессы, может служить *обжатие под прессом или молотом цилиндра из пластичного тела, например, свинца с первоначальной высоты  $h_1$  до высоты  $h_2$ .* Так как обжатая часть цилиндра, соответствующая разности высот  $h_1 - h_2$ , будет смещена вертикально вниз, то, очевидно, после обжатия должно произойти *увеличение диаметра цилиндра* (фиг. 24). Исходя из *закона постоянства объема,* вполне применимого в данном случае, если материал не настолько порист, что при давлении уплотняется, можно написать следующее равенство:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \cdot h_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot h_2,$$

откуда

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}.$$

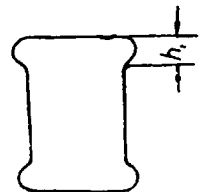


Фиг. 24. Осадка цилиндрика по высоте.

Таким образом, *чем больше обжатие, тем больше увеличивается диаметр цилиндра.*

Однако приведенное вычисление будет правильным только теоретически, так как получаемое после обжатия тело уже не имеет правильной цилиндрической формы, а приобретает *бочкообразный вид, т. е. наибольшее растекание части  $\epsilon$  в стороны будет в середине высоты, наименьшее — у плоскостей, соприкасающихся с давящими поверхностями.*

Fr. Riedel<sup>1</sup> в своих опытах сжатия свинцовых цилиндров значительной высоты наблюдал следующую картину. При медленном обжатии расширялись только части цилиндров, близкие к давящим поверхностям (фиг. 25); затем это расширение постепенно распространялось все ближе и ближе к середине высоты, где и сосредоточивалось к концу опыта, когда цилиндр принимал бочкообразную форму. Было замечено, что глубина распространения первоначальной деформации ( $h_1$ ) для цилиндров одного и того же вещества пропорциональна их диаметру. Аналогичное явление в большей или меньшей степени наблюдается при постепенном обжатии (прессовании) всех пластичных тел.



Фиг. 25. Расширение части цилиндрика, прилегающих к давящим поверхностям.

<sup>1</sup> Riedel und Rummel, Stahl und Eisen, 1919 г., № 6, 13 и 20.

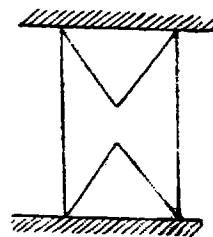
Подобного рода явления, наблюдавшиеся при формоизменениях пластичных тел, привели к созданию теории „конусов скольжения“, высказанной впервые проф. Киском<sup>1</sup> еще в 80-х годах прошлого столетия.

Содержание этой теории заключается в следующем. Полагают, что при сжатии цилиндра из пластичного материала образуются конуса скольжения (фиг. 26), имеющие основания на давящих поверхностях, а своими вершинами проникающие в глубь тела и деформирующие его. Сами конуса скольжения начинают деформироваться лишь после того, как их вершины встретятся.

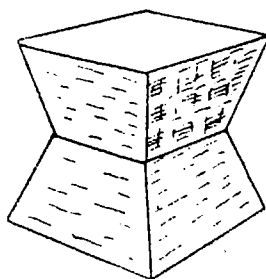
Если вместо цилиндра взять тело, ограниченное с боков плоскостями, т. е. призматической формы, то вместо конусов образуются пирамиды скольжения.

Ярко выраженные конуса или призмы скольжения можно наблюдать при раздавливании хрупких тел. Если цементный кубик из однородного материала раздавливать на прессе, как это производится при испытаниях строительных материалов, то при постепенном возрастании давления кубик разрушается таким образом, что прежде всего выклиниваются его бока, а остающаяся неразрушенная часть имеет форму двух усеченных пирамид, обращенных друг к другу вершинами (фиг. 27). Если прочность материала не одинакова во всех местах образца, если одна или несколько граней образца не имеют возможности расширяться, то скалывание происходит тоже по каким-то граням пирамид скольжения.

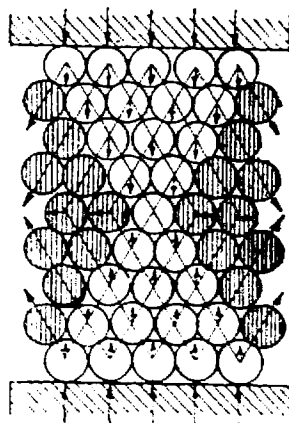
Угол, составляемый образующей конуса или боковыми гранями пирамиды скольжения с плоскостью приложения сил давления называется углом действия и ко-



Фиг. 26. „Конуса скольжения“.



Фиг. 27. Вклинивание конусов друг в друга.



Фиг. 28. Схема образования „конусов скольжения“.

леблется для различных хрупких материалов в пределах от 50 до 61°, для пластичных же он меньше и доходит до 45°<sup>2</sup>. Для каждого материала при прочих равных условиях он *остается постоянным*.

Причина образования конусов или пирамид скольжения объясняется, с точки зрения этой теории, *характером распределения внутренних сил, возникающих при сдавливании*. Упрощенная схема образования конусов скольжения представлена на фиг. 28. Здесь кружками обозначены элементарные частицы деформируемого тела. Конечно, в действительности они могут быть расположены и не в таком правильном порядке. Однако это будет влиять только на большую или меньшую четкость образования плоскостей скольжения. Под действием давления, которое будет распре-

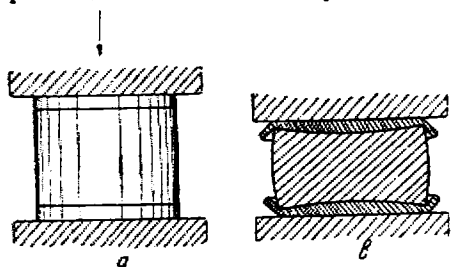
<sup>1</sup> Dinglers Polyt. Journal, 1877 и 1879 г., Technische Blätter, 1878 и 1881 г., Wochenschrift d. Oesterr. Ing. u. Archit. Vereins, 1887 — 1880 г.

<sup>2</sup> Ing. O. Bergman, Handbok i järh-och metallarbethning.

деляться на слой соприкасающихся с давящей плоскостью частиц, последние будут стремиться вклиниться в промежуток между смежными частицами следующего слоя. Силы давления первого слоя, действуя на второй слой через точки соприкосновения под некоторым углом с вертикалью, складываясь, дают силы, действующие в *вертикальном же направлении* во всех частицах второго слоя, кроме крайних, которые в первую очередь должны быть смещены при деформации тела *в сторону от направления сжатия*.

Продолжая аналогичным образом ход рассуждений в отношении следующих слоев, получаем в цилиндре конус, состоящий из частиц, которые подлежат деформации как бы во вторую очередь. Подобного же рода конус образовывается и с другой стороны *снизу*, где действующими силами будут силы реакций опоры, силы противодействия.

Естественно, может возникнуть вопрос, почему после сдвига крайних частиц вторых рядов не произойдет сдвиг крайних частиц первого ряда под действием сил реакций. Тут нужно учесть еще тот факт, что в плоскостях соприкосновения действует в случае возможного горизонтального перемещения частиц *поверхностное трение*, направленное против направления движения и таким образом к силе междучастичного сцепления крайних рядов добавляются еще составляющие, которых не может быть у частиц внутренних рядов. И, действительно, если ослабить это поверхностное трение, то конусообразная или пирамидальная форма разрушения не имеет места. Например, если *смазать вазелином* боек и наковальню



Фиг. 29. Раздавливание медного цилиндрика со свинцовыми шайбами.

*вертикальными трещинами на столбчатые отдельности*. При этом сила, необходимая для раздавливания при *смазке*, уменьшается вдвое. Если между основаниями раздавливаемого железного цилиндра и давящими плоскостями проложить тонкие медные прокладки, то он раздавливается не в боченок, а в цилиндр же с уширенным диаметром.

Но, так как в процессах прессования иликовки, особенно металлов в горячем состоянии, смазывание давящих или кующих поверхностей применяется только в исключительных случаях, то это обстоятельство давало возможность рассматривать процессы прессования иликовки с точки зрения конусов скольжения.

Путем опытов, аналогичных вышеприведенным, Kick доказал, что допущение, которое делают всегда при расчетах о равномерном распределении давления, производимого на тело по всей площади поперечного сечения тела, является неправильным. Этот исследователь производил раздавливание медного цилиндра, снабженного двумя свинцовыми шайбами одинакового диаметра с цилиндром (фиг. 29). После обжатия цилиндра оказывалось, что *торцевые поверхности у него получались вогнутыми* (фиг. 29b).

Это явление показывает, что давление в центре было больше, чем на края, где частицы легче перемещались в стороны, что опять таки способствовало внедрению в теорию прокатки основных положений теории конусов скольжения.

Но последние достижения рентгенографии и металлографии, давшие возможность определять в телах, подвергавшихся пластической деформации, линии, по которым происходит деформация, в первую очередь так называемые *линии скольжения*, не подтвердили всех представлений теории конусов. На фиг. 30 довольно отчетливо видны линии скольжения, выявленные травлением специальным реактивом Frey.

После появления теории конусов скольжения, примененной Blass'ом и к процессу прокатки<sup>1</sup>, появился целый ряд *гидродинамических теорий пластической деформации*<sup>2</sup>. В последние же годы, в связи с развитием рентгенографии, доказавшей, что пластичные тела в отличие от жидких сохраняют пространственную решетку неразрушенной, *теория конусов, вернее линий скольжения, возрождается на новой научной базе.*

**Закон наименьшего периметра.** Так как, согласно ранее установленному в § 2, при всяком процессе пластической деформации, в отличие от упругой, происходит перемещение пространственных решеток по плоскостям скольжения, то, естественно, что на совершение этих перемещений будет *затрачиваться работа*, которая будет



Фиг. 30. Линии скольжения в металле.

поглощаться сопротивлением частиц этому перемещению, или так называемым *внутренним междучастичным трением*. Этим сопротивлением, его величиной, собственно, и измеряется *работа деформации* того или иного вещества. В жидких телах такое сопротивление, очевидно, равно нулю, так как перемещение частиц совершается уже под действием силы их тяжести. Всякая пластическая деформация связана с затратой энергии на преодоление этих сил сопротивления.

Правда, помимо внутреннего сопротивления, на величину затрачиваемой работы могут оказать влияние еще и силы тяжести и силы инерции. Сила тяжести, которой обладает всякая материальная частица, может уменьшить количество затрачиваемой на деформацию энергии, если при деформации частицы перемещаются вниз; может оказаться добавочной силой сопротивления — при перемещении вещества в случае деформации по направлению вверх и, наконец, может быть нейтральной силой, если частицы перемещаются горизонтально.

Сила инерции, также неизбежно связанная с каждой материальной частицей, может быть силой действующей, т. е. способствующей деформации — при убывающей скорости перемещения; силой сопротивления — при возрастании скорости или изменении направления перемещения частиц и, наконец, не оказывать никакого действия — при постоянстве скорости и прямолинейности траектории перемещения.

При пластической деформации как сила тяжести, так и сила инерции могут иметь значение лишь в случаях, когда состояние тела близко к жидкому. Так как обычно обработка металлов, в частности железа, давлением производится при температурах 800—1300°, когда железо еще далеко от перехода в жидкое состояние, то учет влияния сил тяжести и инерции может представлять только сугубо теоретический интерес. Практически же величина этих сил, по сравнению с силами „междучастичного трения“ столь незначительна, что без *всякой заметной погрешности ими можно пренебрегать.*

При сдавливании цилиндров из пластичного материала сечение, перпендикулярное его оси, *остается и после деформации круглым* (фиг. 24); это говорит о том, что при сжатии цилиндра происходит *равномерное перемещение частиц во все стороны, т. е. траекториями их горизонтально: о перемещения служат радиусы цилиндра.* Такое направление горизонтального перемещения частиц соответствует *основному принципу возможных перемещений — движению частиц по линии наименьшего сопротивления*, так как радиусы будут кратчайшими расстояниями для

<sup>1</sup> E. Blass, Zur Theorie des Walzprocesses, Stahl und Eisen, 1882 г.

<sup>2</sup> Проф. Грум-Гржимайло, Мещерский, Родзевич-Белевич.

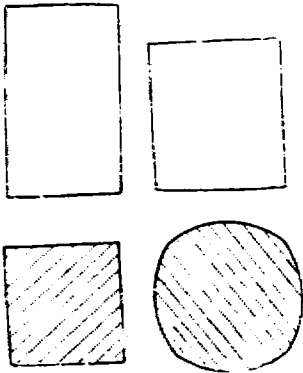


выхода частиц от центра к периферии, а, следовательно, и количество необходимой для перемещения частиц работы будет *минимальным*.

Из опыта также известно, что при сдавливании или ковке вдоль оси бруска *квадратного или вообще прямоугольного сечения*, уже после небольшого обжатия *сечение округляется*, как это показано на фиг. 31. Эти явления, проверенные опытами Sobbe и других исследователей, привели к установлению так называемого *закона наименьшего периметра*, который может быть сформулирован так: *при обжатии пластичных призм различных форм сечения истечение вещества в плоскости сечения происходит таким образом, что сечение стремится приблизиться к кругу*, т. е. к фигуре, которая имеет при данной площади *наименьший периметр*.

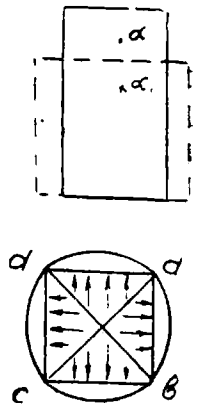
Для подтверждения логичности данного закона, рассмотрим несколько примеров.

На фиг. 32 изображена прямоугольная призма с квадратным сечением. Рассмотрим поведение частицы  $\alpha$  в каком-нибудь сечении призм при



Фиг. 31. Округление образцов при пластической деформации.

обжатии последней на величину  $\Delta h$ . Естественно, что частица  $\alpha$  будет перемещена на некоторое расстояние по вертикали вниз и займет положение  $\alpha_1$ . Однако объем обжатого металла, определяемый призмой с высотой  $\Delta h$ , должен вызывать увеличение площади поперечного сечения тела после деформации, а это означает, что определенная часть металла должна перемещаться и в горизонтальной плоскости. Отсюда следует, что частица  $\alpha$  при деформации должна перемещаться и в горизонтальной плоскости, т. е. в плоскости



Фиг. 32. Деформация прямоугольной призмы.

сечения призмы, а суммарное ее движение будет совершаться по какой-то *сложной пространственной кривой*.

Если вспомнить законы истечения жидкостей, электрического тока и приложить их к свободному истечению деформируемого металла, то можно будет с большим или меньшим приближением определить наиболее вероятное направление горизонтальных потоков частиц.

В случае истечения жидкости в разветвляющемся трубопроводе наибольший поток будет всегда направлен в сторону, где он встретит наименьшее сопротивление. Следовательно и частица  $\alpha$  должна перемещаться по горизонтали в том направлении, в котором она встретит *наименьшее сопротивление своему передвижению*. Так как всякое перемещение с преодолением сопротивления связано с затратой работы, то, очевидно, наиболее вероятной траекторией перемещения частицы  $\alpha$  будет та, перемещение по которой потребует *наименьшей затраты работы*. Сопротивление перемещению частиц представляет собой величину, зависящую от *свойства материала и его температурного состояния*, — величину, которая в процессе деформации мало изменяется; поэтому работа, равная произведению силы на путь, в данном случае будет прямо пропорциональна пути, совершаемому частицей  $\alpha$  при ее перемещении.

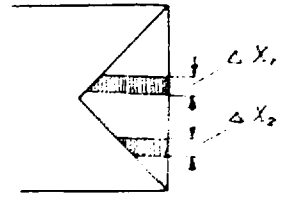
Сечение вследствие обжатия тела должна увеличиваться. Это означает, что направление перемещения всех частиц должно быть наружу, за пределы первоначального периметра. По выше приведенному основному правилу теоретической механики, путь перемещения частиц в направлении наименьшего сопротивления (учитывая также сопротивление поверхности трению), должен быть *кратчайшим*.

Для произвольно выбранной частицы  $\alpha$  кратчайшим расстоянием для выхода наружу является *перпендикуляр, опущенный на ближайшую грань*

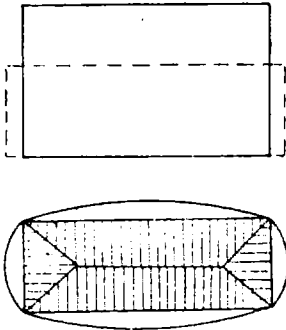
ab. Путь каждой другой частицы в сечении призмы также будет определяться кратчайшим расстоянием до ближайшей грани.

Если провести биссектрисы углов прямоугольника, в нашем случае (фиг. 32) совпадающие с диагоналями квадрата, то все частицы, заключенные внутри полученных треугольников, будут иметь направление истечения по перпендикулярам к своим наружным сторонам. Только частицы, расположенные на биссектрисах могут передвигаться к любой из смежных граней с одинаковой затратой работы на свое перемещение, но количество их по сравнению с общими потоками мало, так что ими можно пренебречь.

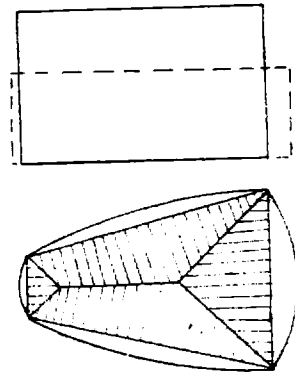
Однако распределение потоков частиц на каждой из граней не будет равномерно. Так как количество истекающих частиц вещества будет пропорционально площади потока, приходящейся на единицу длины периметра, то понятно, что количество частиц, истекших за пределы первоначального периметра на его равных участках  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  будет различно, достигая своего максимума в центре грани и минимума на углах (фиг. 33), что в результате и приведет к округлению граней.



Фиг. 33. Площади потоков частиц при истечении.



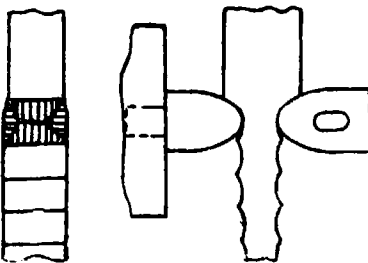
Фиг. 34. Истечение частиц металла при деформации прямоугольного сечения.



Фиг. 35. Истечение частиц металла при деформации трапециoidalного сечения.

Нетрудно теперь найти первоначальное распределение потоков в призме какого-либо другого сечения (фиг. 34 и 35). Для этого мы проводим биссектрисы углов, получая таким образом

разграничительные линии для потоков двух смежных граней и соединяем их пересечения прямыми. В случае, представленном на фиг. 34, потоки частиц направлены, главным образом, в стороны широких граней, создавая таким образом опять-таки стремление к округлению граней. Доказательством такого распределения потоков служит операция вытяжки, применяемая иногда при ковке.



Фиг. 36. Вытяжка полосы подбойками.

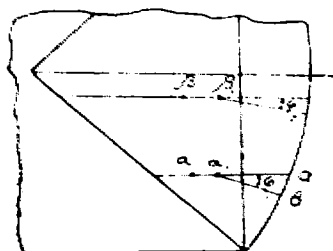
Если необходимо произвести энергичную вытяжку полосы, то в кузнечных цехах для этой цели применяют инструмент, называемый *подбойками*. Одну из подбоек устанавливают на наковальне, кладут на нее поперек полосу, сверху располагают вторую подбойку, которой и ударяют молотом (фиг. 36). Этим достигается энергичная вытяжка полосы при почти не изменяющейся ее ширине.

Если рассмотреть распределение потоков частиц при вытяжке, то можно видеть, что в основном истечение металла и должно быть

направлено в сторону вытяжки. Таким образом и эта операция является подтверждением закона наименьшего периметра. Следует отметить, что в данном случае имеет значение еще цилиндрическая рабочая поверхность подбойки.

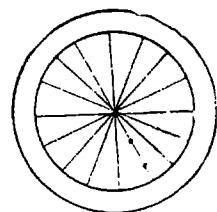
Выше уже замечалось, что то распределение потоков, которое до сих пор принималось, является первоначальным, т. е. соответствующим только началу деформации, когда форма сечения оставалась еще не измененной. *С изменением формы сечения будут меняться и направления истечения металла.*

Рассмотрим на фиг. 37 траекторию движения какой-либо частицы  $a$ , которая первоначально будет двигаться по перпендикуляру к грани.



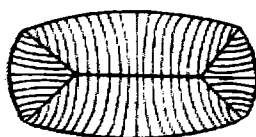
Фиг. 37. Траектории движения частиц металла при деформации.

Предположим, что после первого удара молота тело округлится, согласно показанному на фиг. 37, и частица  $a$  переместится в направлении  $a_1 a$ . Если теперь подвергнуть тело дальнейшей деформации, то в дальнейшем частица  $a$  будет перемещаться уже не в прежнем направлении  $a_1 a$ , а по линии *наикратчайшего расстояния к выходу  $a_2 b$* , так как она в своем движении все время должна подчиняться правилу затраты наименьшей



Фиг. 38. Деформация круглого сечения.

работы. Это будет означать, что *частица  $a$  отклонится от своего первоначального направления на какой-то угол  $\varphi$* . Величина этого угла отклонения  $\varphi$  будет зависеть от относительного положения частицы. Частицы, расположенные ближе к середине грани, будут меньше отклоняться, что показано на фиг. 37 для частицы  $z$ .



Фиг. 39. Деформация прямоугольного сечения.

Наибольшей деформации будут подвержены частицы, близко располагающиеся к углам сечения. Единственной фигурой, при которой поток частиц не будет иметь отклонения, в которой все частицы будут перемещаться прямолинейно, является *круг*. В нем (фиг. 38) все потоки, согласно принципу наименьших работ, будут направлены равномерно и радиально от центра к периметру и, так как деформация круглого цилиндра приведет к образованию такого же, но с большим диаметром, то, понятно, что и в полученном круговом сечении потоки будут иметь то же радиальное перемещение.

На фиг. 39 показано первоначальное и последующее направления потоков для прямоугольной призмы. Искривление потоков происходит таким образом, что фигуры должны приближаться к круглому сечению, в котором частицы будут истекать равномерно во все стороны.

Если учитывать, что каждая частица, помимо горизонтального, имеет еще и вертикальное перемещение, то можно себе представить истечение металла, даже при самой простой деформации прессования иликовки, как *сумму сложных перемещений частиц металла по каким-то пространственным кривым, кривизна которых для каждой частицы будет различна.*

Детальное изучение настоящего вопроса представляет весьма сложную задачу, не разрешенную еще до настоящего времени в достаточной степени, но опыты, данные практики и основные принципы механики подтверждают правильность приведенного здесь закона наименьшего периметра, согласно которому все частицы обжимаемого пластичного тела в горизон-

тальном сечении будут иметь направления истечения по кратчайшему расстоянию к выходу из существующего периметра, что приводит к постепенному превращению сечения в круг.

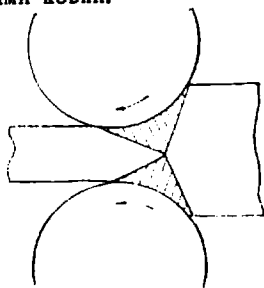
## § 6. Прокатка

Широкое применение процесса прокатки для массового изготовления изделий из металла объяснялось целым рядом его преимуществ по сравнению с процессомковки и прессования, в первую очередь той высокой производительностью прокатных агрегатов, которая была необходима для обработки все возрастающего количества производимого металла.

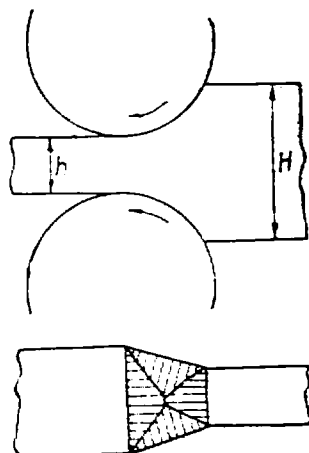
Высокая производительность и потому меньшая себестоимость изделий, полученных прокаткой с развитием промышленности, создавали, с одной стороны, необходимость совершенствования процесса и, с другой, вели к стремлению производить прокаткой возможно большее количество различных изделий, к попыткам прокатывать изделия с весьма сложными профилями. Естественно, что эти попытки не всегда увенчивались успехом, и, если в некоторых случаях и достигались положительные результаты, то только после целого ряда неудач, связанных с большими материальными затратами. *Трудность получения необходимого профиля в прокатных валках объяснялась сложностью процесса и неизученностью поведения металла при прокатке.*

Представление о сложности истечения металла при пластической деформации дает уже рассмотрение погоков частиц при ковке или прессовании.

Все вышеупомянутые факторы вызывали необходимость изучения процесса деформации металла при прокатке с целью уяснения всех явлений, имеющих место при проведении данного процесса и овладения всеми закономерностями, которым подчиняется истечение металла при его пластической деформации в валках прокатного стана. Поэтому вопросами теории деформации металла при прокатке занимались многие исследователи и, пожалуй, больше, чем процессамиковки.



Фиг. 40. „Призмы скальвания“ по Блассу.



Фиг. 41. Перемещение частиц в очаге деформации по Головину.

Уже во второй половине XIX столетия было произведено множество исследований и создан ряд теорий процесса прокатки. Однако разработка большинства теорий процесса пластической деформации при прокатке задерживалась вследствие отсутствия необходимой базы — точного представления о самой природе пластичного тела. Поэтому теории приходилось основывать на существовавших представлениях о пластичных телах. В частности следует отметить теорию прокатки Blass'a, построенную на основе теории конусов скольжения Kick'a.

Blass предположил, что при прокатке образуются *призмы скальвания*, располагающиеся своим основанием на поверхностях соприкосновения металла с валком (фиг. 40), и чисто геометрическими и алгебраическими подсчетами определял все явления, имеющие место при прокатке (опережение, уширение металла).

Существует ряд *гидродинамических теорий прокатки* (Грум-Гржимайло, Родзевич-Белевич, Мещерский), в которых проводилась аналогия между пластическими деформациями и истечением вязких жидкостей. В последние годы были предложены теории, основывающиеся на анализе действующих при прокатке сил (Виноградов, Крижановский), на законе наименьшего периметра (Головин).

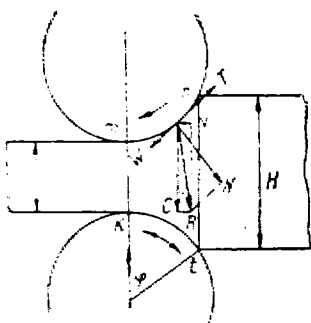
В основу теории Головина положено распределение потоков истечения металла из области деформации — *очага деформации* — согласно принципу перемещения частиц при деформации в сторону кратчайшего расстояния к выходу из очага деформации. Приближенное представление об этом дает фиг. 41.

Теория деформации металла при продольной прокатке разработана также проф. А. П. Виноградовым<sup>1</sup>, проф. И. М. Павловым, иностранными специалистами Зибелем, Экеландом.

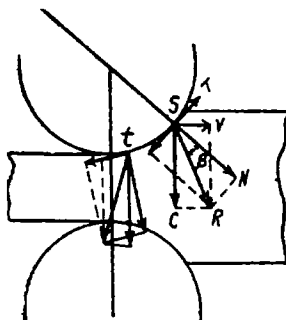
<sup>1</sup> Научные записки кафедры металлографии и термической обработки Днепропетровского горного института, 1928 г.

Эта теория однако не является стройной и законченной, что опять-таки объясняется тем, что до сих пор еще окончательно не выяснена сущность пластического состояния и его законы. Описываемая в этом учебнике сущность процесса прокатки базируется на основных выводах предшествующих теорий и в несложном виде представляет основные явления, связанные с деформацией металла при прокатке.

**Анализ действующих при прокатке сил.** По представленной на фиг. 42 схеме прокатки болванка увлекается вращающимися валками в направлении их вращения. При продвижении болванки в валки высота болванки постепенно уменьшается, благодаря сближению поверхности валков. Таким образом, болванка будет „обжиматься“. Величина обжатия является разностью высот болванки до и после деформации. В нашем случае обжатие будет равняться величине  $H-h$ . Обжатие болванки производится действием давящих поверхностей валков в области деформации, разграниченной дугами соприкосновения металла с валками  $mn$  и  $kt$  и сечениями  $mk$



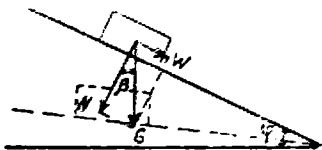
Фиг. 42. Болванка, увлекаемая вращающимися валками.



Фиг. 43. Действие сил при прокатке.

и  $nt$ , проходящими через крайние точки этих дуг, нормально к оси болванки.

Во всех точках давящих поверхностей  $mn$  и  $kt$  будут возникать при обжатии болванки силы давления, направленные, согласно правилам механики, нормально к плоскости давления. При цилиндрической поверхности валков нормальное направление будет соответствовать радиальному. Таким образом в любой точке  $S$  поверхности вала (фиг. 43) при прокатке будет возникать нормальная сила  $N$ . В этой же точке, вследствие перемещения поверхности вала, силой  $N$  будет возбуждаться сила трения  $T=fN$ , направленная касательно к поверхности вала в сторону, обратную направлению вращения. В приведенном выражении  $f$  означает коэффициент трения.



Фиг. 44. Наклонная плоскость.

Процесс прокатки может осуществляться только в том случае, если окружное усилие вращающего момента валков, передаваемого от двигателя, будет преодолевать эту силу трения, так как иначе валки не будут вращаться. Сила  $W$ , действующая со стороны вала на металл, равна силе  $T$ , т. е.

$$W = fN. \quad (1)$$

Равнодействующая сил  $N$  и  $W$  будет равна силе  $R$ . Если обозначить угол между  $R$  и  $N$  через  $\beta$ , то силу  $W$  можно выразить как функцию от силы  $N$  и  $\beta$ . Очевидно,

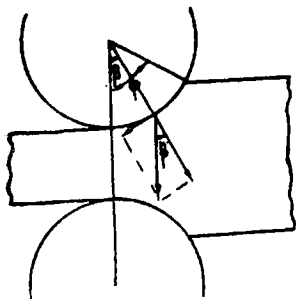
$$W = N \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (2)$$

Решив систему уравнений (1) и (2), получаем  $f = \operatorname{tg} \beta$ , т. е. коэффициент трения равен тангенсу угла между  $R$  и  $N$ , который поэтому и называют углом трения.

Физический смысл угла трения может быть найден из схемы, изображенной на фиг. 44, где груз весом  $G$  расположен на плоскости, могущей вращаться около шарнира. При повороте плоскости до какого-то угла  $\beta$  тело начнет перемещаться. Это будет означать, что составляющая  $W$  силы веса  $G$  преодолет силу трения, препятствующую до этого момента перемещению тела. Из представленной схемы действия силы веса  $G$  и ее составляющих, нормальной силы  $N$  и силы  $W$ , преодолевающей трение, получаем  $W = N \operatorname{tg} \beta$ . Одновременно, принимая  $W = T = fN$  и сопоставляя равенства, приходим к выражению  $f = \operatorname{tg} \beta$ .

Так как сила  $R$  является *равнодействующей сил*  $N$  и  $W$ , то ее величина будет зависеть от величин ее составляющих, величины же последних будем пока считать при установившемся процессе постоянными, так как сила  $N$  определяется тем сопротивлением, которое оказывает данный металл при данной температуре его деформации и которое будем считать пока постоянным на протяжении всей дуги соприкосновения. Сила  $W = fN$  также не будет изменяться по ходу процесса, благодаря принятому нами постоянству коэффициента трения  $f$ .

Следовательно, сила  $R$  будет постоянна во всех точках дуги соприкосновения по величине и отклонена от радиального направления на постоянный угол трения  $\beta$ .



Фиг. 45. Вертикальное направление равнодействующей силы  $R$ .



Фиг. 46. Скворечники в болванке.

Анализируя силы при прокатке, удобнее всего рассматривать их действие в двух направлениях: в направлении *вертикальном*, так как в этом направлении производится осаживание болванки, т. е. уменьшение ее высоты, и в *горизонтальном*, что соответствует направлению движения полосы при прокатке, направлению ее вытяжки. Поэтому и нашу равнодействующую разложим на две составляющие в указанных двух направлениях и получим таким образом силу  $S$ —*кующую или осаживающую металл*, и силу  $V$  *производящую вытяжку*. Эти уже силы— $S$  и  $V$ —в противоположность силам  $W$  и  $N$ , будут *силами переменными*, зависящими от положения точки на дуге захвата.

В самом деле, если рассмотреть силы, действующие в точке  $t$  (фиг. 43), расположенной близко к выходу болванки из валков, то мы убедимся что сила  $V$  изменила не только свою величину, но и направление. Это объясняется, понятно, тем, что сила  $R$  изменяет свой наклон к вертикали на протяжении дуги захвата. В точке, *центральный угол которой будет равен углу  $\gamma$* , сила  $R$  *будет направлена вертикально* (фиг. 45). и *горизонтальная ее составляющая станет равной нулю*.

Таким образом, при изменении центрального угла от максимального его значения  $\varphi$  (центральный угол  $\varphi$ , отвечающий дуге соприкосновения металла с валком, называют *углом захвата*) до нуля при выходе болванки из валков, сила  $V$  *изменится от своего максимального отрицательного значения в первой точке соприкосновения болванки с валком, до нуля в точке, отвечающей центральному углу, равному  $\beta$* , и *возрастает до своего максимального положительного значения в точке выхода болванки из валков*.

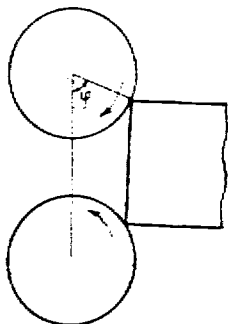
Положительным для силы  $V$  считается направление, совпадающее с направлением движения болванки при прокатке. Следовательно, сече-

не болванки, проходящее через точку дуги захвата, соответствующую углу  $\beta$ , будет подвержено действию направленных в разные стороны сил. В результате этого, по представлению проф. Виноградова, в середине прокатываемой болванки при большой ее толщине образуются полости, называемые *скворечниками* (фиг. 46), причину образования которых все еще объяснить наличием местной деформации (см. ниже).

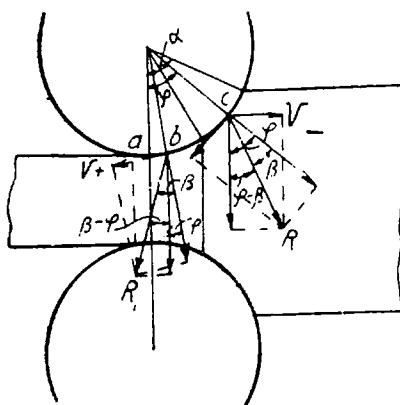
## § 7. Условия захвата болванки валками

При *неустановившемся процессе*, т. е. в случае, когда болванка только подводится к валкам (фиг. 47), захват ее может осуществиться только в том случае, если будут *отсутствовать отрицательные силы  $V$* , что, согласно вышеприведенному анализу сил, возможно лишь при угле захвата  $\varphi < \beta$ . Уже при  $\varphi = \beta$  втягивающая сила  $V$  будет равна нулю и теоретически захват *может не осуществиться*. При большем значении  $\varphi$  края подведенной болванки будут попадать в область действия *выталкивающих сил и захват не будет осуществлен*.

При *установившемся процессе*, когда металл заполнит всю область деформации, условия захвата изменятся, так как в этом случае на болванку будут оказывать воздействие *и втягивающие и выталкивающие силы*. Обязательным в этом случае условием для надежного захвата будет *преобладание суммы втягивающих сил над выталкивающими*.



Фиг. 47. Момент захвата болванки валками.



Фиг. 48. Действие выталкивающих и втягивающих сил при прокатке.

Определим, при каком угле захвата  $\varphi$  сумма сил втягивающих будет равна сумме сил выталкивающих. Очевидно, этот угол и будет предельным углом захвата при установившемся процессе.

Переменный угол между силой  $R$  и силой  $C$  в области действия выталкивающих сил  $V_-$  равен  $\varphi - \beta$  (фиг. 48, точка  $c$ ); такой же угол для области втягивающих сил  $V_+$  равен  $\beta - \varphi$  (фиг. 48, точка  $b$ ). Выражая  $V_-$  и  $V_+$  как функции постоянной силы  $R$  и переменных углов  $\varphi - \beta$  и  $\beta - \varphi$ , получаем:

$$V_- = R \sin(\varphi - \beta); \quad V_+ = R \sin(\beta - \varphi) = -R \sin(\varphi - \beta),$$

откуда

$$\sum V_- = \int_{\beta}^{\varphi} R \sin(\varphi - \beta) d\varphi = \left| -R \cos(\varphi - \beta) \right|_{\beta}^{\varphi} = -R [\cos(\varphi - \beta) - \cos 0^\circ];$$

$$\sum V_+ = \int_0^{\beta} -R \sin(\varphi - \beta) d\varphi = \left| R \cos(\varphi - \beta) \right|_0^{\beta} = R [\cos 0^\circ - \cos \beta].$$

Так как нам необходимо, чтобы суммы положительных и отрицательных сил были равны, то

$$-R [\cos(\varphi - \beta) - \cos 0^\circ] = R [\cos 0^\circ - \cos \beta],$$

т. е.

$$\cos(\varphi - \beta) = \cos \beta; \quad \varphi - \beta = \beta; \quad \varphi = 2\beta;$$

Итак, мы нашли значение угла захвата  $\varphi = 2\beta$ , при котором наступает равновесие сил втягивающих и отталкивающих, откуда и получаем условие захвата при установившемся процессе, согласно которому должно.

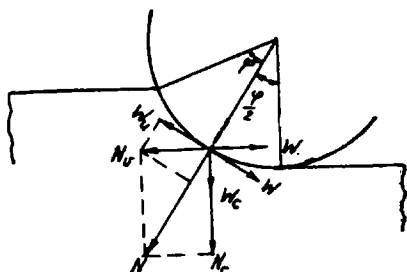
быть:  $\varphi < 2\beta$ . Если же угол захвата  $\varphi$  взят больше  $2\beta$ , будут преобладать отрицательные силы  $V_-$ , и процесс прокатки приостановится: валки скользят по металлу.

У некоторых авторов такие же выводы об условиях захвата получаются в результате несколько иного хода рассуждений. Например<sup>1</sup>, считая, что нормальные силы во всех точках дуги захвата остаются постоянными, найдем, что равнодействующая давления  $N$  (фиг. 49) пройдет через середину дуги захвата, под углом, равным  $\frac{\varphi}{2}$ . Сила  $N$ , может быть

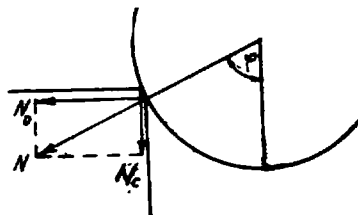
разложена на вертикальную составляющую  $N_c = N \cos \frac{\varphi}{2}$  и горизонтальную  $N_v = N \sin \frac{\varphi}{2}$ .

Последняя составляющая и будет выталкивать болванку из валков. Для того, чтобы при установившемся процессе прокатки происходило истечение металла, необходимо силу  $N_v$  уравновесить силой  $W_v$ , направленной в противоположную сторону и не меньшей по величине  $N_v$ . Сила эта создается окружным усилием вала  $W$ , которое должно быть равно:

$$W = \frac{N_v}{\cos \frac{\varphi}{2}} = N \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2}} = N \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}.$$



Фиг. 49. Условия захвата болванки валками по М. Вращкову.



Фиг. 50. Силы, действующие в начале захвата.

Валок не будет скользить по металлу, очевидно, в том случае, когда касательное усилие не превышает силы трения, возникающей от действия силы и равной  $T = N \operatorname{tg} \beta - N \cdot f$ , (где  $\beta$  — угол трения и  $f$  — коэффициент трения), что математически можно записать так:

$$N \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \geq Nf; \quad N \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \geq N \operatorname{tg} \beta;$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \geq \operatorname{tg} \beta; \quad \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \geq f \quad \text{и} \quad \frac{\varphi}{2} \geq \beta;$$

т. е. угол трения в этом случае не должен быть меньше половины угла захвата или угол захвата не должен быть более  $2\beta$ .

Для *установившегося* процесса необходимо предположить, что вследствие удара валков при задаче болванки ребро ее слегка притупляется и образуется небольшая площадка, в отношении которой можно повторить те же рассуждения, принимая, что равнодействующая  $N$  проходит в этом случае под углом, равным углу захвата  $\varphi$ . Тогда (фиг. 50)  $N_v = N \sin \varphi$  и  $N_c = N \cos \varphi$ , а  $W = N \operatorname{tg} \varphi$  — так же, как и ранее, для осуществления захвата без скольжения необходимо, чтобы  $T \leq W$  или  $Nf \leq N \operatorname{tg} \varphi$  и  $f \leq \operatorname{tg} \varphi$ ;  $\operatorname{tg} \beta \leq \operatorname{tg} \varphi$  и  $\beta \leq \varphi$ , т. е. угол трения не должен быть меньше угла захвата или *угол захвата не должен превышать угла трения*.

К таким же выводам можно прийти рассматривая действие сил, аналогично тому, как это сделано на фиг. 51, где действие всех нормальных сил выражается в выталкивании болванки, а окружных усилий — во втягивании. Геометрические преобразования дадут те же результаты.

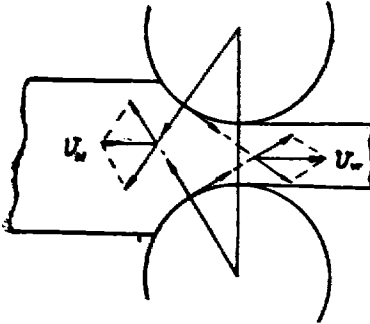
<sup>1</sup> М. В. Вращкий, О захвате металла валками при прокатке.



Динамические условия захвата<sup>1</sup>. Во всех до сих пор приводимых рассуждениях совершенно не учитывалось, что скорость болванки, подводимой к валкам, не всегда равна скорости ее прокатки, и, таким образом, болванка должна первоначально получить известное ускорение, для того, чтобы ее скорость сравнялась с горизонтальной составляющей окружной скорости валков.

Это обстоятельство требует своего учета, ибо трение покоя всегда больше трения движения, а, следовательно, и условия захвата будут оптимальными при равенстве скоростей на поверхности соприкосновения металла с валком.

Необходимое для достижения болванкою определенной скорости ускорение может быть сообщено ей извне (рольгангом, предшествующей парой валков, вальцовщиком). Если же оно производится валками, то потребуются определенный промежуток времени в течение которого болванка получит необходимое приращение живой силы, промежуток времени, за который захват будет всегда происходить с большим или меньшим скольжением. Приращение живой силы болванки за этот промежуток времени равно:



Фиг. 51. Действие на болванку вытягивающих и втягивающих сил.

$$\frac{Mv_1^2}{2} - \frac{Mv_0^2}{2} = \int PdS, \quad (1)$$

где

$M$  — масса болванки;  
 $v_0$  — начальная скорость;  
 $v_1$  — конечная скорость;  
 $P$  — действующее усилие, сообщаемое болванке ускорение;  
 $dS$  — бесконечно малый элемент дуги.

Но в процессе захвата болванки скорость ее будет изменяться, постепенно увеличиваясь. Вследствие увеличения площади соприкосновения металла с валком с течением времени будут увеличиваться и действующие на болванку усилия. Обе эти величины, можно выразить как функции времени, приняв, что они изменяются в прямой пропорциональной зависимости. Тогда уравнения изменения скорости и усилий выразятся через

$$v = k \cdot t, \quad (2)$$

$$P = n \cdot t. \quad (3)$$

Так как  $S = v \cdot t$ , то  $dS = v dt$ , т. е. дифференциал пути равен произведению скорости на дифференциал времени.

Подставив сюда значение  $v = kt$ , получим

$$dS = k \cdot t \cdot dt. \quad (4)$$

Если начальная скорость болванки  $v_0 = 0$ , то время, необходимое для придания болванке скорости, равной скорости валков, можно определить интегрированием уравнения (1). Для этого подставим в него значения уравнений (3) и (4):

$$\frac{Mv_1^2}{2} = \int_0^T nkt \, dt = \int_0^T n \cdot k \cdot t^2 \, dt = nk \left. \frac{t^3}{3} \right|_0^T = \frac{nkT^3}{3}. \quad (5)$$

В момент, когда скорость болванки сравняется со скоростью валков (по истечении времени  $T$ ), согласно ранее принятому

$$v_1 = k \cdot T.$$

Подставляя это значение в уравнение (5), получаем:

$$\frac{Mk^3 T^3}{2} = \frac{n \cdot k T^3}{3},$$

откуда

$$T = \frac{3}{2} \frac{k}{n} \cdot M, \quad (6)$$

т. е. получаем время, необходимое для достижения болванкою скорости, равной скорости валков.

Анализ полученного выражения показывает, что оно:

- 1) прямо пропорционально массе болванки;
- 2) тем меньше, чем меньше коэффициент  $k$ , т. е. чем медленнее увеличивается скорость валка и чем плавнее производится захват;

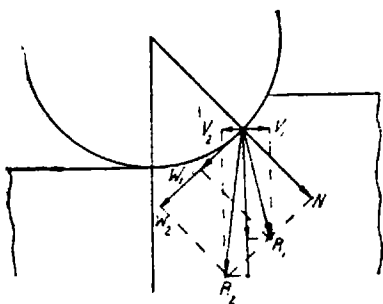
<sup>1</sup> М. В. Врацкий, О захвате металла валками при прокатке.

8) тем меньше, чем больше коэффициент  $n$ , т. е. чем быстрее нарастает действующее усилие, вследствие более быстрого увеличения площади соприкосновения между металлом и валками, чему в свою очередь способствует уменьшение дуги захвата.

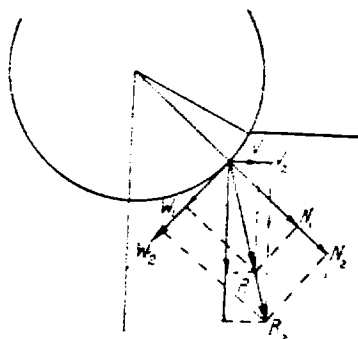
Отсюда вытекает, что реверсивные станы, число оборотов валков которых, а следовательно и скорость их вращения, могут быть регулируемы в достаточно широких пределах, в отношении захвата металла, находятся в более благоприятных условиях, чем станы нереверсивные, снабженные маховиком.

## § 8. Факторы, влияющие на захват

**Коэффициент трения.** Вышеизложенные условия захвата, согласно которым при неустановившемся процессе  $\varphi \cong \beta$ , а при установившемся  $\varphi \leq 2\beta$ , показывают, что коэффициент трения является решающим фактором надежности захвата. Поэтому в случае плохого захвата металла валками, что бывает часто в начале захвата, когда процесс еще не установился, прибегают к искусственному повышению коэффициента трения (подсыпая в места соприкосновения песок, опилки). Действие увеличения коэффициента трения сказывается на увеличении силы  $W$ , что при постоянстве  $N$  ведет к изменению направления силы  $V$ . На фиг. 52 представлено первоначальное положение  $R_1$ , дающее  $V_1$ , направленное отрицательно.



Фиг. 52. Появление стягивающих сил вследствие увеличения коэффициента трения.



Фиг. 53. Влияние изменения пластичности металла на действие сил в момент захвата болванки.

При увеличении коэффициента трения  $W = f \cdot N$  соответственно увеличивается до  $W_2$ , что при постоянном  $N$  дает изменение направления равнодействующей  $R_2$ , так что  $V_2$  становится силой, стягивающей болванку.

**Степень пластичности.** При уменьшении пластичности металла увеличивается его сопротивление деформации, возрастает величина удельного давления. С увеличением силы  $N$  соответственно увеличивается и  $W = f \cdot N$ . В условиях установившегося процесса такое пропорциональное увеличение сил  $N$  и  $W$ , повидимому, не влияет на соотношение между стягивающими и выталкивающими силами. Если процесс не установился, уменьшение пластичности скажется отрицательно на условиях захвата. Фиг. 53 показывает, что увеличение  $N_1$  до  $N_2$ , вызывающее соответственное увеличение  $W$  и  $R$ , приводит к увеличению и сил  $V$ .

Кроме того, следует считаться с тем обстоятельством, что уменьшение пластичности ведет к увеличению упругих свойств, которыми, вообще говоря, обладает в той или иной степени всякое пластичное тело. Эти упругие свойства тела с неполной пластичностью будут проявляться при его деформации в том, что, деформируясь, металл в каждый данный момент частично будет возвращаться к предшествующей форме, т. е. в процессе захвата его валками площадь соприкосновения металла с валками в каждый последующий бесконечно малый промежуток времени после соответствующего увеличения ее, будет несколько сокращаться. Таким образом, в процессе захвата площадь соприкосновения металла, с валком, величина которой имеет значительное влияние на захват металла, будет в случае неполной пластичности все время изменяться в сторону попеременного увеличения и уменьшения, что, естественно, при одном и том же коэффициенте трения приведет к ухудшению захвата.

Следовательно, при неизменном коэффициенте трения и прочих равных условиях уменьшение пластичности поведет к уменьшению предельного угла захвата. Опыты, произведенные в этом направлении проф. W. Tafel'ем подтверждают эти выводы. Tafel задавал в одни и те же валки бруски из дерева, воска и парафина. Для того чтобы исключить влияние различных коэффициентов трения, все бруски были покрыты бумагой. Результаты его исследований сведены в таблице 3.

Таблица 3

Предельные углы захвата по Tafel'ю			
Материал	Дерево	Воск	Парафин
Предельный угол захвата	13°30'	20°44'	25°14'

Мы рассматривали влияние степени пластичности при условии неизменяемости коэффициента трения, между тем последний с изменением удельного давления также изменяется. Еще нет достоверных опытных данных о коэффициентах трения для металлов при температурах прокатки. Однако проведение аналогии с изменением такового у металлов в холодном состоянии дает возможность судить о направлении его изменения в горячем состоянии.

В таблице 4 приводятся данные Rennie, характеризующие изменение с увеличением нагрузки коэффициента трения в холодном состоянии слегка смазанного железа о чугун.

Таблица 4

Коэффициенты трения по Rennie							
Нагрузка (кг/см <sup>2</sup> ) . . . . .	8,8	18,3	26,2	36,8	39,4	47,3	55,9
Коэффициент трения . . . . .	0,17	0,32	0,35	0,37	0,38	0,43	заедание

Следовательно, уменьшение пластичности, в известных случаях, может оказать влияние на коэффициент трения, а следовательно, и на изменение условий захвата.

**Температура прокатки.** От температуры нагрева металла зависит степень пластичности последнего, а, следовательно, и величина коэффициента трения. *Пластичность металла, с повышением его температуры, как правило, увеличивается* (для некоторых сортов специальных сталей чрезвычайно высокая температура нагрева приводит к потере пластичных свойств), что является фактором, благоприятствующим захвату. Коэффициент же трения при повышении температуры уменьшается, в виду уменьшения удельного давления, вследствие увеличения пластичности. Таким образом, *увеличение температуры металла оказывает свое влияние на условия захвата в двух противоположных направлениях: с одной стороны, улучшает захват увеличением пластичности, с другой ухудшает — уменьшением коэффициента трения.* Учитывая, что повышение температуры металла уменьшает сопротивление деформации, следует стремиться к прокатке при возможно высоких температурах, допуская для них наибольшие деформации; данные проф. Tafel'я, приведенные в таблице 5, подтверждают это правило.

Таблица 5

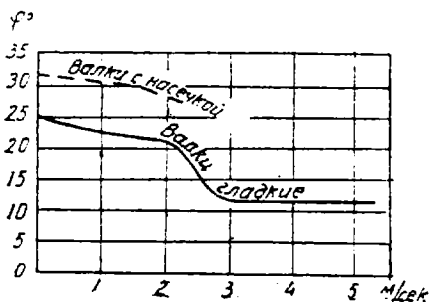
Максимальные обжатия по Tafel'ю		
	Максим. обжатие при белом калении (%)	Максим. обжатие при красном калении (%)
Для сортовых сталей .	50	30
• малых обжимных .	30	25
• крупных блюмингов	25	20

Вопрос о характере изменения коэффициента трения с изменением температуры из-за отсутствия достоверных опытных данных окончательно еще не решен. Мнения некоторых исследователей процессов пластической деформации в этом вопросе расходятся. По результатам последних экспериментальных исследований процесса прокатки Metz'a<sup>1</sup>, Зибеля и др. будем считать, что коэффициент трения с понижением температуры металла (в пределах 700—1300°) увеличивается с повышением—уменьшается.

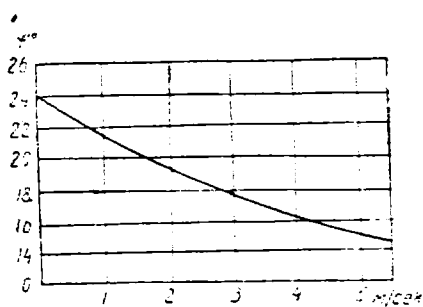
С нашей точки зрения, увеличение коэффициента трения при повышении температуры следует обосновывать увеличением удельного давления, что и имеет место, согласно данных Rennie (таблица 4) для поверхностей, трущихся в холодном состоянии, и может быть отнесено по аналогии и к трению металла в горячем состоянии. Установившееся обратное мнение части исследователей и практиков прокатки объясняется, очевидно, получаемыми обычно улучшениями условий захвата при повышении температуры, как это показывают и данные проф. Tafel'я. Известное значение здесь имеет также наличие окислы.

Но по нашему мнению, эти результаты повышения предельного угла захвата при повышении температуры следует объяснять превалярованием в данном частном случае фактора, способствующего захвату—увеличения пластичности, над отрицательным в отношении захвата фактором—уменьшением коэффициента трения.

**Скорость прокатки.** Исследования Tafel'я и Schneider'a<sup>2</sup> зависимости условий захвата от скорости прокатки дали в результате представленную на фиг. 54 диаграмму, показывающую, что надежный захват в гладких валках при  $\varphi = 20—24^\circ$  может осуществляться при скоростях, не превышающих 1,5 м/сек. При значительных скоростях прокатки угол захвата не



Фиг. 54. Влияние окружной скорости валков на величину предельного угла захвата.



Фиг. 55. Изменение угла трения в зависимости от скорости.

должен превышать 10—11°. Такое сильное влияние скорости прокатки объясняется резким уменьшением коэффициента трения с увеличением скорости. Для трущихся поверхностей в холодном состоянии коэффициент трения понижается по формуле Флишера<sup>3</sup>:

$$f = \frac{0,33}{1 + 1,08v}$$

где  $v$  — скорость (м/сек).

Диаграмма Wichert'a<sup>4</sup> на фиг. 55 выражает эту зависимость графически от угла трения.

Кроме уменьшения коэффициента трения, при увеличении скорости прокатки ухудшаются динамические условия захвата, так как будет увеличен коэффициент  $k$  в уравнении (6), т. е. удлинится промежуток времени, необходимый для ускорения болванки до нормальной скорости валков.

Пластичность металла также при увеличении скорости деформации будет ухудшаться, так как вследствие непродолжительности действия сил деформация может не успеть распространиться на все сечения, и металл будет в большей степени проявлять упругие свойства.

<sup>1</sup> Revue de Metallurgie № 1—2, 1926 г.

<sup>2</sup> W. Tafel und Schneider, Das Greifen von Walzen bei veränderlicher Walzgeschwindigkeit, Stahl und Eisen, 1924 г., № 12.

<sup>3</sup> Проф. С. П. Гомелля, Тормоза грузоподъемных машин.

<sup>4</sup> М. В. Врацкий, О захвате металла валками при прокатке.

**Состояние поверхностей и материал валков.** Шероховатость поверхности валков влияет на величину коэффициента трения, а, следовательно, будет обуславливать величину *предельного угла захвата*. Особенно сильное влияние оказывает на величину угла захвата *насечка на поверхности валков*. Диаграмма Tafel'я и Schneider'a (фиг. 54) показывает, что насечка позволяет *повысить угол захвата в среднем на 5—6°*.

Действие насечки сказывается не в увеличении коэффициента трения, а в *механическом захвате болванки*; грубо увеличенная схема действия насечки показана на фиг. 56. Насечка, благодаря тому, что, врезываясь в металл, нарушает целостность поверхности его, может быть применяема лишь в обжимных и черновых пропусках, за несколько пропусков до получения готового профиля. Кроме того, при значительном увеличении окружной скорости валков насечка динамическими усилиями будет срывать площадки *ab* (фиг. 56) и захват не может осуществиться.

*Материал валков также оказывает свое влияние на коэффициент трения.* Наибольшим коэффициентом трения обладают полутвердые чугуны валки, затем валки из закаленного чугуна и наименьшим—стальные валки.

**Теплоотдача между металлом и валком.** Большая или меньшая величина теплоотдачи будет оказывать свое действие на температуру валков и поверхности болванки. Действие же температуры будет обуславливать тот или иной коэффициент трения и пластичность металла, влияющие на величину угла захвата.

**Химический состав металла.** Изменение химического состава металла будет влиять на его механические и физические свойства, следовательно, может отразиться на *величине коэффициента трения, на степени пластичности и потому может вызвать улучшение или ухудшение условий захвата.*

Подытоживая влияние на захват всех основных факторов, можно заметить, что большинство из них сводятся в конечном счете к изменению в ту или иную сторону *коэффициента трения, знание которого дало бы возможность с большей или меньшей точностью вычислять предельный угол захвата*, как для неустановившегося, так и для установившегося процесса. Однако, как уже упоминалось выше, мы еще на располагаем достоверными опытными данными относительно значения коэффициента трения пластичного металла о валки. Наиболее видные исследователи прокатки дают следующие его значения:

	L. Geuze <sup>1</sup>	$\varphi = 22^{\circ}30'$ ;
	E. Kirchberg <sup>2</sup>	$\varphi = 30^{\circ}$ ;
	Horst <sup>3</sup>	$\varphi = 30^{\circ}$ для насеченных валков;
	W. Tafel u. Salzbrenner	$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = 34^{\circ} \\ \varphi = 24^{\circ} \end{array} \right.$ для гладких. "
	W. Tafel u. Schneider <sup>4</sup>	$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = 32^{\circ} \\ \varphi = 20^{\circ}40' \end{array} \right.$ для насеченных валков; для гладких.
	проф. Грум-Гржимайло <sup>5</sup>	$\varphi = 25—27^{\circ}$ иногда до $33^{\circ}$ ; $\varphi = 22,5—24^{\circ}$ для гладких валков;
	H. Cramer <sup>6</sup>	$\varphi = 30—34^{\circ}$ для насеченных валков.

<sup>1</sup> Leuze. Traité théorique et pratique de laminage du fer et de l'acier.

<sup>2</sup> E. Kirchberg, Grundzuge der Walzenkalibrierung.

<sup>3</sup> W. Tafel, Walzen und Walzenkalibrierung.

<sup>4</sup> Tafel und Schneider. Das Greifen von Walzen bei veränderlicher Walzengeschwindigkeit. Stahl und Eisen, 1924 г. № 2.

<sup>5</sup> Проф. В. Е. Грум-Гржимайло, Металлургия стали, ч II.

<sup>6</sup> Stahl und Eisen, 1927 г., стр. 583.

Практически считают, что *максимальный угол захвата при установленном процессе может достигать 32°*, но, согласно диаграмме Tafel'я и Schneider'a (фиг. 54), *надежный захват будет осуществляться для гладких валков при угле захвата  $\varphi=20^\circ$  и для насеченных валков 30° при больших скоростях.*

При скоростях, превышающих 3 м/сек можно рекомендовать предельные надежные углы захвата: для гладких валков 10—12°, для хорошо насеченных 20—25°.

## § 9. Методы экспериментального исследования процессов пластической деформации

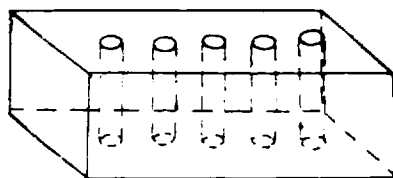
Для изучения элементарных процессов деформации как ковка, прессование в известной степени достаточно наблюдения за изменением внешней формы предмета в течение процесса. По формоизменению обрабатываемого металла можно судить о направлениях истечения частиц, а также о количественном распределении потоков и делать выводы и заключения о закономерности, которой подчинен тот или иной элементарный процесс деформации.

Процесс прокатки, как это видно из анализа действующих в нем сил, является процессом более сложным, так как при переходе металла в области деформации из одного сечения в другое происходит изменение и величин и направлений действующих сил. Поэтому судить о характере и величине истечения только по изменению внешней формы прокатываемой болванки нельзя; это влекло за собой параллельное развитие теоретических и экспериментальных исследований прокатки.

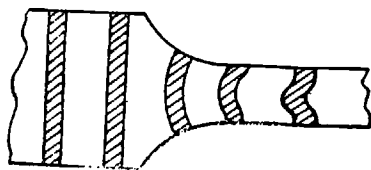
В качестве одного из первых шагов в экспериментальных исследованиях процесса прокатки следует упомянуть о *методе Голленберга* (Hollenberg), примененного им при выполнении порученной Союзом германских металлургов работы в комиссии по исследованию расхода энергии при прокатке.

Для изучения вопроса о *внутреннем перегибании частиц в области деформации* Голленберг применил следующий метод<sup>1</sup>. В болванке (фиг. 57) по оси на равном расстоянии были просверлены дыры, куда вставлялись железные прутки.

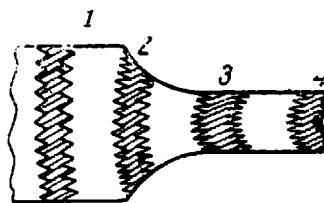
Для получения большей плотности холодные прутки вставлялись в болванку, нагретую до красного каления, и снаружи расклепывались.



Фиг. 57. Прутки Голленберга.



Фиг. 58. Изогнутые прутки Голленберга.



Фиг. 59. Изгиб винтов по Метцу.

Такая опытная заготовка задавалась в валки прокатного стана таким образом, чтобы вставленные прутки находились в *вертикальной плоскости*, причем на ходу процесса прокатки болванка затормаживалась, т. е. обжималась только часть ее. Затем болванка разрезалась по линии расположения стержней и протравливалась. Полученная картина *искривления стержней давала представление о характере металла.*

На фиг. 58 представлен один из случаев, имевший место при исследованиях Голленберга.

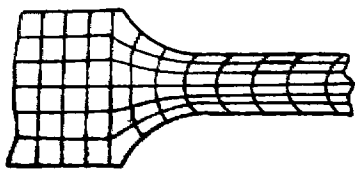
Усовершенствование этого метода опытного исследования процесса прокатки было сделано Метцом (N. Metz)<sup>2</sup>. Вместо гладких стержней Метц помещал в болванку винты

<sup>1</sup> Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen von Eisen, Stahl und Eisen 1888 г., № 2, стр. 125.

<sup>2</sup> Revue de Universelle des Mines, 1923 г., № 5, Опытное исследование горячей прокатки железа, перевод в журн. „Вопросы металлургии“, 1926 г.

Revue de Metallurgie, 1926 г., № 1—2.

с определенным шагом нарезки. После деформации изгиб винтов давал возможность определять продольное истечение металла, изменение же шага нарезки в каждом отдельном винте показывало, какие части сечения подвергались сжатию, т. е. глубину распространения деформации. На фиг. 59 представлен случай, при котором винт 1 еще совершенно не деформирован, винт 2 имеет смятую нарезку в слоях, прилегающих к поверхностям соприкосновения металла с валком, и винт 3 имеет смятую нарезку по всему сечению. Это означает, что в сечении, соответствующем винту 2, деформация еще не распространилась на всю глубину сечения, как в сечении 3.



Фиг. 60. Изменение нанесенной на болванку сетки при прокатке.

ности болванки наносят сетки (фиг. 60) путем выстругивания неглубоких борозд. Та или иная деформация сетки позволяет судить о характере истечения металла при этом.

Наконец, при опытных исследованиях процессов пластической деформации, в том числе и для исследования истечения металла при прокатке, на боковые поверхности болванки наносят сетки (фиг. 60) путем выстругивания неглубоких борозд. Та или иная деформация сетки позволяет судить о характере истечения металла при этом.

## § 10. опережение и попятное движение

Практиками прокатного дела уже давно было замечено, что скорость выхода полосы из валков всегда в большей или меньшей степени превышает окружную скорость валков, т. е. выходящий металл как бы опережает валки. Эти явление называют опережением.

Практически под скоростью прокатки часто подразумевают окружную скорость валков ( $m/сек.$ ), вычисленную из среднего их диаметра

$$D_{ср} = \frac{D_s + D_n}{2},$$

где  $D_s$  — диаметр верхнего валка и  $D_n$  — нижнего. Действительная же скорость выхода полосы из валков всегда, в большей или меньшей степени, превышает вычисленную таким образом.

Так как скорость выхода полосы из валков является величиной, определяющей производительность стана, величиной, которую необходимо знать при калибровке непрерывных станов, расчете величины „карманов“ при петлевой прокатке и т. д., то вполне понятно, что изучением этого явления занимались многие исследователи прокатки.

В 1880 г. Союз германских металлургов выделил специальную комиссию под руководством Blass'a и Kolman'a, которая поставила весьма детально и тщательно опыты по определению процесса деформации металла и произвела исследования явлений, сопровождающих процессы прокатки. Через год после проведения опытов Blass — один из руководителей — опубликовал свою теорию процесса прокатки, основанную на теории конусов скольжения Kisk'a<sup>1</sup>, в которой он объяснял явления опережения.

В опытах Blass'a, позже Cotel'a<sup>2</sup> и Ruppe<sup>3</sup> наличие опережения обнаруживалось следующим образом. На поверхности валка делались углубления на определенных расстояниях  $l$  (фиг. 61), которые потом сравнивались с длиной  $L$  полученных отпечатков на поверхности болванки. Всегда получалось  $L > l$ , что подтверждало явление опережения. Величина опережения, определяемая обыкновенно в процентах как  $\frac{v - v_0}{v_0} \cdot 100$ , где  $v$  — фактическая

скорость выхода полосы из валков и  $v_0$  — окружная скорость валков, — получалась различной.

Kirchberg<sup>4</sup> в своей теории опережения придает большое значение влиянию на величину опережения разности температур валков и металла. В качестве примера, демонстрирующего влияние температурного фактора на опережение, он приводит нижеописанный случай.

На стане прокатывался периодический профиль — спицы для вагонных колес (фиг. 62); каждый оборот валков, как это видно из приводимой схемы, давал 2 спицы, болванка имела

<sup>1</sup> Stenographisches Protokoll der General-Versammlung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute vom 21 Mai 1882, Stahl und Eisen, № 6 и № 27, 1882 г.

<sup>2</sup> Stahl und Eisen, 1908 г.

<sup>3</sup> Ueber das Voreilen beim Walzen, Stahl und Eisen, 1909 г., № 5.

<sup>4</sup> E. Kirchberg, Grundzüge der Walzenkalibrierung, Dortmund, 1905 г.

вес, достаточный для получения из нее 18 спиц. Однако при прокатке столкнулись с непредвиденным затруднением: оказалось, что только первые 4 спицы получались требуемой длины, 5-я же получалась короче первой уже на 15 мм; между 8-ой и 10-ой спицей опережение делалось равным нулю, а в последующих становилась даже отрицательным, доходя до укорочения последней спицы на 80 мм. Для устранения этого пришлось установить водяное охлаждение обоих валков. Таким способом удалось достигнуть получения всех 18 спиц в пределах установленных для них допусков по длине; возможно было даже посредством большего или меньшего подвода воды регулировать длину спиц.

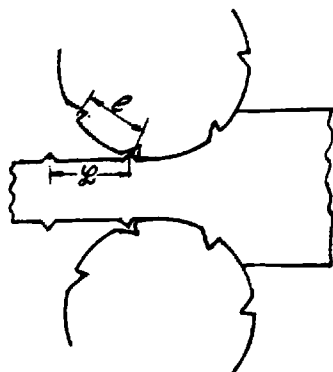
1. Puppe<sup>1</sup>, проводя ряд многочисленных опытов, построил кривые, показывающие влияние на опережение температуры и величины обжатия болванки (фиг. 63). Анализируя полученную диаграмму, он приходит к следующим выводам:

1. Скорость выхода металла из валков, начиная с известной величины обжатия и ниже определенной максимальной температуры, больше линейной скорости валков.

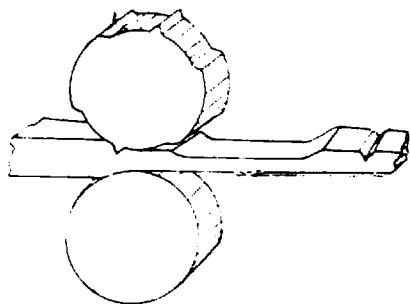
2. Отношение скорости выхода болванки к окружной скорости валков тем больше, чем: а) ниже температура металла, б) больше высота болванки после пропуска, в) больше коэффициент обжатия и г) меньше радиус валков.

3. Опережение появляется при известном минимальном коэффициенте обжатия (16%), вначале быстро с его повышением возрастает, а затем постепенно приближается к

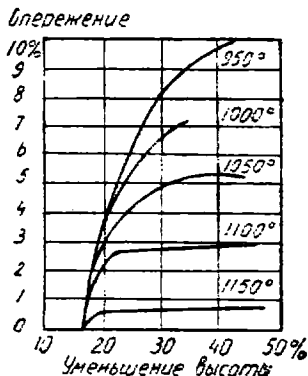
4. Максимальное значение величины опережения составляет при температуре 1150° около 0,7%, при температуре 950° около 10%.



Фиг. 61. Экспериментальная проверка опережения по отпечаткам на полосе от углублений на валках.



Фиг. 62. Прокатка спиц.



Фиг. 63. Данные Пуппе об опережении.

5. Всякой температуре металла соответствует максимальная величина опережения, на которую дальнейшее увеличение обжатия не оказывает существенного влияния.

6. Качество металла, повидимому, не влияет на величину опережения.

Приведенные опытные данные уже сами по себе характеризуют всю сложность явления опережения. Из всех теорий, объясняющих причины опережения металла при прокатке, наиболее исчерпывающим, на наш взгляд, является анализ этого явления, предложенный Tafel<sup>2</sup> ем<sup>3</sup>, видоизмененный и дополненный проф. Виноградовым<sup>3</sup>.

Предположив, что благодаря трению металл как бы прилипает к валкам по дуге захвата, можно определить горизонтальную скорость перемещения частиц металла в направлении прокатки, которая должна быть равной (фиг. 64):

$$v_2 = v_0 \cos \alpha_2,$$

где  $v_0$  — окружная скорость поверхности валков,

<sup>1</sup> Stahl und Eisen, 1909 г., № 5.

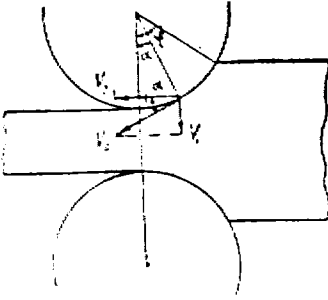
<sup>2</sup> Tafel, Walzen und Walzenkalibrierung, 1923 г., русский перевод под редакцией проф. Виноградова, Гостехиздат, 1930 г.

<sup>3</sup> Научные записки кафедры механико-термической обработки металлов Днепропетровского горного института, 1928 г.

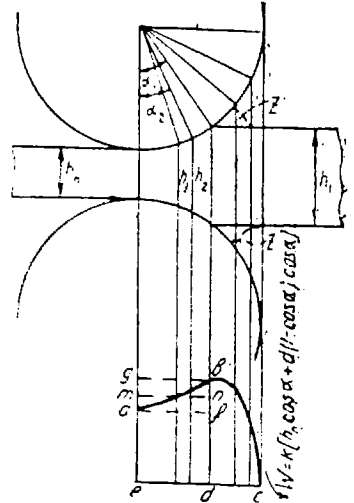


$\alpha_x$  — переменный центральный угол рассматриваемой точки, могущий иметь предельные значения от 0 до  $\varphi^\circ$ , равного предельному углу захвата. Таким образом, скорость горизонтального перемещения металла будет величиной переменной, определяемой положением частиц в области деформации.

Рассечем область деформации металла на несколько плоскостей 1, 2, 3... перпендикулярно к направлению прокатки. Если принять, временно, что ширина полосы  $B$  (перпендикулярно плоскости фигуры) в процессе деформации не изменяется, то в области деформации получим ряд прямоугольников с одинаковыми основаниями  $B$  и переменными высотами  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$  (фиг. 65).



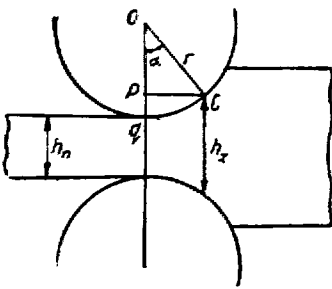
Фиг. 64. Окружная и горизонтальная скорости прокатки.



Фиг. 65. Диаграмма Тафеля.

Второе, временное допущение, которое, упрощая дальнейший механико-математический анализ, в последующем поможет выяснить характер истечения металла, заключается в принятии скоростей перемещения всех частиц каждого сечения равными теоретическим скоростям продольного перемещения той точки поверхности вала, через которую проходит сечение.

Определим объемы металла, проходящие через каждое сечение в единицу времени, которые при соблюдении вышеприведенных условий будут определяться произведением площади каждого сечения на скорость продольного перемещения его частиц.



Фиг. 66. Высоты сечений полосы для диаграммы Тафеля.

Здесь индексы означают соответствующее сечение. Так как нам желательно иметь выражение функции через возможно меньшее количество переменных, то выразим  $h$  как функцию углов  $\alpha$ .

Отрезок  $pq$  (фиг. 66) для различных сечений  $h_x$  будет всегда равен  $\frac{h_x - h_n}{2}$ . С другой стороны, он равен  $r - op$ , где  $op = r \cos \alpha_x$ , откуда:

$$\frac{h_x - h_n}{2} = r - r \cos \alpha_x = r(1 - \cos \alpha_x)$$

$$W_1 = B_1 h_1 v_1 = B_1 h_1 v_0 \cos \alpha_1;$$

$$W_2 = B_2 h_2 v_2 = B_2 h_2 v_0 \cos \alpha_2;$$

$$W_3 = B_3 h_3 v_3 = B_3 h_3 v_0 \cos \alpha_3;$$

.....

$$W_n = B_n h_n v_n = B_n h_n v_0 \cos \alpha_n.$$

или

$$h_x - h_n = 2r(1 - \cos \alpha_x);$$

$$h_x = h_n + d(1 - \cos \alpha_x).$$

Таким образом:

$$h_1 = h_n + d(1 - \cos \alpha_1);$$

$$h_2 = h_n + d(1 - \cos \alpha_2);$$

$$h_3 = h_n + d(1 - \cos \alpha_3);$$

$$\dots$$

Если подставить полученные значения в наши найденные выражения для объемов, то получим:

$$W_1 = B_1 v_0 [h_n + d(1 - \cos \alpha_1)] \cos \alpha_1;$$

$$W_2 = B_2 v_0 [h_n + d(1 - \cos \alpha_2)] \cos \alpha_2;$$

$$W_3 = B_3 v_0 [h_n + d(1 - \cos \alpha_3)] \cos \alpha_3;$$

$$\dots$$

$$W_n = B_n v_0 [h_n + d(1 - \cos \alpha_n)] \cos \alpha_n.$$

Так как мы приняли, что  $B_1 = B_2 = B_3 = \dots = B_n = B$ , то в выражениях для объемов переменным будет только угол  $\alpha$ . Поэтому можно изобразить графически изменение объема, проходящего через область деформации, откладывая на оси абсцисс значение углов, а на оси ординат — получаемые при вычислении объемы. На фиг. 65 аналогичное построение сделано под самой схемой области деформации, т. е. под каждым сечением отложено соответственное ему  $W_1$ . После построения получается кривая  $abc$ . Из полученной диаграммы для нас практическое значение имеет лишь участок  $abde$ , соответствующий действительной области деформации. Участок построенный теоретически для углов захвата до  $90^\circ$ , т. е. нереальных при прокатке углов, поэтому отбрасываем.

Анализируем полученную диаграмму объемов. Первое, что обращает на себя внимание — это *неравенство захватываемого в первом сечении и выбрасываемого в последнем объемов металла. Захватывается металла в единицу времени больше, чем его выпускается. Это прямо противоречит закону сохранения вещества.* Металл не может столь значительно уплотниться, чтобы поглотить весь захватываемый, по сравнению с выпускаемым количеством, избыток. *Количество захватываемого и выпускаемого металла должно быть постоянным, что на диаграмме выразится прямой, параллельной оси абсцисс, проходящей на расстоянии, которое бы и характеризовало объем металла, действительно выпускаемый валками в единицу времени.*

Для определения положения этой прямой рассмотрим все возможные места ее прохождения.

1. Предположим, что действительный объем металла, выбрасываемого валками в единицу времени, будет пропорционален отрезку  $ae$ . Тогда такой же объем металла должен проходить в единицу времени в каждом сечении болванки, проходящей через область деформации. Графически это изобразится прямой линией  $af$ , параллельной оси абсцисс. Но, при условии прилипания частиц металла к поверхности валков, т. е. совпадения скорости перемещения металла со скоростью соответственных точек поверхности валков, во всех сечениях, предшествующих  $n$ -тому, будет захватываться металла больше, чем пропускаться через валки. Для 1-го сечения, например, этот избыток захваченного металла будет соответствовать отрезку  $fb$ .

Рассматривая выражения для теоретического объема металла, проходящего через 1-ое сечение, в единицу времени

$$W_1 = B_1 v_1 h_1 = B_1 v_1 [h_n + d(1 - \cos \alpha_1)]$$

и зная, что действительный объем должен быть меньше  $W_1$ , попробуем определить за счет какого фактора, произойдет это уменьшение. Так как  $h_n$ ,  $d$ , и  $\alpha_1$  являются величинами строго определенными, очевидно, изменению должны подвергнуться  $B_1$  и  $v_1$ . Ширину  $B_1$  временно будем считать постоянной. Следовательно, должно уменьшиться  $v_1$ . Мы приняли, что скорость любой частицы металла, благодаря прилипанию, точно совпадает с горизонтальной скоростью перемещения поверхности валков  $v_0 \cos \alpha$ , но в действительности оказывается, что она должна быть меньшей:

$$v_1 < v_0 \cos \alpha.$$

Поэтому нужно предполагать, что во всех сечениях, кроме  $n$ -го, металл будет двигаться медленнее, чем соответствующие точки поверхности валков, произойдет *отставание металла* или, как его называют, *попятное движение металла*.

Благодаря разности скоростей поверхностей валков и металла, в местах их соприкосновения уже не будет предполагаемого прилипания, а произойдет *скольжение металла*. Стремление валков, благодаря трению, пропустить большее, против возможного, количество металла приведет к созданию, выражаясь „гидравлически“, повышенного давления, которое может быть *уравновешено истечением металла в стороны на уширение, или назад на образование утолщения болванки  $Z^1$* , показанного на фиг. 65 пунктиром, что будет в обоих случаях означать увеличение сечения болванки. Это увеличение сечения болванки против первоначального<sup>1</sup> и *уменьшение скорости заднего конца болванки, в сравнении с теоретическим* должно произойти пропорционально отношению  $\frac{bd}{fd}$ .

2. Проанализируем другой крайний возможный случай, предположив, что действительный объем металла, выбрасываемый в единицу времени, будет соответствовать отрезку диаграммы  $bd$ . Это означает, что весь захваченный в 1-м сечении металл будет принудительно нагнетаться в щель между валками. Графически это изобразится горизонтальной прямой  $bg$ . Теперь уже в каждом сечении, находящемся впереди 1-го, фактически проходящий объем металла будет превышать теоретически исчисленный, исходя из совпадения скоростей металла и поверхности валков.

Анализ  $W_n = B_n \cdot h_n \cdot v_n$  приведет опять к выводу:

$$v_n > v_0 \cos \alpha_n,$$

т. е. *металл будет перемещаться быстрее, нежели соответствующие поверхности валков, металл будет опережать валки* и таким образом будет иметь место наблюдаемое при прокатке явление *опережения металла*.

Если при первом предположении, в случае попятного движения поверхность валков перемещалась быстрее металла, вызывая скольжение металла в обратном прокатке направлении, то во втором случае металл, опережая валки, будет вытекать из валков со скоростью, превышающей окружную скорость последних в отношении  $\frac{ge}{ae}$ .

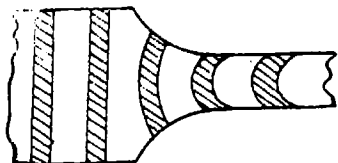
До сих пор мы брали крайние пределы возможностей хода процесса. Однако, на самом деле, как показывает практика (опытные данные исследований) почти не бывает случаев, чтобы процесс вылился в какую-либо крайнюю форму, так как *фактически выбрасываемое количество металла соответствует какому-то среднему значению, что на диаграмме выразится горизонтальной прямой тп. Тогда в процессе деформации болванки будет одновременно происходить и попятное движение, так как количество захватываемого металла, выражаемое отрезком  $bd$  диаграммы*

<sup>1</sup> Мнение Виноградова об утолщении опытами не подтверждается.

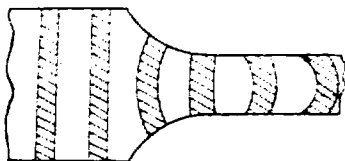
больше выпускаемого количества  $nd$ , и опережение, благодаря превышению выпускаемого объема  $те$  над пропускной способностью валков, выражаемой отрезком  $ae$ .

В точке пересечения кривой  $ab$  с параллелью  $nt$  теоретический и фактически выпускаемый объемы металла совпадают, что означает совпадение со скоростью движения поверхности валков скорости перемещения металла, т. е. в этой точке не происходит скольжения металла. Точка эта, как место перехода от попятного движения к опережению, следовательно, является критической точкой, а сечение, соответствующее этой точке, — разделом истечения или критическим сечением; в нем и попятное движение, и опережение равны нулю.

Опыты прокатки различной высоты болванок с прутками Голленберга показали, что в одних случаях получали картину деформации, соответствующую фиг. 67, в других аналогичную фиг. 68.



Фиг. 67. Изгиб прутков Голленберга назад.



Фиг. 68. Изгиб прутков Голленберга вперед.

В первом случае, при больших углах захвата, ведущая средняя часть показывала отставание; во втором, при малых углах захвата — опережение. Как следствие, можно считать, что попятное движение уменьшается при углах захвата, меньших угла трения  $\beta$ , а опережение, наоборот, увеличивается<sup>1</sup>.

Опережение, благодаря которому полоса выходит из валков со скоростью иногда значительно большей окружной скорости, дает соответствующее увеличение производительности прокатного стана. Значительное опережение и попятное движение металла вызывает значительные силы трения на поверхности соприкосновения, что отражается на расходе энергии при прокатке и на качестве поверхности прокатываемой штуки (надрывы, трещины).

Поэтому при холодной прокатке, особенно цветных металлов, с целью уменьшения трения валки и прокатываемые полосы часто поливают маслом и даже прокатывают в масле. В результате уменьшается расход энергии и повышается качество изделий.

Эта практическая сторона опережения заставляет более глубоко изучать его теоретические обоснования для овладения им и для возможности регулирования.

Однако, вышеупомянутое смазывание и прокатка в масле применимы лишь при небольших углах захвата, так как иначе могут быть ухудшены условия захвата.

Приведем по этому вопросу соответствующую выдержку из книги Иг. Павлова<sup>2</sup>: «Если угол захвата при данном прокате невелик — намного ниже угла трения, то мы можем беспрепятственно смазывать бочки валков маслом, т. е. понижать коэффициент трения вплоть до понижения угла трения до значений, отвечающих углу захвата  $\varphi$ . При прокатке тонких изделий угол захвата и не может быть сколько-нибудь значительным; имея, например, валки диаметром 250 мм и вальцу в них ленту толщиной ниже 1,0 мм, мы можем иметь максимальное обжатие в 0,5 мм. Угол захвата будет:

$$\cos \varphi = \frac{D - (H - h)}{D} = \frac{250 - 0,5}{250} = \frac{249,5}{250} = 0,9980; \quad \varphi = 3^\circ 40'.$$

Следовательно, для возможности захвата металла валками нам достаточно иметь угол трения  $\beta$  немногим выше  $3^\circ 40'$ , например:  $4^\circ$ , сообразно с чем коэффициент трения должен быть (для неустановившегося процесса)<sup>3</sup>

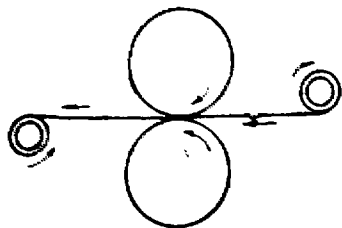
$$f = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} 4^\circ = 0,06943.$$

Если же задать в валки ленту искусственно (тем или иным способом, например, разведя валки и прижав их полностью, когда уже лента захвачена, для чего в новейших станах

<sup>1</sup> Более глубокий анализ процесса прокатки показывает, что критическое сечение всегда отклонено в сторону выхода полосы от положения сечения, отвечающего углу трения.

<sup>2</sup> Иг. М. Павлов, Прокатка цветных металлов и сплавов, ГНТИ, 1932 г., стр. 25.

имеются специальные нажимные устройства, работающие под полным давлением прокатки), то достаточно иметь еще меньший угол трения; пользуясь общепринятым соотношением (установившийся процесс)<sup>1</sup>, имеем примерно половину этого угла трения:  $\angle \beta = 2^\circ$  и тогда  $f = \text{tg } 2^\circ = 0,03492$ .



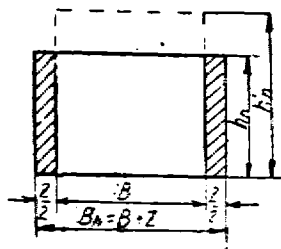
Фиг. 69. Схема прокатки в ленточном стане.

И в том и в другом случае валки могут быть смазаны маслом в большей или меньшей степени. Итак, масло может оказаться безвредным в первой части дуг захвата в смысле способности валков захватывать металл благодаря тому, что исходный коэффициент трения достаточно велик, вместе с тем оно будет уменьшать трение при выдавливании металла в последней части дуг захвата и тем самым снизит расход энергии на прокатку и уменьшит износ валков.

Когда же металл вытягивается из валков еще искусственно, например, при помощи барабана (ленточные станы — схема на фиг. 69) — тогда влияние смазки может быть особенно велико. В этом случае допускают прокатку „в масле“, весьма снижая вредные потери энергии на трение.

## § 11. Влияние уширения на опережение и попятное движение

Как приводимый выше анализ процесса деформации в валках при прокатке, так и все вытекавшие из него выводы были определены, исходя из постоянства ширины полосы  $B$ . Мы приняли, что  $B_1 = B_2 = B_3 = \dots = B_n$ . Однако под влиянием создающегося „напора“, металл уравнивается не только продольным истечением вперед и назад по отношению к направлению прокатки, но и *поперечным истечением* — „уширением“, проявляющимся в увеличении ширины полосы.



Фиг. 70. Влияние уширения на поперечное сечение полосы.

Если первоначальная ширина полосы была равна  $B$ , а после прокатки она увеличилась до величины  $B_n$ , то уширение  $Z = B_n - B$ , откуда  $B_n = B + Z$  (фиг. 70). Таким образом  $W_n = B h_n v_0 \cos \alpha_n$  в действительности должно быть равно

$W_n' = (B + Z_n) h_n v_0 \cos \alpha_n$ , и следовательно с изменением уравнения должны измениться и положения точек кривых объемов.

Если взять кривую объемов фиг. 765 отдельно, которая упрощенно в виде прямой представлена на фиг. 71, то на ней величина  $ae$ , характеризующая выходящий теоретически объем, будет пропорциональна величине  $h_n$ , согласно уравнению

$$W_n - B h_n v_0 \cos \alpha_n.$$

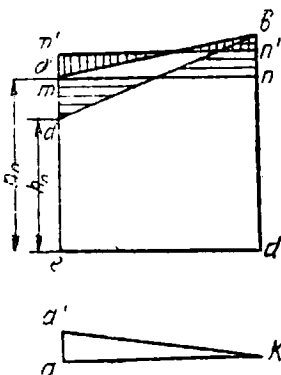
Для того, чтобы мы смогли воспользоваться этой же диаграммой и при учете уширения, выразим фактический объем выбрасываемого из валков металла  $W_n'$  через те же переменные. Для этого необходимо выразить  $B_n = B + Z$  через  $B$ , что возможно, если площадь найденного фактического сечения (на фиг. 70)  $(B + Z) \cdot h_n$  заменить площадью *равновеликого прямоугольника с основанием  $B$  и высотой  $h_n'$* :

$$(B + Z) h_n = B h_n',$$

и подставить полученное выражение в уравнение выбрасываемого из валков объема металла с учетом уширения:

$$W_n' = (B + Z) h_n \cdot v_0 \cos \alpha_n = B h_n' v_0 \cos \alpha_n,$$

<sup>1</sup> Курсив ваш. А. Ч.



Фиг. 71. Участок диаграммы Тафеля, соответствующий углу захвата.

который теперь будет пропорционален величине  $h_n' = \frac{(B+Z)h_n}{B}$ . Следовательно, теоретический объем выбрасываемого из валков металла с учетом уширения в  $n$ -том сечении будет пропорционален не  $ae$ , а  $a'e$ , и влияние уширения скажется в увеличении выбрасываемого объема в единицу времени на величину, пропорциональную  $aa'$ .

Зная, что уширение, равное в начале захвата нулю, возрастает до своего максимума при выходе полосы в  $n$ -том сечении, можно найти его влияние в каждом сечении, приняв, что оно возрастает по прямой<sup>1</sup> линии (фиг. 71, треугольник  $aa'k$ ). Если в каждом сечении произвести наращивание кривой  $ab$  на величину соответственной высоты треугольника  $aa'k$ , то получим для кривой теоретических объемов вместо  $ab$  линию  $a'b$ .

Как это видно из диаграммы, уширение приближает кривую объема к горизонтали, благодаря чему уменьшается „гидростатический напор“ металла, определяемый разностью  $bd - a'e$  с учетом уширения и  $bd - ae$  без его учета. Если первоначально линия фактически выбрасываемого объема металла занимала положение на диаграмме (фиг. 71)  $nm$ , то при учете уширения оно займет какое-то положение  $m'n'$ , и следовательно, величина попятного движения и опережения уменьшается. Таким образом, уширение в значительной степени уравнивает напор металла.

## § 12. Активный слой и стержень сопротивления

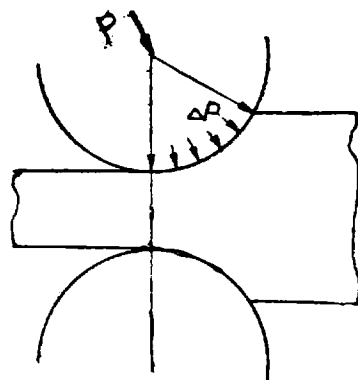
При рассмотрении опытов прессования Riedel'я уже упоминалось о том, что сжимаемые цилиндры иногда не получались бочкообразными, а принимали вид, представленный на фиг. 25. Аналогичные явления имеют часто место при ковке легким молотом. Как показали исследования Гавриленко<sup>2</sup>, причину местного, около кующих поверхностей, расширения цилиндров при ковке легким молотом оказалось короткое время действия удара, вследствие чего деформация не успевала распространяться на все сечение обрабатываемого предмета. Следовательно, глубина распространения деформации  $r$  зависит от времени действия деформирующего усилия:

$$r = f(t).$$

Раскладывая суммарное давящее усилие  $P$  (фиг. 72) на составляющие  $\Delta P$ , действующие в каждой точке поверхности соприкосновения металла с бойком пресса, будем считать место приложения сил  $\Delta P$  центрами распространения деформации, из которых за бесконечно-малый промежуток времени  $\Delta t$  почти мгновенно деформация распространится во всех направлениях на расстояние  $r_1$ , пересечение дуг радиуса  $r_1$  дает активный, деформированный слой металла. Увеличение продолжительности действия усилия дает, соответственно времени  $t_2$  и  $t_3$ , глубину распространения деформации  $r_2$  и  $r_3$ , в соответствии с которой будет распространяться по сечению и уширение.

Рассматривая с этой стороны процесс прокатки, получим картину, представленную на фиг. 73. Усилия, в точках  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  и  $a_4$  действовали в продолжение все увеличивающихся промежутках времени  $t$ :

$$t_4 > t_3 > t_2 > t_1,$$



Фиг. 72. Силы давления валка на металл.

<sup>1</sup> В действительности уширение изменяется, как это будет показано ниже, по более сложной зависимости.

<sup>2</sup> Гавриленко, Механическая технология металлов, ч. III.

в результате чего глубина распространения деформации также увеличилась:

$$r_4 > r_3 > r_2 > r_1.$$

Аналогичное явление имеет место и на поверхности второго вала.

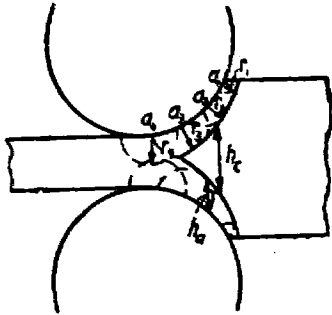
В области деформации металл по своему физическому состоянию может быть, согласно полученной картине, разделен на две категории:

1) *активные слои*, прилегающие к поверхностям валков, в которых частицы металла находятся в состоянии относительных перемещений, скольжений отдельных пространственных решеток по плоскостям скольжения, и

2) *стержень сопротивления*—часть болванки, в которой металл остается еще жестким, недеформированным.

Горизонтальная скорость перемещения частиц металла в недеформированной области—*скорость стержня сопротивления*,—будет, очевидно, равна скорости перемещения заднего конца болванки, которая может быть вычислена из скорости перемещения частиц в критическом сечении, где *последняя, вычисленная теоретически, совпадает с действительной благодаря отсутствию опережения и попятного движения*. Вообще

говоря, средняя скорость горизонтального перемещения частиц металла в любом сечении может быть вычислена из равенства объемов  $W_\gamma = W_x^1$ .



Фиг. 73. Активный слой и стержень сопротивления.

$$(B+Z_\gamma) h_\gamma v_0 \cos \gamma = (B+Z_x) h_x \cdot v_x,$$

откуда

$$v_x = \frac{(B+Z_\gamma) h_\gamma}{(B+Z_x) h_x} \cdot v_0 \cos \gamma. \quad (1)$$

Для заднего конца болванки скорость его перемещения, следовательно, выразится через

$$v_c = \frac{(B+Z_\gamma) h_\gamma}{B \cdot H} v_0 \cos \gamma.$$

Такую же скорость будут иметь и все части стержня сопротивления, в том числе и в сечении, скажем,  $a_2 a_2$ . Но средняя скорость перемещения частиц сечения  $a_2 a_2$ , вычисленная по уравнению (1), будет, вследствие уменьшения его высоты, больше скорости стержня сопротивления, в результате чего стержень сопротивления, или иначе *середины сечения* обозначенная через  $h_c$ , *будет отставать, а металл активных слоев будет перемещаться с большей, чем средняя, скоростью, приближаясь к скорости валков*. Это означает, что попятное движение (отставание металла) происходит, в основном, за счет *отставания металла средних слоев сечения*.

Высоту активного слоя можно получить, если воспользоваться тем условием, что объем деформируемого в любой момент металла при *нормальной* прокатке равен объему металла, проходящего в тот же момент через критическое сечение или больше такового (этим сравнением пользуемся опять-таки потому, что в критическом сечении теоретически вычисленный объем, соответствует фактическому, вспомнить фиг. 65):

$$(B+Z_\gamma) h_\gamma \cdot v_0 \cos \gamma \leq 2 (B+Z_a) \cdot h_a \cdot v_0 \cos \alpha,$$

откуда

$$h_a \geq \frac{(B+Z_\gamma) h_\gamma \cdot \cos \gamma}{2 (B+Z_a) \cdot \cos \alpha}. \quad (2)$$

<sup>1</sup> Критическое сечение расположено под углом, который обозначим через  $\gamma$ .

При значительных величинах ширины  $B$  уширением можно пренебречь, и тогда

$$h_a \geq \frac{h_\gamma}{2} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos \alpha_a}$$

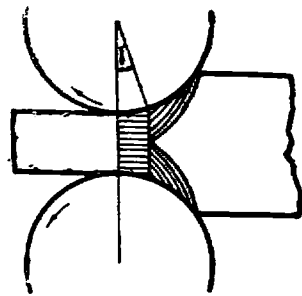
Из полученных формул можно определить место *выклинивания стержня сопротивления* или место, в котором металл будет деформирован *насквозь*. Из формулы (2) при подстановке  $\alpha_a = \gamma$ , т. е. вычисляя высоту активного слоя в критическом сечении, получаем:

$$h_a = \frac{(B+Z_\gamma) h_\gamma \cdot \cos \gamma}{2 (B+Z_\gamma) \cdot \cos \gamma} = \frac{h_\gamma}{2} \quad \text{или} \quad h_a \geq \frac{h_\gamma}{2}$$

Следовательно, стержень сопротивления должен при нормальной прокатке *выклиниться до критического сечения*. В противном случае процесс прокатки назовем *ненормальным*.

В первой части дуги захвата, до критического сечения, валки, вращаясь со скоростью, превышающей, благодаря попятному движению, соответствующую скорость перемещения металла, увлекая за собой его частицы из активного слоя, как бы *проволакивают металл между поверхностями валков и отстающего стержня сопротивления*. Потому эту часть области деформации *правильнее* назвать *областью волочения* (фиг. 74)

Во второй части дуги захвата металл, защемленный полностью в критическом сечении, *насиленно выжимается через валки вперед, вызывая явление опережения*. Вследствие возникающих при опережении сил трения на поверхностях соприкосновения болванки с валками, задерживающих наружные слои металла, *увеличение скорости выхода полосы из валков происходит главным образом за счет увеличения скорости выхода центральных слоев болванки*, что проявляется в выпучивании переднего торца болванки при выходе его из валков.



Фиг. 74. Области волочения и штампования металла.

Аналогия характера истечения металла с таковым при штамповании дает повод назвать участок деформации впереди критического сечения *областью штампования*. Эту терминологию областей „волочения“ и „штампования“ и будем применять в дальнейшем. Такое подразделение процесса прокатки облегчит дальнейшее рассмотрение и анализ всех явлений, имеющих место в сложном процессе деформации металла при прокатке.

### § 13. Определение величины опережения и попятного движения

Так как опережение, повышая скорость выхода полосы из валков, является фактором, положительным в смысле производительности, определение его *абсолютной и относительной величин представляет не только теоретический, но и сугубо практический интерес*. Пользуясь имеющимися данными нашего анализа можно определить величину опережения и попятного движения как функцию следующих величин:

- $B$  — ширина задаваемой в валки болванки (мм);
- $Z$  — уширение полосы (мм);
- $v$  — окружная скорость рабочего диаметра валков (м/сек);
- $h$  — толщина прокатываемой полосы (мм);
- $D_k$  — рабочий (катающий) диаметр валков (мм);
- $\varphi$  — угол захвата;
- $\gamma$  — угол критического сечения (угол защемления).

Может возникнуть вопрос, охватывают ли перечисленные факторы все влияющие на ход процесса величины, как, например, температуру, качество металла, и т. д. Однако из условий захвата известно, что уже сам по себе угол трения, тангенс которого равен коэффициенту трения,



представляет собой сложную, еще окончательно не разрешенную, функцию от ряда факторов, в том числе и температуры, удельного давления металла на валки и т. д. Уширение, как будет показано ниже, также связано с целым рядом факторов. Таким образом, в величинах  $\gamma$  и  $Z$  в скрытом виде заключается влияние всех факторов прокатки.

*Абсолютная величина опережения*, согласно определению, равна разности между действительной скоростью выхода полосы  $v''$  и теоретической, соответствующей окружной скорости валков  $v$ . Удобнее ее выражать в процентах относительно теоретической скорости прокатки.

Тогда относительное опережение равно:

$$Y_{\text{оп}} = \frac{v'' - v}{v} \cdot 100. \quad (1)$$

Определим действительную скорость выхода полосы из валков, которая представляет интерес не только для нахождения опережения, но и для расчета отдельных механизмов при станах. Для этого воспользуемся равенством для действительного объема:

$$W_{\text{д}} = W_{\gamma};$$

$$W_{\text{д}} = (B+Z) h v''; \quad W_{\gamma} = (B+Z_{\gamma}) [h_{\gamma} + D_{\kappa} (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma;$$

$$(B+Z) h \cdot v'' = (B+Z_{\gamma}) [h_{\gamma} + D_{\kappa} (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma,$$

откуда

$$v'' = \frac{(B+Z_{\gamma}) [h_{\gamma} + D_{\kappa} (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma}{(B+Z) h}. \quad (2)$$

Для определения величины  $Z_{\gamma}$ , наличие которой в формуле, как лишней переменной, нежелательно, допустим, что уширение возрастает при прохождении болванки в валках прямо пропорционально, (по прямой линии). Нам известно, что в начальном сечении уширение равно нулю, а конечная его величина соответствует значению  $Z$ ; на диаграмме эта зависимость выразится линией  $fe$  (фиг. 75).

Для критического сечения уширение в нем  $Z_{\gamma}$  определится ординатой  $gd$  прямой  $fe$ . Полученное значение  $Z_{\gamma}$  может быть определено из подобия треугольников  $cfe$  и  $dge$ .

$$\frac{Z_{\gamma}}{Z} = \frac{de}{ce},$$

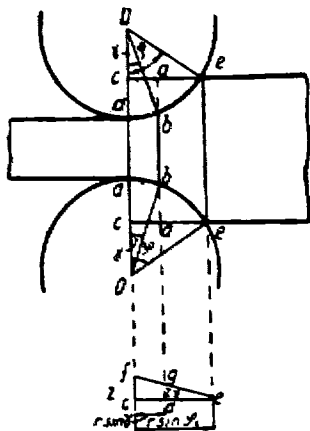
но  $ce$  из  $\Delta cfe$  равно  $r \sin \varphi$ , а  $de = ce - cd$ , т. е.  $de = r \sin \varphi - r \sin \gamma$ .

$$\frac{Z_{\gamma}}{Z} = \frac{r \sin \varphi - r \sin \gamma}{r \sin \varphi} = \frac{r (\sin \varphi - \sin \gamma)}{r \sin \varphi} = \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi},$$

$$Z_{\gamma} = Z \cdot \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}. \quad (3)$$

Если теперь полученное выражение  $Z_{\gamma}$  подставить в выражение (2) для  $v''$ , то окончательное значение последней будет:

$$v'' = \frac{\left( B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h_{\gamma} + D_{\kappa} (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma}{(B+Z) h}. \quad (4)$$



Фиг. 75. Уширение болванки в очаге деформации.

Зная  $v''$  можем определить уже и само опережение. Согласно уравнению (1):

$$Y_{on} = \frac{v'' - v}{v} \cdot 100 = \left( \frac{v''}{v} - 1 \right) \cdot 100\%;$$

$$Y_{on} = \left\{ \frac{\left( B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{(B + Z) h} - 1 \right\} 100\%. \quad (5)$$

Если уширение незначительно по сравнению с шириной полосы (при прокатке, например, листов), то им можно пренебречь, и тогда формула примет более простой вид:

$$Y_{on}' = \left\{ \frac{[h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{h} \right\} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Для определения скорости движения заднего конца  $v_\delta$  и попятного движения можно воспользоваться тем же методом приравнивания секундных объемов металла, проходящего через критическое сечение и поступающего в валки:

$$W_\delta = W_\delta,$$

где  $W_\delta$  — объем, проходящий в единицу времени через любое сечение заднего конца болванки

$$B \cdot H \cdot v' = (B + Z_\gamma) [h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma,$$

откуда

$$v' = \frac{(B + Z_\gamma) [h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] v \cos \gamma}{B \cdot H}. \quad (7)$$

Скорость попятного движения, или отставание от скорости горизонтального перемещения точки поверхности валка, соответствующая первому сечению области деформации, будет равна:

$$v_{n.\delta} = V \cdot \cos \varphi - v',$$

или попятное движение в процентах к теоретической скорости выхода болванки (к каковой мы относили и опережение) составит:

$$Y_{n.\delta} = \frac{v \cos \varphi - v'}{v} \cdot 100 = \left( \cos \varphi - \frac{v'}{v} \right) \cdot 100\%.$$

Если подставить значение  $v'$  из уравнения (7), учитывая значение в нем  $Z_\gamma$  из уравнения (3), то получим:

$$Y_{n.\delta} = \left\{ \cos \varphi - \frac{\left( B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{B \cdot H} \right\} \cdot 100\%;$$

без учета уширения ( $Z = 0$ ) имеем:

$$Y_{n.\delta}' = \left[ \cos \varphi - \frac{h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)}{H} \cdot \cos \gamma \right] \cdot 100\%.$$

Попытное движение, отнесенное к  $v \cos \varphi$ , т. е. относительно горизонтальной теоретической скорости перемещения первого сечения области деформации, будет равно:

$$Y_{II} = \frac{v \cos \varphi - v'}{v \cos \varphi} \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{v'}{v \cos \varphi} \right] \cdot 100\%.$$

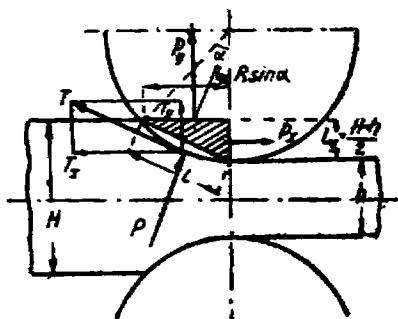
$$Y_{II} = \left\{ 1 - \frac{\left( B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h_\gamma + D_\kappa (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{B \cdot H \cdot \cos \varphi} \right\} \cdot 100\%;$$

без учета уширения ( $Z = 0$ ):

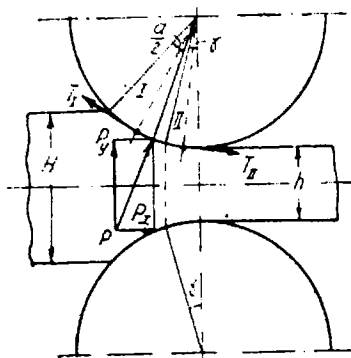
$$Y_H = \left\{ 1 - \frac{h_1 + D_k (1 - \cos \gamma)}{H \cos \varphi} \cdot \cos \gamma \right\} \cdot 100\%.$$

Перейдем к количественным значениям критического угла или угла защемления. Экспериментально и теоретически установлено, что опережение всегда меньше по абсолютной величине попятного движения, и критический угол всегда меньше угла захвата и угла трения. Произведем нижеследующий анализ процесса прокатки<sup>1</sup> (фиг. 75а и 75б).

Разобьем очаг деформации на зону опережения II и зону попятного движения I. Критическое сечение расположено под углом  $\gamma$ . Со стороны металла на валок действуют следующие силы: равнодействующая всех нормальных давлений  $P$ , которую принимаем приложенной под углом  $\frac{\alpha}{2}$ <sup>2</sup>



Фиг. 75а.



Фиг. 75б.

касательная сила  $T_{II}$ , действующая вперед, касательная сила  $T_I$ , действующая назад. Разложим равнодействующую  $P$  на  $P_x$  и  $P_y$ .

Для равновесия горизонтальных сил при прокатке необходимо, чтобы проекции всех сил на ось иксов с учетом их знака дали нуль, т. е. необходимо, чтобы:

$$P_x + T_{xII} = T_{xI}$$

$$l_{xI} = l_x - l_{xII} = R \cdot \sin \alpha - R \cdot \sin \gamma = R (\sin \alpha - \sin \gamma)$$

$$p \cdot R (1 - \cos \alpha) + p \cdot R \cdot k \cdot \sin \gamma = p \cdot R \cdot k (\sin \alpha - \sin \gamma).$$

Так как

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta}, \text{ то } (1 - \cos \alpha) + \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \sin \gamma = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} (\sin \alpha - \sin \gamma)$$

$$(1 - \cos \alpha) + \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \sin \gamma - \frac{\sin \beta \cdot \sin \alpha}{\cos \beta} + \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma}{\cos \beta} = 0.$$

Помножим на  $\cos \beta$

$$2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \beta - \sin \beta \sin \alpha + 2 \sin \beta \sin \gamma = 0.$$

Разделим на  $2 \sin \frac{\alpha}{2}$

$$\sin \frac{\alpha}{2} \cos \beta - \sin \beta \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin \beta \sin \gamma}{\sin \frac{\alpha}{2}} = 0; \quad \sin \left( \beta - \frac{\alpha}{2} \right) - \frac{\sin \beta \sin \gamma}{\sin \frac{\alpha}{2}} = 0;$$

$$\sin \gamma = \frac{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \left( \beta - \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \beta}.$$

<sup>1</sup> Подобный анализ дан Экелуидом и Иг. Павловым (Теория прокатки Иг. Павлова).

<sup>2</sup> Для обозначения угла захвата приняты буквы  $\varphi$  и  $\alpha$ .

В виду малости углов  $\gamma \cong \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right)$  или  $\beta \cong \frac{\alpha}{2} \frac{1}{1 - \frac{2\gamma}{\alpha}}$ .

Для гладких валков угол трения, как уже было указано выше, колеблется в пределах 10—12°. Приняв 11°20', произведем подсчет соответствующих до предельного угла захвата критических углов, сведя это в нижеследующую таблицу.

Углы	$\alpha^\circ$	2°30'	5°	7°30'	10°	11°20'	20°	21°	21°30'	22°	22°40'
	$\gamma^\circ$		1°7'	1°57'	2°31'	2°48'	2°50'	1°10'	47'	33'	20'

Таким образом, угол критического сечения максимален при  $\alpha = \beta$ , когда  $\gamma = \frac{1}{4} \alpha$ , и равен нулю при  $\alpha = 2\beta$ .

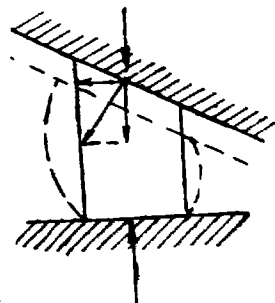
Полученное выше выражение, связывающее три характерных величины при прокатке: угол захвата, угол трения и угол критического сечения, дает возможность, зная две из них, легко найти третью. Например, зная  $\angle \alpha$  и  $\angle \beta$ , находим  $\angle \gamma$ , а по последнему, пользуясь формулами стр. 48—49, находим величину опережения.

## § 14. Уширение металла при прокатке

При рассмотрении закона наименьшего периметра приходилось уже сталкиваться с увеличением поперечного направлению деформирующей силы сечения при ковке или прессовании пластичного тела (фиг. 32, 34, 35, 38, 39). Причиной этого явления, называемого *расширением тела*, является внедрение частиц тела одних его горизонтальных слоев в другие, что неизбежно при сжатии, уменьшении вертикальной высоты тела. Величину этого расширения легко вычислить, если знать объем тела и его высоту до и после деформации. *Изменение формы поперечного сечения подчиняется закону наименьшего периметра.*

Но такое несложное решение вопроса о расширении тел при пластической деформации может быть приложено лишь к простейшим видам пластической деформации, как свободная (не в штампах) ковка и прессование, и к случаю параллельного расположения давящих плоских поверхностей, как в приводимых примерах. Иное распределение и количество расширившегося металла будет в случае изменения уже *одного взаиморасположения давящих поверхностей* (фиг. 76). Закон наименьшего периметра здесь будет иметь силу лишь частично, так как, помимо сил поверхностного трения и сил взаимного сцепления частиц, здесь будет действовать еще горизонтальная составляющая силы давления.

То же самое можно отнести к случаю изменения *формы давящих поверхностей*. Если производить деформацию инструментом, имеющим цилиндрическую поверхность (фиг. 77), то вполне понятно, что величина расширения в направлениях  $x$  и  $y$  будет различная, так как опять-таки в направлении  $x$  будут действовать горизонтальные составляющие сил давления.

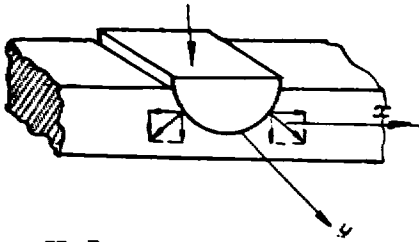


Фиг. 76. Расширение металла под давлением в параллельными плоскостями.

Если на пути истечения металла при пластической деформации создать в одном из направлений *искусственно препятствие*, как приходится делать при штамповке (фиг. 78), то здесь *расширение будет направлено односторонне*.

На основании этих элементарных примеров можно прийти к выводам, что *расширение в процессахковки и штамповки является функцией, кроме факторов соотношения внутренних сил пластичного тела, еще и соотношения внешних сил, направления и величины последних*.

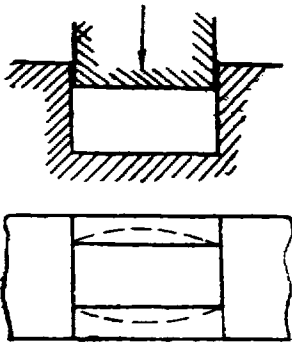
Если теперь обратиться к процессу прокатки, то в нем, как уже нам известно, действующие силы находятся в *значительно более сложном*



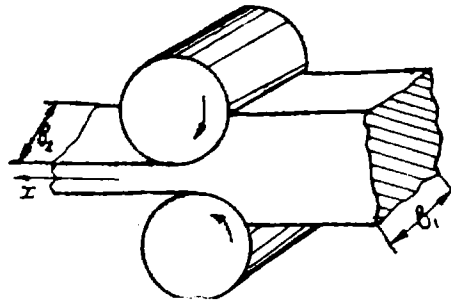
Фиг. 77. Давление на металл цилиндрическим телом.

*взаимоотношении, чем в рассматриваемых выше случаяхковки и штамповки. Поэтому и истечение металла в горизонтальных направлениях будет определяться более сложными закономерностями, нахождение которых требует глубокого анализа процесса.*

При прокатке (фиг. 79) основная масса деформируемого металла увлекается действующими силами в направлении прокатки  $x$ , и *незначительная сравнительно часть под влиянием создавшегося в области деформации давления уходит в стороны (направления  $+y$  и  $-y$ ), увеличивая ширину прокатываемой полосы на величину так называемого „уширения“, равного для данного случая  $Z = b_2 - b_1$* . В рассматриваемом случае (фиг. 79) имеем дело со „свободным“ *уширением металла при прокатке, поскольку истечению металла в стороны никаких препятствий, кроме трения о поверхность, не ставится.*



Фиг. 78. Штампование металла.



Фиг. 79. Прокатка металла в гладких валках.

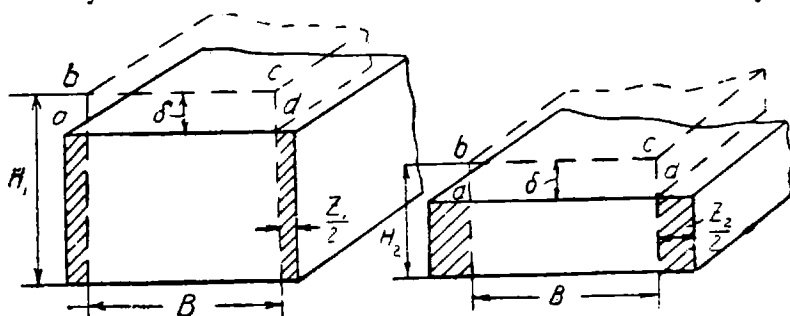
Таким образом, *уширение металла будет свободным только при прокатке в гладких валках прямоугольных (квадратных или плоских) болванок. Если же металл при прокатке с равномерным (по его ширине) обжатием будет упираться в боковые грани калибра, то уширение становится несвободным. При прокатке же в таких калибрах (профильных), в которых обжатия, а, следовательно, и вытяжки в различных продольных сечениях полосы будут различны, в области деформации происходит неравномерное перемещение частиц металла, приводящее к увеличению или уменьшению величины уширения по сравнению со свободным. Тогда уширение металла при прокатке называют „вынужденным“.* Закономерности несвободного и вынужденного уширений рассмотрены во второй главе, здесь же мы коснемся свободного уширения металла при прокатке в гладких валках.

Уширение при прокатке является функцией целого ряда факторов, как то: температуры металла, диаметра валков, скорости прокатки и т. п.

факторов, действующих одновременно; их влияние на уширение удобнее рассматривать в отдельности, считая все остальные факторы, за исключением рассматриваемого, неизменными. При рассмотрении, скажем, зависимости уширения от величины диаметра валков считаем, что качество металла, скорость прокатки, температура, величина обжатия, ширина полосы, высота ее и т. д. будут для сравниваемых болванок неизменны. Зная влияние отдельных факторов, можно судить о действии последних в их различных сочетаниях. Первым этапом в изучении зависимости уширения от различных факторов является изучение *качественной стороны* этого сложного явления.

## § 15. Зависимость уширения от геометрических размеров прокатываемого металла

**Зависимость от высоты полосы.** Рассмотрим случай прокатки при идентичных условиях двух полос (фиг. 80) *отличающихся друг от друга* лишь высотами  $H_1$  и  $H_2$ . Если дать за один пропуск *одинаковые обжатия*  $\delta$ , то *отжатый объем металла*  $V \times \delta \times L$  распределится в двух направлениях: в продольном, вызывая вытяжку полосы, и в поперечном — уширяя полосу. Так как величина и взаимоотношение действующих сил,



Фиг. 80. Уширение болванок разной толщины.

вследствие идентичности всех прочих условий, в обоих случаях аналогичны, то и распределение отжатого металла, идущего на вытяжку и на уширение в обоих рассматриваемых случаях также можно считать *одинаковым*.

Количество уширившегося металла будет равно в общем виде

$$2 \cdot \frac{Z}{2} \cdot (H - \delta) \cdot L = Z(H - \delta) \cdot L.$$

Для рассматриваемых случаев (фиг. 80) можно написать следующее равенство:

$$Z_1(H_1 - \delta)L = Z_2(H_2 - \delta)L$$

или сокращая равные  $L$

$$Z_1(H_1 - \delta) = Z_2(H_2 - \delta).$$

Если, как в данном случае,  $H_1 > H_2$ , то для соблюдения равенства необходимо, чтобы  $Z_1 < Z_2$ , т. е. величины уширений, при прочих равных условиях, обратно пропорциональны получаемым высотам, так как

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{H_2 - \delta}{H_1 - \delta} = \frac{h_2}{h_1}.$$

Полученный вывод подтверждается данными экспериментов, сделанных Scheld'ом<sup>1</sup> и приводимых в таблице 6.

<sup>1</sup> Stahl und Eisen, 1910, Das Breiten beim Walzen.

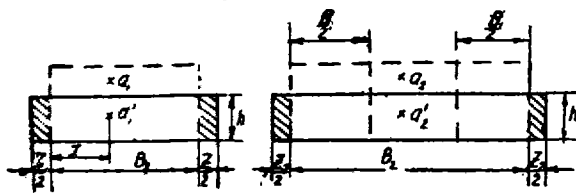
Данные Scheld'a об уширении

№ опыта	До прокатки		Обжатие $\delta$ мм	После прокатки				
	Высота $H$ мм	Ширина $B$ мм		Высота $h$ мм	Ширина $b$ мм	Уширение $Z$ мм	Отношение высоты	Отношение уширения
1	9	50	4	5	53,5	3,5	1	7
2	14	50	4	10	51,8	1,8	2	3,6
3	24	50	4	20	51,0	1	4	2
4	44	50	4	40	50,5	0,5	8	1

Отношения высот 1:2:4:8 мало разнятся от отношений уширения, равных 7:3,6:2:1, тем более, что полученное незначительное несхождение может быть отнесено за счет неучтенного влияния других факторов.

Высота полосы может оказать влияние не только на величину, но также и на форму уширения. При прокатке толстых полос деформация не успевает распространиться на всю глубину сечения, и уширение происходит лишь в слоях, расположенных ближе к рабочим поверхностям валков. Такое „местное“ уширение аналогично явлениям, наблюдаемым при ковке или прессовании цилиндров значительной высоты (фиг. 25). Следствием местной деформации является также местная вытяжка (у поверхностей валков), в результате которой могут образоваться, от растяжения середины, скворечники (фиг. 46).

**Зависимость от ширины полосы.** Выше уже было упомянуто, что количество металла, идущего на уширение, определяется известными динамическими условиями, т. е. тем соотношением сил действующих и



Фиг. 81. Сдвиг частиц металла под действием обжатия.

сил сопротивления перемещению, которое имеет место в области деформации при установившемся процессе. В случае прокатки в идентичных условиях двух полос, отличающихся только шириною, направление и распределение сил в продольных сечениях, параллельных направлению прокатки, остаются равными для обеих полос. Казалось бы, что количество металла, идущего на уширение, составляющее, согласно вышерассмотренному разделу о влиянии высоты полосы, определенную часть отжатого объема, должно быть прямо пропорционально ширине полосы (при равных обжатиях), а, следовательно, и величина уширения должна быть прямо пропорциональна ширине полос. Практика, однако показывает, что ширина полосы почти не влияет на величину (абсолютную) уширения и даже уширение в отдельных случаях уменьшается с увеличением ширины полосы. Это явление становится понятным, если рассмотреть условия перемещения частиц, идущих на уширение металла.

Частица  $a_1$  (фиг. 81), которая находится в отжимаемом объеме металла, при обжатии внедряется в нижележащие слои и сдвигает все лежащие в горизонтальном ряду части в сторону на величину, равную своим размерам  $\Delta s$ . При этом приходится преодолевать сопротивление сил  $\Delta P$  междучастичного и поверхностного сцепления перемещаемых частиц. Работа  $dA$ , которую необходимо затратить на перемещение каждой частицы ряда на величину  $\Delta s$ , будет равна  $dA = \Delta P \cdot \Delta s$ .

Если количество таких сдвигаемых частиц будет равно  $n$ , то работа на их перемещение

$$A = \Delta P \cdot \Delta s \cdot n.$$

Но  $n \cdot \Delta s = x$ , т. е. расстоянию внедряемой, вызывающей уширение, частицы до ближайшего края полосы: до ближайшего края потому, что, согласно закону наименьшего периметра, *перемещение частиц совершается в направлении кратчайшего расстояния к выходу.*

Если теперь обратиться к более широкой полосе (фиг. 81), то в одинаковых соотношениях сил, вызывающих уширение и противодействующих ему, будут находиться лишь частицы, расположенные от края полосы на расстояниях  $\frac{B_1}{2}$ . Средний же участок полосы будет находиться в более затрудненных

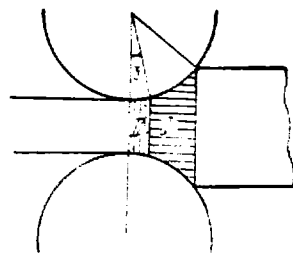
для уширения условиях, так как внедрение частицы  $a_2$  в нижележащие слои может быть осуществлено лишь при условии затраты большей работы, а, следовательно, и преодоления *большого усилия, чем для центральных частиц узкой полосы.* Поэтому, *средний участок широкой полосы будет уширяться меньше, чем в узкой полосе.* При известной ширине полосы в средней ее части могут создаться такие условия, что всей массе смещенного объема металла *легче пойти вперед и назад, увеличивая опережение и попятное движение, чем уширяться в стороны.* В этом случае центральная часть полосы будет вытягиваться больше, чем крайние ее части, и *тянуть за собой последние, что приведет к еще большему уменьшению уширения.* Такое явление, правда, в незначительной степени, было обнаружено в опытах Tafel'я и Metz'a. Практически же можно пренебрегать уменьшением уширения с увеличением ширины полосы, считая, что последняя не влияет на уширение.

**Зависимость от длины полосы.** Длина полосы сама по себе не влияет ни на величину, ни на характер уширения, поскольку подвергается деформации, а, следовательно, и уширится лишь тот участок полосы, который в каждый данный промежуток времени находится в области деформации. Однако в случае полосы значительной длины, как при мелко-сортном железе и проволоке, начальный и конечный участки прокатываются при *значительно разнящихся температурах, что отражается и на величине уширения.* На влиянии температуры на уширение остановимся ниже.

## § 16. Зависимость уширения от коэффициента трения между металлом и вальками и других факторов

Коэффициент трения между металлом и вальком обуславливает собою величину угла защемления, в свою очередь *определяющего положение критического сечения области деформации*<sup>1</sup>. Выше было выяснено, что критическое сечение разделяет область деформации на две части (штампование и волочение), в которых и направления горизонтальных сил и отклонения от теоретической скорости прокатки диаметрально противоположны (втягивающие и выталкивающие силы, опережение и попятное движение). Поэтому *всякое изменение положения критического сечения приведет к изменению соотношения действующих сил, к изменению динамических условий процесса, а, следовательно, и к изменению величины уширения.* Так как изменение коэффициента трения влечет за собой изменение протяженности областей штампования и волочения, то удобнее определить вначале относительную величину уширения в последних.

В области волочения (фиг. 82) происходит попятное движение металла, или, иначе, отставание скорости продвижения металла по сравнению



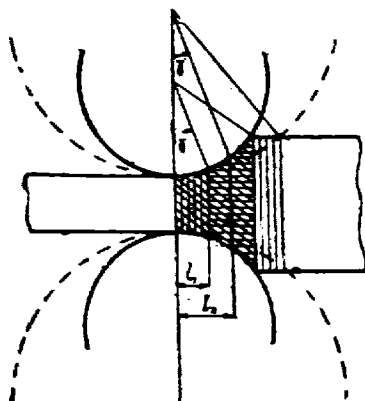
Фиг. 82. Зоны очага деформации.

<sup>1</sup> О зависимости угла захвата, угла трения и критического угла см. стр. 50—51.



с таковой поверхности валков. В результате частицы металла все время увлекаются поверхностями валков по направлению прокатки. В области штампования вследствие опережения металл движется быстрее поверхностей валков, которые уже здесь являются фактором, тормозящим продвижение металла по направлению прокатки.

Рассмотрим теперь условия для уширения в обеих областях. Как в первой так и во второй перемещению частиц в стороны препятствуют силы междучастичного сцепления и силы трения на поверхностях соприкосновения металла с валками. В направлении же прокатки в области волочения действуют силы, утягивающие металл вперед, т. е. соотношение сил способствует уменьшению уширения; в области штампования, благодаря опережению действуют силы, тормозящие продвижение металла вперед, т. е. вынуждающие увеличение уширения. Но вместе с тем в обратном смысле действует скорость обжатия: отжатая величина на единицу пройденного пути постепенно уменьшается от захвата к выпуску металла, т. е. относительное, а также и абсолютное обжатие больше в области волочения. В общем же область волочения можно характеризовать, по видимому, пониженным уширением, а область штампования — повышенным, (речь идет об относительном уширении, уширении на единицу длины очага деформации). Заметим, что чистому процессу штампования свойственен уход всего отжатого объема металла на уширение, а чистому процессу волочения — отсутствие последнего.



Фиг. 83. Влияние величины диаметра валков на уширение.

Выведенное положение дает возможность определить влияние коэффициента трения на уширение. В самом деле, возрастание коэффициента трения означает увеличение области штампования за счет области волочения, а следовательно, увеличивает уширение. Снижение коэффициента трения уменьшает величину области штампования, сокращая этим самым и уширение.

Зависимость уширения от диаметра валков. Изменение диаметра валков при прочих равных условиях вызывает соответственное изменение угла захвата, изменяя этим самым соотношение области волочения и штампования, изменяя длину области деформации. Фиг. 83 показывает, что с увеличением диаметра валака происходит относительное и абсолютное увеличение области штампования, что согласно вышесказанному, вызывает увеличение уширения.

Для аналитического решения воспользуемся формулой, связывающей угол захвата с диаметром валков:

$$H - h = D(1 - \cos \alpha).$$

Преобразовывая эту формулу в явную функцию, получим:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{H - h}{D}.$$

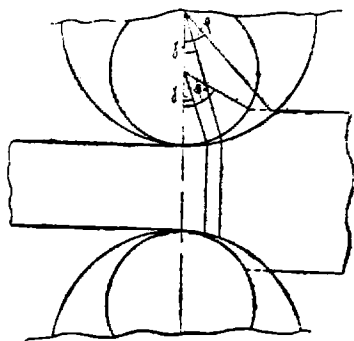
При неизменном обжатии  $H - h$  и увеличении диаметра  $D$ , увеличивается  $\cos \alpha$ , что означает уменьшение угла захвата  $\alpha$ . А, так как угол трения  $\gamma$  остается по условию постоянным, то это приводит к уменьшению области волочения, находящейся в пределах дуги  $\alpha - \gamma$ , и увеличению области штампования. При значительных разностях диаметров угол  $\alpha$  может сделаться равным углу  $\gamma$  и даже меньше. Тогда область штампования распространится на область деформации согласно равенству  $\gamma \leq \frac{1}{4} \alpha$  (стр. 51).

Если угол захвата и при меньшем из сравниваемых диаметров меньше

угла трения, то увеличение диаметра валков вызовет увеличение длины области штампования (фиг. 84). Таким образом, во всех случаях увеличение диаметра валков ведет к увеличению области штампования, т. е. к увеличению уширения, подтверждая старое практическое правило, что „большие валы давят металл, а малые тянут“.

**Зависимость уширения от температуры металла.** При изменении температуры прокатываемого металла изменяется его пластичность, т. е. сопротивление перемещению частиц металла при деформации. Однако, так как это уменьшение или увеличение пластичности происходит в равной степени во всех направлениях, то на уширение оно не должно оказывать влияния. Но наряду с изменением пластичности, при изменении температуры происходит и изменение коэффициента трения металла о валки, что, изменяя соотношение областей волочения и штампования, приводит к изменению уширения.

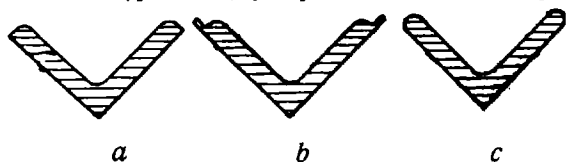
Согласно доводов, приведенных в § 8, с повышением температуры прокатки коэффициент трения уменьшается; с уменьшением коэффициента трения уменьшается область штампования и, следовательно, уменьшается уширение. С понижением температуры прокатки коэффициент трения увеличивается, что ведет к увеличению области штампования и увеличению уширения. При этом играет роль не только температура прокатываемого металла, но и температура валков.



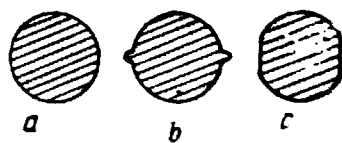
Фиг. 84. Увеличение длины области деформации вследствие увеличения диаметра валков.

Данные повседневной практики прокатки также подтверждают выведенную зависимость уширения от температуры прокатки. Проф. Грум-Гржимайло приводит несколько примеров, на основании которых говорит, что „повседневная практика прокатного дела указывает нам, что уширение застуженного металла всегда более уширения металла, горячо прокатанного“<sup>1</sup>.

Если катать угловое железо, то получение идеально правильного профиля (фиг. 85,а) представляет непреодолимые трудности: чуть-чуть



Фиг. 85. Влияние температуры металла на получение углового железа.



Фиг. 86. Влияние температуры металла на получение круглого железа.

застуженная полоса дает железо с „заусенками“ (фиг. 85, b); прокатанная слишком горячо дает невыполненные кромки (фиг. 85, c). Если слиток или заготовка, из которой катается уголок, были нагреты не совсем ровно, и один конец его выдан из печи холоднее другого или просто застужен, то холодный конец уголка выйдет с заусенкой, а горячий не выполнится.

То, что написано об угловом железе, можно сказать и о круглом (фиг. 86, a), которое выкатывается холодное с „прикатом“ (фиг. 86, b), горячее с „недостачей“ (фиг. 86, c). Балки, корытное железо, рельсы — холодные выкатываются с фланцами, выполненными лучше, чем при высокой температуре.

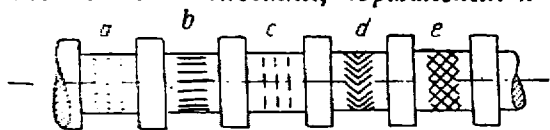
Причина этого явления одна: уширение железа увеличивается с понижением температуры.

<sup>1</sup> Проф. Грум-Гржимайло, Прокатка и калибровка.

**Зависимость уширения от свойств и особенностей поверхности валков.** Применение в прокатных станах валков из металла различного качества (чугун серый, с закалкой поверхности, сталь углеродистая, легированная и др.), различной степени обработки поверхности (грубая, точная, со шлифовкой и т. п.), нанесение на поверхности насечки различной формы, глубины и направления заставляет учитывать и влияние всех перечисленных факторов на уширение.

Различный материал валков и степень обработки поверхности валков влияют в первую очередь на *величину коэффициента трения* между металлом и валками, а, следовательно, на соотношение областей штампования и волочения, что, в свою очередь, соответственно отражается на уширении.

Для улучшения условий захвата металла и возможности увеличения угла захвата часто, как известно, в черновых и особенно обжимных калибрах наносят на валках *насечку*, тем самым *повышая трение на поверхности соприкосновения*. Форма насечки, глубина, величина и расположение бывают самые разнообразные. Грубо схематически можно разбить все существующие типы насечек на *четыре основных*: они могут быть в виде отдельных *кернов шахматного* или другого расположения (фиг. 87,а); в виде *рисок, параллельных оси валков* (фиг. 87,б); в виде *рисок, расположенных в плоскостях, нормальных к оси валков* (фиг. 87,с); *стрельчатого типа* — елочная насечка (фиг. 87,д и 87,е).



Фиг. 87. Схемы возможной насечки на валках.

Влияние типа насечки на уширение следует рассматривать со стороны их *воздействия на продольное и поперечное перемещение металла*

*в области деформации.* С этой точки зрения керновая насечка, первого типа, очевидно, не должна оказывать значительного влияния на уширение, так как нанесенные углубления при равномерном их распределении будут *тормозить, как продольное, так и поперечное перемещение металла, повышая работу трения*; риски, нанесенные параллельно оси валка, задерживая опережение металла, способствуют *увеличению уширения*; продольно нанесенные риски, препятствуя поперечному перемещению металла, *уменьшают уширение*<sup>1</sup>; наконец, елочного типа насечка, промежуточная между двумя предшествующими типами, может влиять на уширение в том или ином направлении в зависимости от „разлапистости“, т. е. угла наклона *рисок* по отношению друг к другу; ясно, что *более разлапистая насечка* (фиг. 87,д) *больше способствует уширению, чем более узольчатая* (фиг. 87,е).

Известное влияние на уширение должны оказать и такие факторы, как *глубина насечки, резкость ее* и т. д. Но учет их влияния без проведения для каждого конкретного случая длительных наблюдений и специального исследования затруднителен.

**Зависимость уширения от рода и качества металла.** Данные практики показывают, что уширение при прокатке зависит еще от *рода металла*, т. е. от того, прокатывается ли мягкая или твердая углеродистая сталь, или специальные сорта стали. Оказывает свое влияние также и *качество самого металла*, его сернистость, степень раскисленности и т. п.

Определить направление, в каком будут влиять указанные факторы на уширение — трудная задача, так как эта область в прокатке еще мало изучена. Однако, с точки зрения приводимой теории, о влиянии на уширение рода и качества металла необходимо, в первую очередь, связать это влияние с тем *коэффициентом трения, который свойственен рассматриваемому материалу*. Опытами обнаружено, что уширение твердой стали больше, чем мягкой.

<sup>1</sup> Практически такая насечка не употребляется, так как она не увеличивает способности захвата.

**Зависимость уширения от скорости прокатки.** Скорость прокатки оказывает значительное влияние на коэффициент трения между металлом и валком. Согласно данным, приведенным в § 7 о влиянии на захват скорости прокатки, с увеличением скорости происходит сильное уменьшение коэффициента трения, что влияет соответствующим образом на соотношение областей волочения и штампования, а, следовательно, и на уширение. Данные опытов Metz'a целиком подтверждают указанную зависимость.

Но, кроме влияния на величину уширения, скорость прокатки, если она выше определенного предела, может оказать значительное влияние еще и на характер, вид самого уширения.

При рассмотрении „стержня сопротивления“ было установлено, что пластическая деформация распространяется во времени. Поэтому для каждой высоты прокатываемой болванки, ее температуры, рода материала и пр. существует определенный минимальный промежуток времени, необходимый для распространения деформации на всю толщину прокатываемой штуки. Так как для нормального хода процесса прокатки необходимо, чтобы выклинивание стержня сопротивления совершилось до критического сечения, то, очевидно, скорость прокатки должна ограничиваться такой величиной, при которой время прохождения металлом области деформации не было бы меньше времени, необходимого для сквозного распространения деформации. В противном случае стержень сопротивления может остаться и при выходе полосы из области деформации, а уширившийся металл будет располагаться только по краям активных слоев, т. е. получится местное уширение. Такое явление местного уширения может иметь место при прокатке в блумингах, где слиток имеет значительную толщину, почему в блумингах, помимо всех прочих соображений, нельзя давать чрезмерно большие скорости прокатки.

**Зависимость уширения от числа пропусков.** Последним из разбираемых нами факторов, влияющих на уширение, является число „пропусков“, которому подвергается прокатываемая в одном направлении полоса при одной и той же величине суммарного обжатия и прочих равных условиях. В самом деле, полосу высотой, скажем, 200 мм можно довести до высоты 100 мм за один пропуск дав обжатие в 100 мм, в два пропусков с обжатием по 50 мм в каждом и т. д. А, так как при калибровке часто приходится, при одном и том же суммарном обжатии, варьировать число пропусков, то, естественно, возникает вопрос о влиянии последнего фактора на величину уширения.

Данные опытов Metz'a показывают, что с увеличением числа пропусков при одном и том же уменьшении толщины полосы уширение увеличивается.

С точки зрения излагаемой теории, это явление легко объяснимо, если учесть, что в случае прокатки болванки с большим числом пропусков, благодаря уменьшению в каждом случае угла захвата (вследствие малых обжатий) прокатка будет вестись в области штампования в большей степени, где, как известно, уширение относительно больше, чем в области волочения

## § 17. Определение величины уширения

До сих пор рассматривалась лишь качественная сторона влияния различных факторов на уширение. Состояние наших знаний о природе пластической деформации до последнего времени не позволяет найти точную функциональную зависимость между уширением и всеми выше-разбираемыми факторами, влияющими на последнее.

Попытки найти эту зависимость эмпирически не прекращались на протяжении последних пятидесяти лет, т. е. почти с самого начала широкого развития прокатного производства. Это стремление вполне понятно в связи с тем значением, которое имеет умение опре-

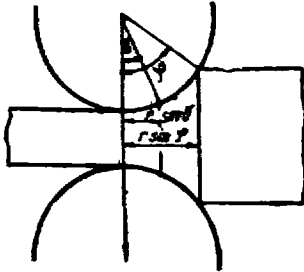
делить вперед величину уширения при заданном обжатии для калибровки новых профилей, для обеспечения качества продукции и т. д.

Уже в 1882 г. Blass, базируясь на данных опытов специальной комиссии при Союзе германских металлургов, в построенной им на конусах скольжения теории прокатки вывел формулу для определения уширения как функции от высот болванки до и после пропускания и угла скалывания, достоверно определить который не представлялось возможным, почему и применение формулы оказалось затруднительным.

Последующими исследователями предлагался ряд формул, которые все страдали тем, что авторы пытались в них определить уширение как функцию от двух-трех факторов, заменяя влияние остальных опытным коэффициентом. Естественно, что это приводило к тому, что выведенная формула давала результаты, близкие к истинным только в пределах и условиях, в которых производились опыты автора и на которых была построена формула. Такого рода, практически узко применимые, формулы были предложены Blass'ом, Kirchberg'ом, Falk'ом, Scheld'ом, Geuze'ом и др.

В этом отношении методически наиболее правильным является построение формулы для уширения, предложенное проф. Виноградовым<sup>1</sup> и увязанное с трактуемой им теорией деформации металла в гладких валках.

Согласно ранее установленному, в областях штампования и волочения уширение различно, почему и суммарное уширение зависит от соотношения этих областей, которое характеризуется, как функция различных факторов прокатки, через соответствующие величины опережения и попятного движения, а в абсолютных единицах — через соотношение длин областей волочения и штампования. Поэтому формула для определения уширения должна в общем виде представиться следующей:



Фиг. 88. Длины зон штампования и волочения.

$$Z = F(Y_{0n}, l_0) + F(Y_n, \delta, l) + F(x),$$

где первый член показывает величину уширения в области штампования как функцию от опережения  $Y_{0n}$  и длины области штампования  $l_0$ ; второй член — тоже в зависимости от попятного движения и длины области волочения и, наконец, третий член должен отражать влияние факторов, не учитываемых первыми двумя, как то: характер насечки, неравномерность нагрева, качества металла и т. п.

Длину областей волочения и штампования легко можно выразить как функцию от диаметра валка и соответствующих углов захвата и трения. Согласно фиг. 88, область штампования имеет длину:  $l_0 = r \sin \gamma$ . Длина же области волочения может быть выражена как разность длин всей области деформации  $L = r \sin \varphi$  и области штампования  $l_0 = r \sin \gamma$ , т. е.  $l = L - l_0 = r (\sin \varphi - \sin \gamma)$ . Тогда формулу уширения можно представить в таком виде:

$$Z = k_1 Y_{0n} \cdot r \sin \gamma + k_2 Y_n \cdot \delta \cdot r (\sin \varphi - \sin \gamma) \pm \Delta Z,$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — опытные коэффициенты, связывающие соответствующие функции с величиной уширения, а  $\Delta Z$  — увеличение или уменьшение уширения, как  $F(x)$ , т. е. числовое выражение последнего.

Достоинством полученной формулы является учет ею большинства и побочных факторов, так или иначе влияющих на уширение, так как величины опережения и попятного движения сами по себе являются функциями от диаметра валков, углов захвата и защемления, высоты болванки. Практически она пока однако не может быть применена, вследствие отсутствия значений опытных коэффициентов, входящих в формулу. Поэтому придется воспользоваться для практического определения величины уширения металла при прокатке такого одной из многочисленных предложенных различными авторами формул, которая теоретически менее выдержана, чем вышеприводимая, но вычисление по которой дает величины уширения, с достаточной для практики точностью согласованные с опытными данными.

Опытами Siebel'я<sup>2</sup> было установлено, что абсолютное уширение является главным образом функцией от длины поверхности соприкосновения металла с валком (области деформации)  $L_0$ , величины обжатия  $H - h$  и высоты болванки  $H$ . Ширина же полосы заметно не влияет на уширение. Эти опытные данные подтверждают вышеизложенные теоретические соображения о влиянии этих факторов на уширение. Поэтому уширение должно определяться выражением:

$$Z = k \cdot L_0 \cdot \frac{H - h}{H}.$$

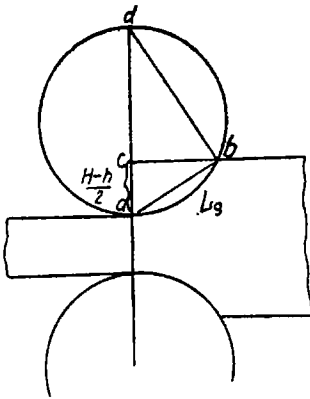
<sup>1</sup> Научные записки кафедры металлографии и механико-термической обработки металлов при Днепропетровском горном институте, 1928 г.

<sup>2</sup> Grundlagen zur Berechnung des Kraft und Arbeitsbedarss beim Schmelzen und Walzen Ber. Walzw. Aussch., V. D. I., № 28, 1922 г.

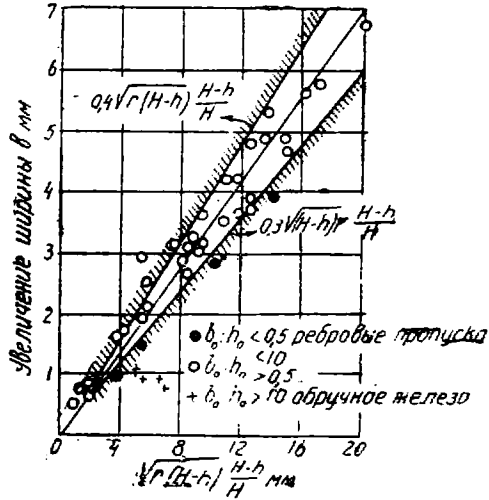
Но длину поверхности соприкосновения металла с валком  $L_0$  можно в свою очередь выразить, как функцию от диаметра валков и обжатия. Из фиг. 89 длина дуги  $L_0$  равна приблизительно хорде  $L_0$ , которая, как катет прямоугольного треугольника  $abd$ , является средней пропорциональной между гипотенузой  $ad = 2r$  и прилежащим отрезком  $ac = \frac{H-h}{2}$ . Таким образом,  $L_0 = \sqrt{r(H-h)}$ , и формула окончательно будет иметь вид:

$$Z = k \cdot \sqrt{r(H-h)} \frac{H-h}{H};$$

коэффициент  $k$  учитывает влияние остальных факторов на уширение. Для случая горячей прокатки W. Tafel и F. Anke определили величину  $k = 0,35$  до 0,45.



Фиг. 89. Выражение хорды через диаметр и обжатие.



Фиг. 90. Уширение в опытах Зибеля.

Так как температурный фактор не входит в формулу, то более высокие значения относятся, согласно данным опытов Siebel'я<sup>1</sup>, к более низким температурам прокатки (ниже 1000°).

Для проверки правильности формулы были пересчитаны опыты Falk'a<sup>2</sup>, проведенные в различных условиях. Толщина, ширина полос и диаметр валков при этом колебались в широких пределах. На фиг. 90 представлено графически уширение, наблюдавшееся при этих опытах, в зависимости от величины  $\sqrt{r(H-h)} \frac{H-h}{H}$ . Если ограничить область

расположения точек двумя прямыми, то для них коэффициенты  $k$  будут соответственно равны 0,3 и 0,4, а уравнение прямой, делящий угол между ними пополам, будет иметь вид:

$$Z = 0,35 \sqrt{r(H-h)} \frac{H-h}{H}.$$

Настоящей формулой и будем в дальнейшем пользоваться для определения уширения при прокатке в гладких валках.

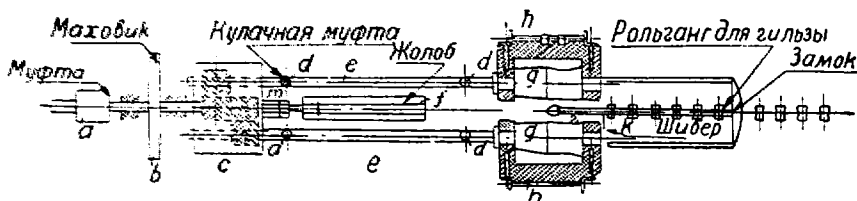
На практике пользуются также простой формулой Жеза  $z = k(H-h)$ , которая является частным случаем формулы Зибеля, где  $k = 0,35 \div 0,48$ , когда  $\frac{\sqrt{r(H-h)}}{H} \approx 1$ .

<sup>1</sup> Stahl und Eisen, 1930 г., стр. 1769—1775.

<sup>2</sup> Die Breitung der Eisen in Glattwalzen. St. u. Eis., 1910 г., № 30.

## § 18. Деформация металла при кривой вальцовке (геликоидальной прокатке)

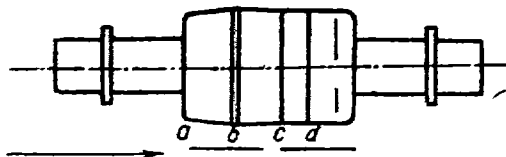
В настоящее время в производстве бесшовных труб широко применяется процесс геликоидальной (винтообразной) прокатки для получения, в так называемых *станах кривой вальцовки Маннесманна*, из сплошной круглой болванки круглого полого толстостенного тела, служащего как заготовка для дальнейшей ее раскатки в более тонкостенную трубу. Схема такого стана представлена на фиг. 91. Стан состоит из 2 бочкообразных рабочих валков  $g$ , расположенных так, что оси их пересекаются



Фиг. 91. Схема стана Маннесманна для кривой вальцовки.

под некоторым небольшим углом. Валки имеют одно и то же направление вращения. Соответствующими приспособлениями болванка задается в валки, которые захватывают и сообщают ей вращательное движение. Кривое расположение валков вызывает одновременно поступательное движение, благодаря чему каждая материальная точка болванки совершает при прохождении через стан винтообразное движение.

Вследствие развивающихся при этом усилий, внутренняя полость болванки разрыхляется, металл получает стремление течь от центра в радиальных направлениях, что, в конце концов, приводит к образованию полости еще до соприкосновения с оправкой  $z$ , установленной с противоположной стороны.



Фиг. 92. Валок стана кривой вальцовки.

Попадая на коническую оправку, заготовка на ней раскатывается до требуемых размеров. Хотя настоящий процесс промышленное применение уже около 50 лет, однако теоретическое его

обоснование, позволяющее сделать выводы, близкие к тем данным, которые имеют место в практике, было дано лишь в последнее десятилетие.

**Периоды кривой вальцовки.** Весь процесс работы при кривой вальцовке разбивается на два основных периода:

- 1) период разрыхления и образования внутренней полости и
- 2) период прокатки болванки.

Пройдя эти два периода, гильза подвергается в тех же кривых валках отделке. Рассмотрим теперь эскиз валков прошивного стана (фиг. 92).

Здесь часть поверхности  $ab$  называется *конусом прошивки* или *подготовительным калибром*. В этой собственно части валков и протекает первый период работы кривой вальцовки, период разрыхления и образования внутренней полости. Это достигается захватом болванки и обработкой между коническими частями валков.

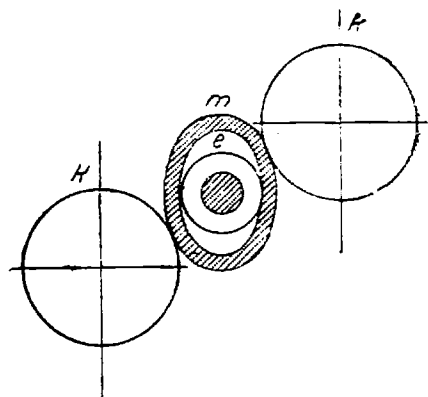
Следующая часть валка, „часть поперечной прокатки“ или „отделочный калибр“ валка располагается в  $bc$ . В этой части уже начинается прокатка полученной в предыдущий период стенки гильзы между поверхностью валков и дорна. Следовательно, начало этого периода прокатки всецело зависит от положения дорна. Если дорн будет расположен ближе

к  $b$ , период прокатки начнется ранее, если дальше от  $b$ , начнется позднее. Обычно дорн устанавливается так, что этот период начинается в *месте наибольшего зажатия болванки*, т. е. в месте наименьшего расстояния между поверхностями валков, что соответствует в валках месту перехода конусов, где дают небольшую цилиндрическую часть.

Благодаря поперечной прокатке стенка гильзы раскатывается, внутренний и наружный диаметры становятся больше диаметра дорна и заготовка приобретает некоторую *овальность*. На фиг. 93 показана овальность гильзы, которую можно наблюдать со стороны выдачи стана. Здесь  $k$  изображает рабочие валки,  $e$  — дорн и  $m$  — раскатываемую гильзу. Дальнейшая *отделка гильзы производится в отделочной части вала*. Иногда этой части придают большую коничность с целью *сообщить металлу некоторую вытяжку путем уменьшения диаметра гильзы*, что мы и наблюдаем в части  $cd$  вала (фиг. 92). Но, так как наибольший интерес представляет изучение самого процесса прошивки, то останавливаться детально на этой части работы валков мы не будем.

**Силы, действующие при кривой вальцовке.** В процессе кривой вальцовки основным является *изменение формы поперечного сечения болванки из круга в кольцо*. На пути этого изменения происходит сильнейшая деформация металла, на совершение которой затрачивается значительная энергия. Определим величину, скорость действия и в особенности направление действующих сил.

Единственной силой, которая и производит всю необходимую для прокатки работу в стане кривой вальцовки, является *сила от вращающего момента валков*, передаваемого от приводного мотора. В местах соприкосновения валков с болванкой возникают *силы сопротивления*, которые преодолеваются вращающими усилиями. Силы же сопротивления складываются из того *давления*, которое производит захваченная болванка на валки и из *сил трения*, возникающих в местах соприкосновения болванки с валками (на *рабочих поверхностях* валков).



Фиг. 93. Образование овальности при выходе гильзы из стана.

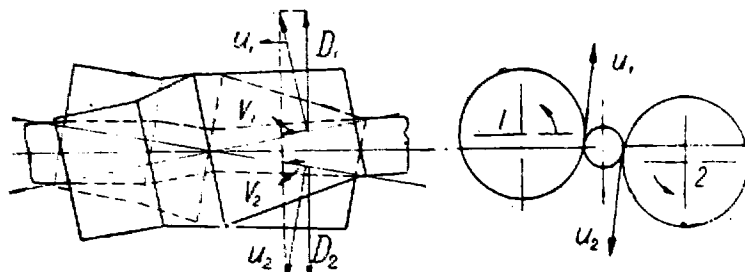
Определение величины сил трения в каждой отдельной точке рабочей поверхности представляет весьма сложную задачу, так как их величина зависит от температуры прокатки, от материала болванки, материала и состояния наружной поверхности валков, от величины продвижения болванки, величины рабочей поверхности валков и др. При обыкновенной прокатке определение влияния всех упомянутых величин на силы трения может быть произведено опытным путем, путем измерения величин этих сил при каждом пропуске через калибр. Валки же стана кривой вальцовки заключают в себе как бы *все калибры в различных своих частях*, как „*подготовительные*“, так и „*отделочные*“. Поэтому возможно измерить только усилие, сообщенное всему валку. Но для дальнейших выводов не так важна величина этих усилий, как их направление, которое и определяет всю работу кривой вальцовки.

Поэтому, не вникая в абсолютную величину этой силы, необходимо выяснить ее направление и те действия, которые она производит на обрабатываемую болванку.

На фиг. 94 показано взаимное расположение рабочих валков и болванки в двух видах — продольном и поперечном. Окружная сила  $u$  всякого вращающегося тела действует всегда в направлении, *касательном к окружности вращения* и под прямым углом к оси вращения. Сила  $u_1$ .

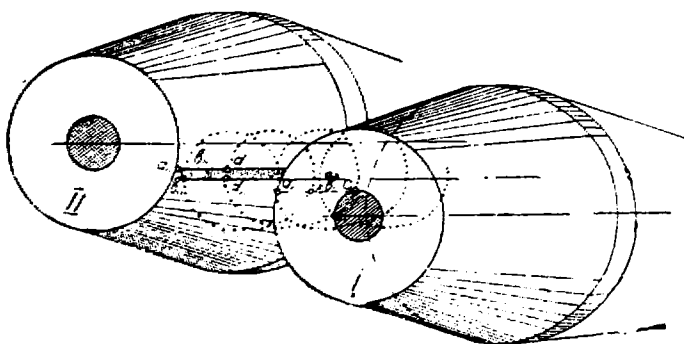


приложенная в точке соприкосновения валка с болванкой, *разлагается* на две составляющие силы, из которых одна сила  $D_1$  перпендикулярна к оси прокатываемой болванки, а другая  $v_1$  — параллельна этой оси. Так же раскладывается окружная сила  $u_2$  второго валка на  $D_2$  и  $v_2$ . Силы  $D_1$  и  $D_2$ , по направлению перпендикулярные к оси прокатываемой болванки, в то же время являются касательными к поверхности болванки, так как приложены к точке соприкосновения валков с болванкой; следовательно, они играют роль *окружных сил* болванки, и их действие



Фиг. 94. Действие сил вращения и сил подачи.

производит *вращение болванки в направлении, противоположном направлению вращения валков*. Поэтому и называют их *силами вращения*. Силы  $v_1$  и  $v_2$  действуют в направлении, *параллельном оси болванки*; они *захватывают болванку и подают ее*, втягивают ее в стан. Называют их *силами подачи*. Силы вращения и силы подачи *совместно* производят всю работу по *прошивке болванки*. Их взаимное действие на болванку можно уяснить на фиг. 95, представив себе, что *какая-нибудь точка на поверхности прошиваемой болванки первое соприкосновение* имеет с валком I в точке  $a_1$ ; окружное усилие валка в этой точке складывается из *силы вращения болванки и силы ее подачи*.



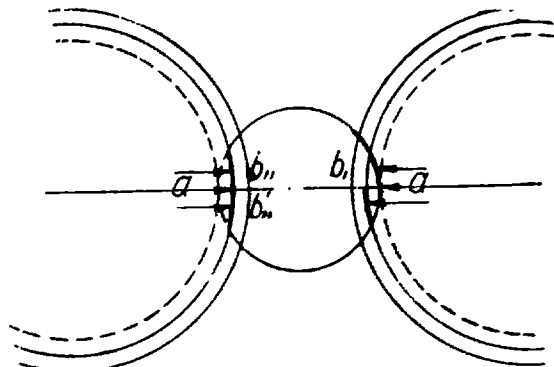
Фиг. 95. Движение точки металла на поверхности болванки при косо́й вальцовке.

Сила вращения поворачивает болванку вокруг оси, и *намеченная точка поверхности болванки будет приближаться к валку II*. Если бы не было никаких других сил, кроме силы вращения, то эта точка *поверхности валка встретила бы с валком II в точке  $a_{II}$* . Но, так как одновременно действуют и силы подачи, которые втягивают болванку в валки, то последние за время, пока *намеченная точка дойдет до валка II*, т. е. за время *полуоборота болванки, продвинут болванку вперед на расстояние, равное  $a_{II}b_{II}$* . Поэтому рассматриваемая точка поверхности валка попадает в  $b_{II}$ . Продолжая те же самые рассуждения, можно найти, что при *дальнейшем вращении болванки рассматриваемая точка попадет в  $b_I, c_I$  и т. д.*, т. е. *все точки поверхности прошиваемой болванки будут перемещаться по винтовой линии*.

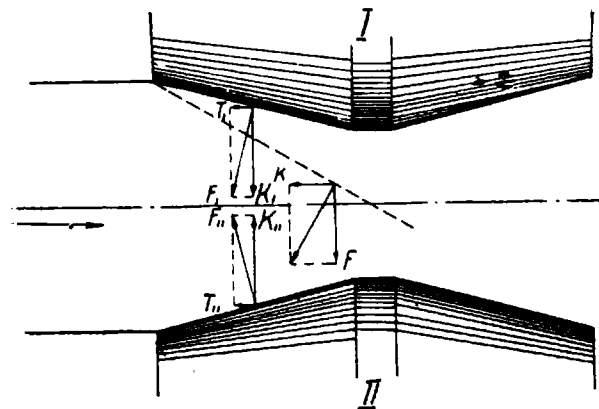
Если бы расстояние между поверхностями валков было постоянным, то точки поверхности болванки проходили бы валки по правильной винтовой линии, не претерпевая никаких особенных изменений. Но в данном случае, вследствие коничности валков, расстояние между их поверхностями в части, конуса прошивки или в „подготовительном калибре“ все время уменьшается. В результате этого появляются новые силы, *силы давления*, действующие в рабочих поверхностях валков, т. е. в поверхностях соприкосновения валков с металлом.

Рассмотрим процесс образования этих поверхностей и возникновения на них сил давления.

На фиг. 96 пунктиром показано положение сечения валков и болванки в момент входа ее, захвата ее валками, когда диаметр ее равен расстоянию  $aa$ . Сплошными линиями показано положение того же сечения при переходе его в пространство между валками в точках  $b_1b_2$ ; так как  $b_1b_2 < aa$ , то болванка должна немного, в зависимости от коничности валков, сплющиться, и сечение болванки получается уже не круглое, а овальное. Поэтому и соприкосновение валков с болванкой получается уже не в одной точке, а на некотором протяжении  $b_1b_2'$  и т. д. Если соединить все эти точки, то получается поверхность соприкосновения болванки с валком, которую уже раньше мы назвали „рабочей“. На фиг. 95 эти поверхности показаны штриховкой. По этим поверхностям происходит постоянное сжатие болванки, которое осуществляют силы давления валков.



Фиг. 96. Образование рабочих поверхностей.



Фиг. 97. Сопротивление болванки захвату.

перпендикулярном к рабочим поверхностям, т. е. перпендикулярно и к поверхности валков. Эти силы  $F_1$  и  $F_{II}$  разложены в двух направлениях на  $K_1, K_{II}$  и  $T_1, T_{II}$ . Из чертежа видно, что составляющие  $T_1$  и  $T_{II}$  имеют направление, противоположное направлению подачи болванки, т. е. они стремятся задержать болванку и выжать ее обратно. Если эти силы  $T_1$  и  $T_{II}$  становятся больше сил подачи, то это явление и происходит — болванка не захватывается валками. Увеличение сил  $T$  может произойти в результате увеличения сил давления  $F$ , величина которых зависит от сопротивления болванки изменению формы. Если подать в стан холодную, недостаточно нагретую болванку, у которой сопротивление изменению формы значительно больше, чем у хорошо прогретой, поскольку

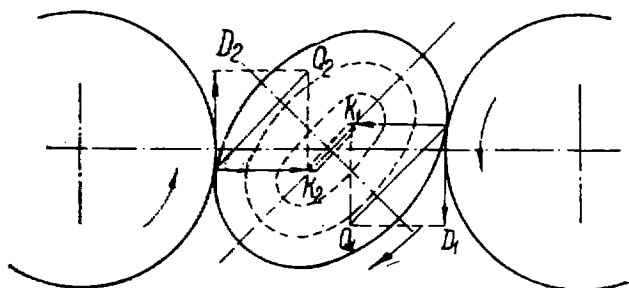
Они имеют направление, перпендикулярное к рабочим поверхностям. На фиг. 96 они показаны стрелками. Величина их зависит от сопротивления, которое оказывает болванка при изменении ее формы, от коничности валков, так как, чем больше их коничность, тем большему изменению формы подвергнется болванка.

Условия захвата при ко-  
сой вальцовке. Рассмотрим действие сил на фиг. 97. Действуют они, как выше было уже сказано, в направлении,

пластичность металла зависит от температуры нагрева, то может оказаться, что валки не в состоянии будут захватить болванку вследствие значительного увеличения сил давления и, следовательно, увеличения тормозящих сил  $T$ . Такое явление часто наблюдается в практике. Возможно увеличение сил  $T$  при неизменной величине сил  $F$ . Это произойдет при *увеличении количества валков*. Такой случай показан на фиг. 97 пунктиром. При равных по величине силах  $F$  составляющие  $T$  в последнем случае больше, чем вдвое превышают силы  $T$  в первом случае и превышают по величине силы подачи, т. е. препятствуют продвижению болванки в валки. В результате слишком большого обжатия болванка также не захватывается.

## § 19. Разрыхление внутренней полости болванки

После рассмотрения сил, действующих на поверхности болванки и валков, а также направления их, необходимо выяснить суммарное их действие, приводящее в результате к образованию внутренней полости в болванке, разбирая для этого взаимодействие в каком-нибудь одном поперечном

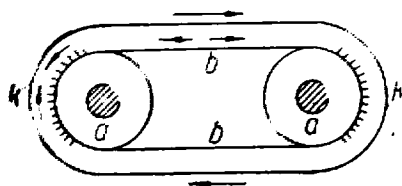


Фиг. 98. Образование овальности при входе болванки в валки.

сечении болванки после захвата ее валками. На фиг. 98 в рабочих поверхностях валков будут действовать две силы. Одна *сила вращения*  $D$  (фиг. 94), полученная от разложения окружной силы валков, действующая по касательной к поверхности валков, другая *сила давления* валка на болванку  $K$ , действующая в направлении, перпендикулярном к оси болванки; от сложения их получатся *равнодействующие*  $Q_1$  и  $Q_2$ . Эти две силы будут *параллельны, но имея противоположные направления, стремятся каждая в отдельности как бы сдвинуть одну половину сечения по отношению к другой*. Болванка при своем продвижении в валки, под влиянием сжатия, приобретает овальность.

При вращении ее все частицы металла проходят пути, показанные на фиг. 98 пунктиром.

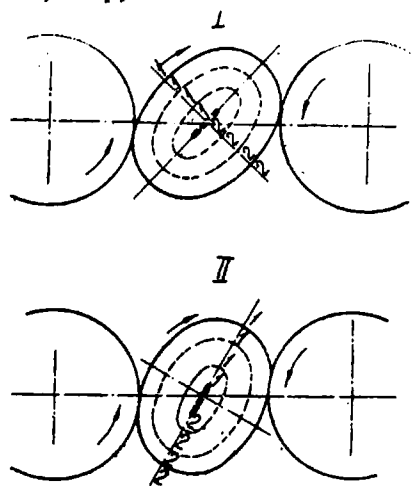
Если представить себе, что каждый слой металла движется самостоятельно, соблюдая все время овальность, то получается явление, подобное представленному на фиг. 99. Этот слой металла в местах  $k$  претерпевает *сжатие во внутренних частях и растяжение в местах  $b$* .



Фиг. 99. Схема переменных напряжений.

Для более глубокого слоя болванки эти поперечные напряжения будут более значительны, вследствие увеличения овальности при приближении к центру сечения. Наконец, в центре эта овальность превращается в *линию смещения, по которой напряжения вызывают нарушение материальной связи частичек*.

Если заметить на поперечном сечении болванки две точки 1 и 2, расположенные очень близко к центру (фиг. 100, положение I), то при повороте болванки на  $90^\circ$  расстояние между частицами 1 и 2 значительно увеличивается, и произойдет нарушение материальной связи между ними. Так как такому нарушению материальной связи подвергаются частицы, находящиеся в центральной полости, то после нескольких оборотов в области конуса прошивки болванка приобретает внутри как бы лучистое строение, причем лучами служат места, в которых нарушена или ослаблена материальная связь между частицами металла (фиг. 101). Если представить себе это лучистое строение в грубо увеличенном виде, то в сечении мы получим целый ряд острых углов, вершинами обращенных к центру болванки. Боковые стороны этих углов друг с другом не имеют связи вследствие тех напряжений, которые испытывает внутренняя полость. Основания же их составляют с болванкой одно целое.



Фиг. 100. Разрыхление середины болванки при косо́й вальцовке.

Таким образом, частицы металла со стороны центра, вследствие этого лучистого строения, либо совсем не связаны между собой, либо связаны очень слабо. В направлении же к наружной поверхности болванки эта связь сохраняется.

Вторым немаловажным обстоятельством при косо́й вальцовке является неодинаковость температуры болванки внутри и снаружи. Хотя болванка в печи прогревается возможно равномернее, но за время, пока болванка будет доставлена от печи к стану и задана в валки, наружная поверхность ее успевает остыть.

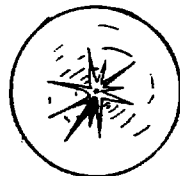
Кроме того, при прошивке поверхность болванки соприкасается с валками, охлаждаемыми водой, да и на самую болванку попадает эта охлаждающая вода. В результате всех этих воздействий поверхностные слои болванки успевают охладиться на  $100-200^\circ$ , в то время как центральная часть сохраняет первоначальную температуру нагрева и металл в центральной части оказывается более близким к тестообразному состоянию и легче поддается деформации.

Не следует забывать и третьего обстоятельства, что центральная часть болванки после отливки наиболее загрязнена включениями серы, фосфора и шлака.

Образование внутренней полости. На фиг. 102 представлена схема прохождения металла через валки стана косо́й вальцовки. В точке *a*, как и в любой точке рабочей поверхности валков, действует сила подачи *V*, которая оказывает на металл болванки растягивающее действие.

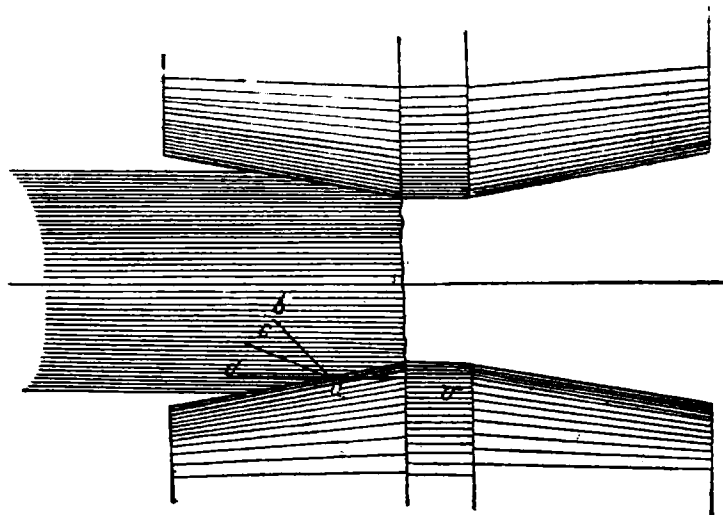
В точку *a* металл может поступать из любого направления. Но в первую очередь он течет из тех мест, где он меньше всего оказывает сопротивление растяжению, где он наименее крепок. В самом деле, ведь если подвесить груз на двух нитях, из которых одна слабее другой (фиг. 103), то при увеличении груза более слабая нить начнет растягиваться (фиг. 103 II) и при некоторой величине груза оборвется (фиг. 103 III).

Обратимся теперь к нашей силе подачи *V*, которая действует подобно грузу на фиг. 103. Мысленно представим себе три направления в металле *ab*, *ac* и *ad*. Все эти стержни, или частицы металла в этих направлениях, удерживаются от растяжения и разрыва силой *V* сопротивлением металла разрыву, которое тем больше, чем крепче материальная



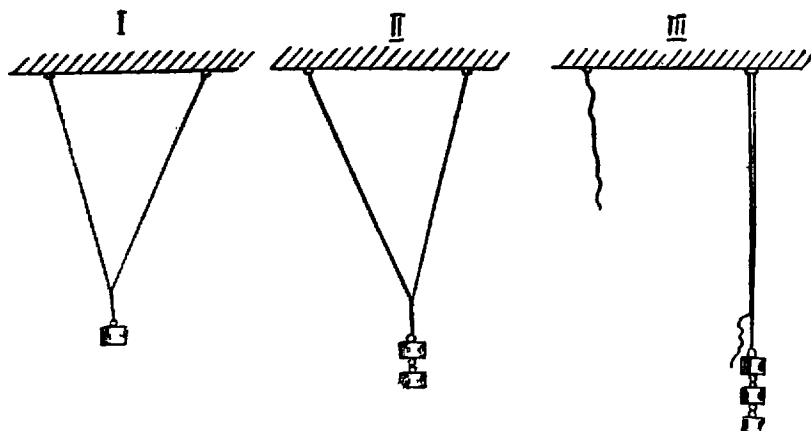
Фиг. 101. Лучистость болванки.

связь частиц металла между собой. Наибольшая связь частиц в данном случае будет в направлении  $ad$ , так как этот стержень расположен ближе всего к поверхности болванки, где металл более крепок, вследствие более низкой температуры, его лучшей структуры и наименьшей подверженности разрыхляющим усилиям. Наименьшая связь — в направлении  $ab$



Фиг. 102. Действие сил подачи на внутренние частицы болванки.

к центру болванки, где он, по изложенным выше причинам, отличается уже лучистым строением, разрыхлен, имеет более высокую температуру и более слаб, в виду неметаллических включений, усадочной раковины или ее следов.

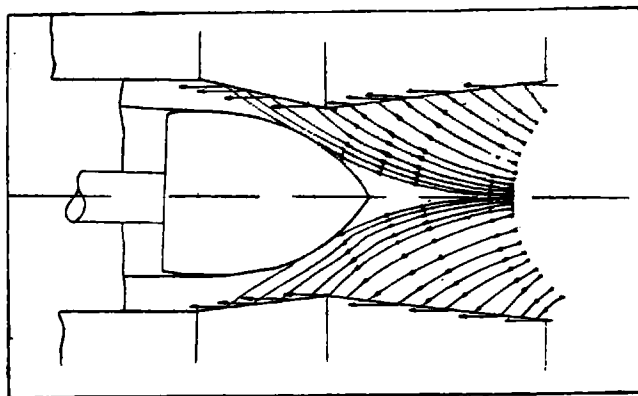


Фиг. 103. Действие груза на нити разной прочности.

В результате действия все увеличивающихся сил подачи металл в направлении  $ab$  будет растягиваться и, наконец, — в наиболее слабом его месте произойдет разрыв. Таким местом является как раз разрыхленная центральная часть болванки. Это означает, что при возрастании скорости подачи металл будет утягиваться из центра болванки к ее поверхности, вследствие чего может уменьшиться и сечение. Уменьшение сечения будет происходить за счет уменьшения диаметра самой болванки.

Таким образом, можно прийти к заключению, что при продвижении болванки в валках центральные частицы в каждом сечении имеют боль-

шую скорость, чем частицы, прилегающие к поверхности болванки. Это вынуждается все увеличивающимися скоростями подачи передних сечений и, следовательно, необходимостью уменьшения площади поперечного сечения. А возможность эта создается тем *разрыхляющим действием сил давления и вращения болванки*, которые имеют место при косо́й вальцовке.



Фиг. 104. Пути вытекания металла при косо́й вальцовке.

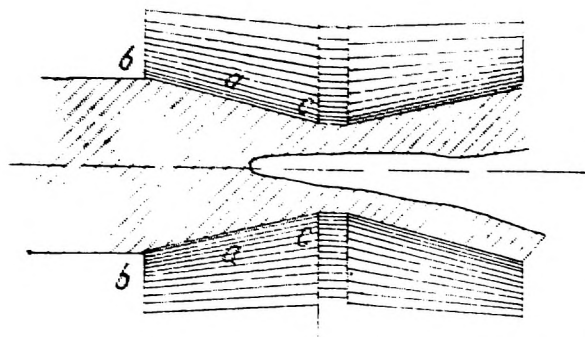
На фиг. 104 показаны в разрезе стрелками пути движения металла при косо́й вальцовке. Если наблюдать за прошивкой болванки в стане косо́й вальцовки, то можно проследить за явлением, которое служит доказательством того, что скорости продвижения металла в центральной части болванки больше, чем в остальных ее частях, а именно, как только задний конец болванки дойдет до рабочей поверхности валков, как только он будет захвачен ими, в нем образуется *центральная конусообразная воронка*.

## § 20. Скручивание болванки

Из вышеизложенного видно, что прошивка болванки, разрыхление внутренней полости ее и образование дыры происходит исключительно *под действием сил косо́й вальцовки, возникающих в свою очередь благодаря косо́му расположению и конической форме рабочих валков*. Но эта коническая форма наряду с основным процессом прошивки вызывает при прокатке явления, *вредные для обрабатываемой болванки*. Вследствие постепенного увеличения диаметра валка в виду его коничности возрастает и его *окружная скорость*, а, следовательно, и *скорость вращения болванки*.

В результате увеличения скорости вращения сечений болванки при продвижении ее в стан болванка *скручивается*. Но это явление, вредное само по себе, поскольку оно вызывает напряжения кручения в материале, не было бы столь нежелательным, если бы эти напряжения протекали в одном направлении и были равномерны, чего как раз и не наблюдается при косо́й вальцовке. *Скорость вращения болванки совпадает с окружной скоростью валков лишь в тех местах, где имеется наибольшее давление валков, где плоскость соприкосновения валков с болванкой, (рабочая поверхность) наибольшая, т. е. в местах, где болванка наиболее сплюснута, наиболее овальна. Овальность же болванки начинает увеличиваться с момента задачи ее в валки до тех пор, пока не начнет уменьшение сечения болванки вследствие утяжки металла из центра и образования дыры (сечение *aa* фиг. 105). Так как болванка в этом месте сильнее всего зажата, то это место тянет за собой сечения болванки по обе стороны от него, как, например, сечение *bb*, а также *сс* стараясь придать*

им ту же скорость вращения, какую имеет и само. Сечение *bb* нормально должно вращаться с меньшей скоростью, чем *aa* вследствие меньшего диаметра валков, но в виду того, что силы давления в *bb* незначительны по сравнению с таковыми в *aa*, сечение *aa* тянет его за собой, заставляя его вращаться со скоростью большей, чем скорость валков в этом сечении, и в результате возникает трение, оттягивающее наружный слой болванки назад.



Фиг. 105. Образование дыры при косо́й вальцовке.

После того как начинает образовываться дыра, давление валков уменьшается, и болванка стремится сохранить эту скорость вращения, которую она имела в месте наибольшего давления, т. е. в сечении *aa*. Скорость же на поверхности валков увеличивается, достигая своего максимума в сечении *cc* — там, где имеют наибольший диаметр. Вследствие разности в скоростях, валки в сечении *cc* стремятся опередить наружный слой болванки, стараются утянуть его вперед. В результате, поверхность болванки, проходя через валки, испытывает переменные напряжения. Под влиянием этих переменных напряжений все пороки наружных слоев болванки, как трещины, газовые пузыри и т. п., не выдерживая, образуют на поверхности рванины, плены и т. п.

Роль дорна при прошивке. Фотография части опытной болванки, разрезанной вдоль, показывает, что образование дыры произошло значительно ранее, чем мог проявить свое влияние дорн (фиг. 106). Под действием дорна полость расширяется, а материал болванки подвергается



Фиг. 106. Разрез болванки при косо́й вальцовке.

дополнительной обработке, рваная и пористая поверхность уплотняется, заваривается, и связь между отдельными частицами поперечного сечения усиливается.

Благодаря введению дорна удается получить гильзу со сравнительно гладкой внутренней поверхностью и тонкой стенкой.

Резюме. Если теперь подытожить разобранное в отдельности действие сил при косо́й вальцовке, то процесс прошивки сплошной болванки в пустотелую гильзу представляется в такой последовательности:

1. Заданная в стан болванка захватывается рабочими валками. Действующие на их поверхности окружающие усилия, вследствие косо́го расположения валков, разлагаются на две составляющие силы, одна из которых придает болванке вращательное движение, а другая сила подачи — поступательное. В результате каждая точка поверхности валков

совершает как бы *винтовое движение*. Вследствие *коничности валков* сечение болванки по мере продвижения в валки принимает *овальность* и этим самым *увеличивается площадь соприкосновения валков с болванкой* (рабочая поверхность), *увеличиваются силы давления*.

2. Под *совместным действием сил вращения и сил давления* *внутренняя полость болванки разрыхляется и принимает лучистое строение*, при котором *частицы металла в некоторых направлениях уже теряют материальную связь*.

3. Все *увеличивающиеся*, под влиянием *увеличения диаметра валков*, *силы подачи* вызывают необходимость по закону постоянства объема металла *уменьшения сечения и увеличения вытяжки*. Это и происходит за счет *внутренних частей сечения болванки*, имеющих вследствие предшествовавшего *разрыхления и физических свойств металла* (температура, включения, усадочная раковина) *более слабое строение; в болванке образуется дыра*.

4. Дальнейшее *ее расширение, уплотнение металла, заглаживание внутренней поверхности, уменьшение толщины стенки* производится *воздействием дорна*, между поверхностью которого и поверхностью валков стенка гильзы *окончательно раскатывается*, гильза принимает *окончательный диаметр* и *выдается из стана*.

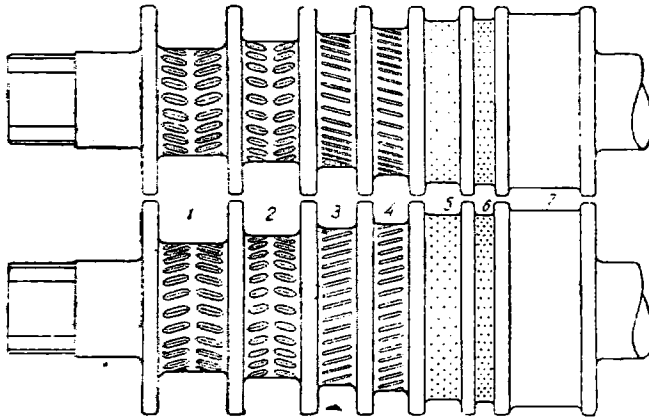
---



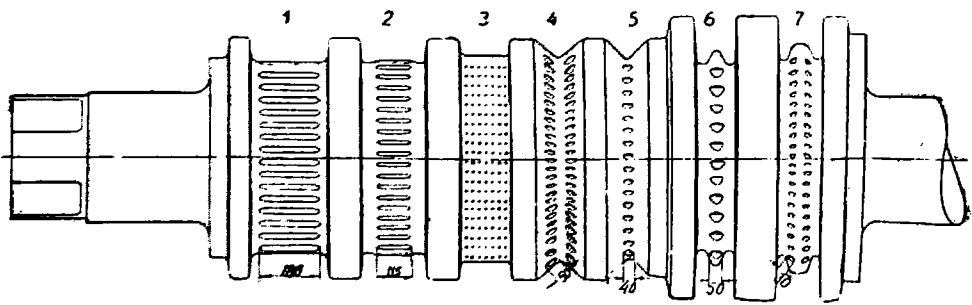
## КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

### § 21. Принципы калибровки

*Калибровкой прокатных валков или калибровкой какого-либо прокатного изделия называют определение формы и расчет размеров последовательных калибров. Калибром называют профиль выреза, составленного двумя соответствующими друг другу валками (фиг. 107, калибры 1—7).*



Фиг. 107. Калибры валков.



Фиг. 108. Ручьи на валке.

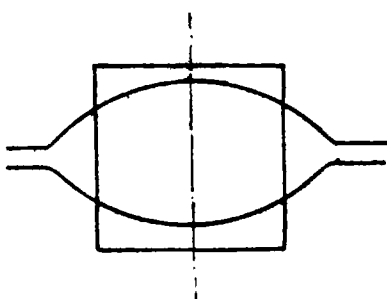
*Профиль выреза в одном валке называют ручьем (фиг. 108, ручки 1—7).*

Калибровка является самой существенной и в то же время наиболее сложной стороной прокатного дела, так как она базируется на весьма сложном и притом сравнительно слабо изученном процессе деформации металла при прокатке. Накопление экспериментального материала, его обработка и теоретические обоснования процесса прокатки постепенно расширяют научную базу калибровки, которая, однако, еще до сих пор весьма недостаточна. Вот почему эксперименты и накопленный долгими годами опыт

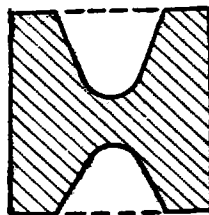
играют столь существенную роль в этом вопросе. В то же время не освещенный наукой опыт в руках мастера-калибровщика зачастую ведет к ошибкам, поддающимся трудному и долгому исправлению „по чутью“.

Как уже было выяснено в предыдущей главе, температурная область горячей прокатки находится в границах 1300—800°, преимущественно в границах 1200—900°. *Учет температуры прокатываемого металла является наиболее важным фактором калибровки.* Правило „куй железо, пока горячо“ в полной мере может быть применено к прокатке. Это правило ведет к *постепенному уменьшению обжатий и вытяжек* по мере понижения температуры металла и уменьшения его сечения. Особенно важно понижение вытяжек к концу для фасонных профилей, при прокатке которых возникают большие внутренние напряжения в металле. Температурные границы прокатки наиболее широки для мягкого металла — мягкой углеродистой стали или железа. Для твердой углеродистой и легированной стали эти границы значительно сужаются, главным образом понижается верхняя граница.

Ограниченная температурная область прокатки ведет и к другому важному правилу калибровки: стремиться к *наименьшему возможному числу пропусков.* Это не требующее пояснений обстоятельство важно еще и в смысле максимального повышения производительности прокатного



Фиг. 109. Неравномерное по ширине обжатие квадратной полосы в овальном калибре.



Фиг. 110. Разрезающие заготовки при прокатке балки.

стана, чего можно добиться, с одной стороны, *уменьшением числа пропусков*, а с другой — *увеличением скорости прокатки и сокращением времени пауз* благодаря механизации работы.

Наряду с указанными двумя, третьим, также основным, правилом является калибровка с *равномерными вытяжками металла во всех частях калибра.* Это правило легко соблюдается при прокатке в прямоугольных калибрах, имеющих одинаковую высоту и одинаковое обжатие по всей ширине. Во всех остальных случаях добиться равномерных вытяжек нелегко, а иной раз и невозможно. В качестве примера последнего можно взять овальный калибр с задаваемой в него квадратной полосой (фиг. 109). Здесь обжатие в середине калибра наименьшее, по краям калибра — наибольшее. Максимальную вытяжку металл получает в крайних частях, минимальную в середине.

Как увидим ниже, пластичность металла компенсирует известным образом подобную неравномерность вытяжек, однако это вызывает в металле *внутренние напряжения*, могущие вредно сказаться на его качестве. Помимо этого, затрачиваемая на перемещение частиц металла по сечению калибра энергия увеличивает потребную для прокатки работу, происходит излишнее истирание калибров и другие затрудняющие прокатку обстоятельства.

Вторым наглядным примером неизбежности неравномерных вытяжек могут служить так называемые *разрезающие калибры* при прокатке фланцевых профилей. На фиг. 110 представлен разрезающий калибр при

прокатке балки с задаваемой в него заготовкой. Внедряющиеся в тело заготовки клины валков разрезают заготовку на части, из которых в дальнейшем выкатываются фланцы. Разрезание ведет к большим вытяжкам центральных частей заготовки, в то же время крайние части не испытывают обжатия, а, следовательно, не стремятся к вытяжке.

Наряду с указанными примерами, во многих случаях прокатка фланцевых и сложных профилей возможна с равномерными или весьма близкими к равномерным вытяжками. Примером этого может служить прокатка той же балки в последующих за разрезающим калибрах. Применение бокового обжатия между поверхностями соприкасающихся валков дает возможность достигнуть одинаковые вытяжки в так называемых открытых фланцах и в шейке (подробнее об этом см. ниже).

К названным трем основным правилам калибровки следует добавить еще более или менее важные обстоятельства, иной раз применительно к конкретным местным условиям. К числу их нужно отнести учет способности прокатываемого металла к горячей деформации, зависящей от *химического состава металла, качества его изготовления, качества слитков, качества и степени нагрева* и т. п. Вообще следует отметить, что литые слитки благодаря непрочной литой структуре чувствительны к обработке в первых пропусках до уничтожения литой структуры. Это в меньшей мере относится к мягкому металлу и весьма существенно для твердого и качественного металла. Учет этого обстоятельства иногда приводит к необходимости *понижать обжатия и вытяжки в нескольких первых калибрах*, причем нормальные для данной температуры вытяжки достигаются лишь в последующих калибрах. Такие случаи имеют место обычно при прокатке в блумингах, заготовочных станах и станах, где исходным продуктом являются литые слитки.

В предыдущей главе было выяснено значение величины диаметра валков при деформации металла. Прокатку необходимо вести с минимальным уширением, т. е. с наименьшим возможным диаметром валков. Малый диаметр валков способствует более энергичной вытяжке металла, не создавая лишнего уширения, которое приходится обжимать при кантованиях. Кроме того, с уменьшением диаметра при том же обжатии уменьшается поверхность соприкосновения металла с валком, уменьшается давление металла на валок, передаваемое в подшипники прокатного стана, и тем самым значительно сокращается расход энергии на прокатку. Но предел уменьшению диаметра валков ставит их прочность и допускаемые при прокатке углы захвата, особенно в первых по ходу прокатки и наибольших по размерам калибрах, дающих максимальный врез в тело валков. На основе учета всех факторов прокатки, в том числе и только что названных, практикой выработаны наиболее употребительные диаметры валков для различных станов. Вместе с тем, чтобы не превышать безопасно допустимых для нормального хода прокатки углов захвата, зачастую приходится прибегать к форме калибров, обеспечивающих наименьшие врезы в валки при максимальных вытяжках, каковыми являются, например, плоские калибры.

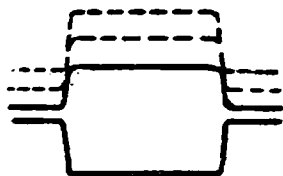
Отметим также, что зачастую требуется приспособление калибровки к определенным условиям, иногда чисто местного характера, например, к известному числу пропусков, к удобствам обслуживания стана и т. п.

## § 22. Прокатка в блумингах

Назначение блумингов — прокатывать из литых слитков заготовки, носящие название блумсов и являющиеся полупродуктом для окончательной прокатки в дальнейшем тех или иных изделий. Сечение слитков, поступающих для прокатки в блуминге, прямоугольное, часто квадратное; сечение блумсов также квадратное или прямоугольное. Следовательно при прокатке в блуминге мы должны иметь дело с прямоугольными

калибрами, ибо применение других систем калибров не имеет смысла. Система прямоугольных калибров при подобных больших размерах прокатываемых сечений — наилучшая и единственно применяемая, так как при ней валки менее всего ослабляются врезами и, благодаря плоскому расположению калибров, обеспечивается максимальное обжатие при заданных углах захвата.

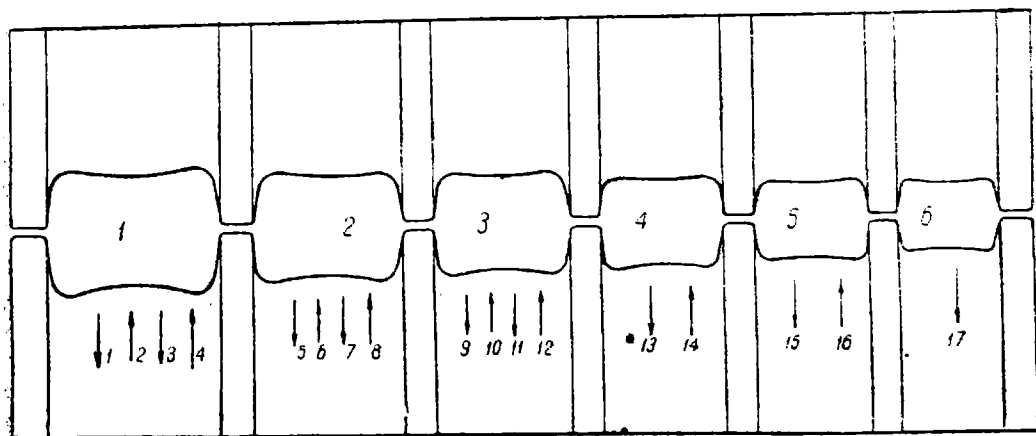
Применение прямоугольных калибров позволяет в каждом из таких производить несколько пропусков, сближая постепенно валки между собою. На фиг. 111 представлен прямоугольный калибр, высота которого постепенно с каждым пропуском уменьшается, чем достигается получение в одном калибре штуки разной толщины. Что касается ширины калибра, то она должна быть рассчитана с учетом уширения, т. е. ширина калибра должна быть больше ширины задаваемого в калибр слитка на величину уширения, полученного слитком за все произведенные в данном калибре пропуски. Осуществление нескольких пропусков в одном калибре сокращает число последних и дает возможность в одной клетке блуминга произвести до



Фиг. 111. Получение разной толщины штуки в прямоугольном калибре.

15 — 21 пропусков, необходимых для получения блумсов из крупных литых слитков. На фиг. 112 представлена схема прокатки в блуминге, имеющем валки с 6 калибрами, в которых производится 17 пропусков.

На американских заводах с начала нынешнего столетия большое распространение в блумингах получили валки с малым числом калибров и с гладкой частью. Слиток *вначале прокатывается в гладкой части, и*



Фиг. 112. Схема прокатки в блуминге.

лишь несколько последних пропусков производится в калибрах. Это можно сделать потому, что при большом сечении слитка прокатка в гладких валках не вызывает затруднений; при правильной подаче слитка в валки он не сворачивается и выходит из валков прямо, несмотря на отсутствие боковых граней калибра. Уширение слитка получается *свободным* и это является известным *недостатком* прокатки в гладкой бочке, особенно при плохом качестве металла (плохо раскисленном, сернистом и т. п.) и при прокатке слитков твердого металла.

Но эта *американская система* прокатки в блумингах имеет и *значительные преимущества*, заключающиеся в ускорении прокатки из-за *сокращения продолжительности пауз* и в *увеличении прочности и срока службы валков*. Сокращение пауз происходит благодаря тому, что для направления слитка в гладкую бочку не требуется точной установки его

против калибра; она производится кантовальными и передвижными устройствами с затратой некоторого времени. При прокатке же в калиброванных по всему телу валках, носящих название *европейских*, в виду их преимущественного применения в Европе, на паузы затрачивается больше времени, чем при том же числе пропусков в американских валках. Последние же пропуски и в американских валках также производятся в калибрах, чтобы получить достаточно точные размеры блумсов и предотвратить сваливание, которое возможно при меньших размерах сечения в последних пропусках.

Европейская система работы блумингов, т. е. прокатка в калиброванных валках, более раннего происхождения. Эта система впервые была применена к прокатке сварочных пакетов, сложенных из нескольких полос и нагретых до сварочного жара. Для того чтобы пакет при прокатке не рассыпался и не испытывал некоторого бокового давления, применялись валки с глубоко врезанными калибрами, причем больший врез делался в нижнем валке, ребрами которого пакет и удерживался от рассыпания. В дальнейшем при переходе к прокатке литых крупных слитков уже не было нужды делать больший врез в нижнем валке, и калибры врезывались одинаково в верхнем и нижнем валках, что гораздо удобнее, ибо позволяет сделать оба валка одинаковыми.

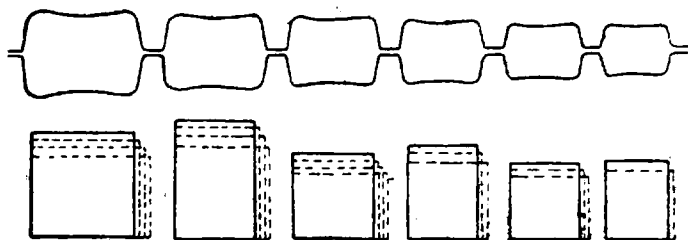
Возникновение американской системы прокатки в гладких валках (за исключением последних пропусков) объясняется стремлением за счет увеличения обжатий и сокращения пауз увеличить производительность блумингов. Вместе с этим американская металлургия отличается достаточно высокой доброкачественностью слитков, что позволяет применять прокатку со свободным уширением. Американская система прокатки в блумингах в последнее время получила широкое распространение в Европе, особенно на новостроящихся заводах. На всех наших новостроящихся и уже вступивших в строй заводах на блумингах также приняты валки американской системы.

В литературе и в практике ряда европейских стран, и особенно в Германии, однако, еще до сих пор американская система не считается общепризнанной, особенно для прокатки легированного и твердого металла. Прокатка в калиброванных валках предохраняет металл, главным образом на углах слитка, от образования трещин, которые могут легче возникнуть при прокатке в гладких валках вследствие свободного уширения. Но при прокатке обыкновенного доброкачественного металла, бесспорно, американская система не вызывает опасений и выгодна, так как повышает производительность блумингов. Преимуществом американских валков является также их большая прочность благодаря отсутствию глубоких врезов, их меньшая длина вследствие малого числа калибров (обычно 2—3) и возможность применения *меньшего диаметра* благодаря прокатке при первых пропусках (когда требуются наибольшие обжатия) в теле валков, не ослабленном вырезами. Поэтому блуминги американской конструкции имеют обычно меньший диаметр и длину валков, что приводит к *компактности и уменьшению их общего веса*.

Прокатка в блуминге происходит с обжатием прямоугольного слитка в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Удобнее всего производить кантование (поворачивание) слитка с целью обжатия в перпендикулярном предыдущему направлению тогда, когда ширина его в 1,5—2 раза превышает толщину. После кантования слиток ставится на ребро и в этом направлении за несколько пропусков вновь доводится до такой толщины, когда она в 1,5—2 раза становится меньше ширины и т. д. С уменьшением толщины при обжатиях ширина слитка несколько увеличивается вследствие уширения, и вместе с тем боковые грани слитка приобретают некоторую выпуклость. По длине слиток из-за разных причин (неравномерность нагрева, неточность настройки валков и др.) может несколько искривиться. Поэтому часто применяют промежуточные канто-

вания тогда, когда слиток приобретает квадратное или близкое к квадратному сечение. После кантования ширина задаваемого в валки слитка изменяется, ибо бывшая ранее толщина его становится шириной.

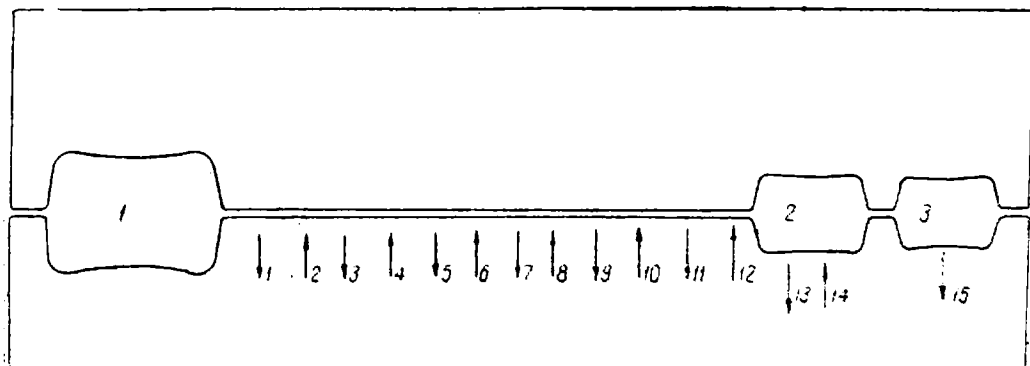
На фиг. 113 представлены схематически последовательные размеры прокатываемого в калибрах блуминга слитка. Пунктирными линиями очерчено начальное (задаваемое) и сплошными конечное (выходящее) сечение для каждого калибра. Уменьшение толщины слитка в каждом



Фиг. 113. Последовательные сечения слитка при прокатке в блуминге.

калибре производится при помощи опускания верхнего вала. Если прокатка ведется в американских валках, то после кантования слиток задается вновь в гладкую часть (бочку), а при последних пропусках в калибры. На фиг. 114 представлена схема прокатки в американских валках, на фиг. 112 — в европейских валках.

Калибровка блуминга заключается в *определении размеров прокатываемого слитка при каждом пропуске* и в *установлении необходимого числа пропусков* для получения из слитка заданного веса и сечения блумса также заданного сечения. При этом весьма желательно учесть



Фиг. 114. Схема прокатки в валках американского блуминга.

все отражающиеся на работе блуминга условия, как то: мощность приводного двигателя, диаметр валков, температуру прокатываемого металла, его химический состав и доброкачественность, прочность конструкции стана, возможную и наилучшую скорость прокатки и другие условия, которые могут и не являться общими, а местными для данного блуминга. Учет всего многообразия этих условий при калибровке весьма затруднен, особенно условий местного порядка. Поэтому расчет калибровки обычно ведут с учетом *общих и главных факторов*, предоставляя возможность, по мере необходимости в силу наличия особых других условий, делать те или иные отступления от расчетных данных, базирующихся на учете только основных факторов.

Предложенные немецким проф. Тафелем в его книге схематичная калибровка блуминга на основе процентных обжатий и проф. Виноградовым калибровка на основе равномерных обжатий с последующей их

корректировкой, явились, по существу, первыми попытками теоретического обобщения калибровки блуминга. В дальнейшем, пользуясь принципом процентных обжатий, проф. А. Виноградов разработал метод калибровки блуминга, получивший название метода процентных обжатий или режима обжатий. При калибровке по этому методу по выбранным диаметру валков и углам захвата определяются процентные и абсолютные обжатия и находятся размеры слитка при каждом пропуске и число последних. Дальнейшее свое развитие калибровка блуминга получила в методе проф. А. П. Чекарева, основанном на учете мощности приводного двигателя и основных характеристик работы блуминга: скорости прокатки и давления металла на валки при прокатке, т. е. на учете химического состава и температуры металла. Помимо того, калибровка по последнему методу производится в направлении, обратном прокатке, в противоположность остальным методам калибровки. Этот принцип может быть с успехом применен и для других методов калибровки; о преимуществах его будет указано ниже.

В настоящем общем курсе прокатки мы остановимся на изложении калибровки по методу проф. А. Виноградова, так как метод проф. А. П. Чекарева, как учитывающий ряд дополнительных факторов, требует более глубокого знания работы блуминга и изложен в специальном курсе калибровки и прокатки<sup>1</sup>. В метод проф. А. Виноградова нами внесена лишь необходимая и существенная поправка, заключающаяся в том, что вместо калибровки по ходу прокатки нами принят принцип калибровки против хода прокатки. Ниже на примере иллюстрируется видоизмененный нами метод проф. А. Виноградова калибровки блуминга по относительным обжатиям.

## § 23. Калибровка валков блуминга американского типа

В качестве примера возьмем калибровку *первого советского блуминга* для прокатки блумса  $\square 200$  мм из слитка обыкновенной литой стали размерами  $635 \times 762 \times 1855$  мм, весом 7 т. По проекту первого советского блуминга приняты веса слитков 4,5, 5 и 7 т, преимущественно 7 т и сечение блумсов  $\square 250, 200$  и 150 мм, преимущественно 200 мм. Диаметр валков советского блуминга 1150 мм; валки американского типа. Так как в этих валках предположена прокатка блумсов трех сечений или крайней мере трех различных ширин, то на них должно быть предусмотрено не менее трех калибров, шириною 150, 200 и 250 мм.

Нетрудно убедиться, что в этих калибрах возможна прокатка не только квадратных, но и прямоугольных блумсов, например  $150 \times 175, 150 \times 200, 200 \times 225, 200 \times 250, 250 \times 225, 250 \times 275, 250 \times 300, 200 \times 300$  и т. д. При этом нужна только соответствующая установка верхнего валка, чтобы получить необходимую толщину блумса. Блумс сечением  $150 \times 175$  можно получить в калибре  $150 \times 150$ , если валки раздвинуть на 25 мм; блумс  $150 \times 200$  можно получить в калибре  $150 \times 150$ , если валки раздвинуть на 50 мм, или в калибре с шириной 200, если врез этого калибра в валки сделать не на 200, а на 150 мм; блумс  $200 \times 225$  можно получить в калибре  $200 \times 200$ , если валки раздвинуть на 25 мм и т. д.

Из приведенных примеров явствует, что *основой* для калибра является его *ширина*, по которой последний обычно и характеризуется. Что касается высоты калибра, то для характеристики его указывается та высота, которая соответствует *наименьшей выпускаемой толщине прокатываемой штуки*, т. е. *высота при сдвинутых валках*. При этом сдвинутом положении валков между их ребрами (или между гладкими некалиброванными частями) остается некоторый зазор (для блуминга 10—20 мм),

<sup>1</sup> А. П. Чекарев и М. П. Галенин, Калибровка и прокатка (готовится к печати).

служащий для того, чтобы валки не ложились вплотную друг на друга и своим надавливанием не создавали лишних усилий, изгибающих валки и требующих дополнительной затраты энергии на их вращение. Укладывать „валок на валок“ нельзя не только в блуминге, но и в других прокатных станах.

Прокатка в блуминге может быть осуществлена при более или менее энергичных условиях, при больших или меньших углах захвата, т. е. при больших или меньших обжатиях. Более энергичный режим следует применять тогда, когда это разрешают доброкачественность, химический состав (мягкая сталь) и температура (достаточно высокая) прокатываемого металла, достаточная мощность приводного двигателя, прочность конструкции стана и т. п. Менее энергичный режим соответственно должен применяться при противоположных условиях.

В целях осуществления *энергичного режима* требуется для увеличения угла захвата и надежности захвата металла валками применение *насечки*. Последняя, как уже указывалось в § 8, может быть различного вида и различной глубины. Для прокатки обыкновенного литого металла можно применять наиболее глубокую поперечную, крестообразную или угловую насечку в первых калибрах валков блуминга европейского типа или в гладкой части валков блуминга американского типа. При этой насечке угол захвата может быть повышен до предельных величин 30—32°, однако для надежности захвата при расчете калибровки угол обычно берут *меньший*, 25—27°. В последующих калибрах насечка постепенно ослабляется и в чистовом (последнем) калибре она или вовсе *отсутствует* или для обыкновенного металла наносится керном в виде неглубоких частых квадратных или круглых углублений — отсюда название насечки: *керновая* или *точечная*. В углах калибров насечка вообще не допускается. При этой насечке угол захвата в последнем пропуске может быть принят 16—19°. Мелкие следы от точечной насечки, остающиеся на блумсе, в дальнейшем сглаживаются при прокатке последнего в заготовочном и отделочном станах. Если же от готового изделия требуется очень *чистая поверхность*, то применение насечки в чистовом калибре блуминга совсем *не рекомендуется* и угол захвата здесь должен быть принят при гладкой поверхности тела валков в калибре не более 13—15°, а это соответственно понижает обжатие.

При прокатке *легированного металла* применение какой-либо насечки в чистовом калибре *не допускается*, не рекомендуется также применять насечку и в промежуточных калибрах и лишь в первых калибрах можно допускать неглубокую насечку. Иногда же и в первых калибрах насечка не допускается. Пониженные углы захвата заставляют при том же диаметре валков производить меньшие обжатия и, следовательно, большее число пропусков, что необходимо также и с точки зрения доброкачественности прокатки легированного и вообще более твердого металла. Калибровка и насечка валков, пригодная для прокатки обыкновенного металла, непригодна для прокатки твердого металла.

Имея в виду в рассматриваемом нами сейчас примере прокатку обыкновенного мягкого металла, примем следующие углы захвата: для последнего пропуску 17,5°, для первого 26°. Углы захвата для промежуточных пропусков целесообразно изменять *постепенно* от 26 до 17,5° по ходу прокатки или от 17,5 до 26° по ходу калибровки (так как ход калибровки нами принят против хода прокатки).

Определим получаемые обжатия при указанных углах захвата. При последнем пропуске угол захвата 17,5°. Диаметр валков нами должен быть определен из следующих соображений: диаметр без вырезов  $D = 1150$  мм, последний пропуск производится в калибре с шириной 200 мм, высоту этого калибра при сомкнутых валках для возможности получения сечения 200×150 мм примем 150 мм. Катающий диаметр в калибре



$D_{\lambda} = 1150 - 150 = 1000$  мм. Обжатие при  $17,5^{\circ}$  определяется из следующего равенства:

$$H_1 - h_1 = D_{\kappa} (1 - \cos \varphi_1) = 1000 (1 - \cos 17,5^{\circ}) = 1000 \cdot 0,046 = 46 \text{ мм.}$$

Задаваемая в калибр при последнем пропуске высота штуки равна  $200 + 46 = 246$  мм; *относительное обжатие*:

$$\frac{H_1 - h_1}{H_1} = \frac{46}{246} = 0,19.$$

Относительным обжатием проф. А. Виноградов пользуется для определения величин обжатия в каждом пропуске. При нашем же принципе калибровки против хода прокатки более удобно пользоваться следующей величиной относительного обжатия:

$$\frac{H_1 - h_1}{h_1} = \frac{46}{200} = 0,230.$$

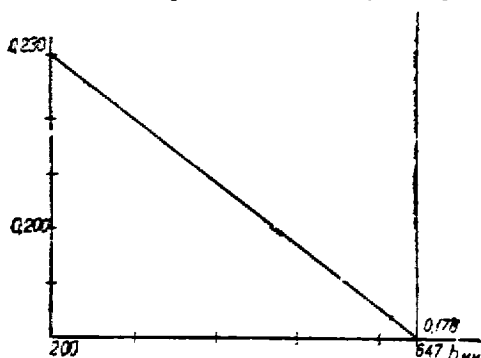
При первом пропуске (по ходу и в последнем  $n$ -ом против хода прокатки) в бочке валков американского типа советского блуминга диаметром  $D_0 = 1150$  мм и при угле захвата  $26^{\circ}$  мы имеем обжатие:

$$H_n - h_n = D_{\kappa_n} (1 - \cos \varphi_n) = 1150 (1 - \cos 26^{\circ}) = 1150 \cdot 0,1 = 115 \text{ мм.}$$

Относительное обжатие при выходящей в первом пропуске толщине  $762 - 115 = 647$  мм равно:

$$\frac{H_n - h_n}{h_n} = \frac{115}{647} = 0,178.$$

Величина относительного обжатия колеблется от 0,230 при последнем пропуске по ходу прокатки до 0,178 при первом пропуске. В промежуточных пропусках целесообразно относительные обжатия изменять *постепенно*, по мере изменения размеров слитка. Для составления зависимости между величиной относительного обжатия и размерами слитка пользуемся *диаграммой* (фиг. 115), где по оси абсцисс отложена меняющаяся толщина слитка при прокатке, а по оси ординат — величина относительного обжатия. Крайние точки проведенной на диаграмме *прямой линии* соответствуют найденным нами относительным обжатиям 0,230 и 0,178 при толщинах 200 и 647 мм. При постепенном изменении толщины слитка, по мере калибровки, будем принимать ординаты до прямой линии, числовое значение которых равно соответствующим относительным обжатиям.



Фиг. 115. Диаграмма относительных обжатий в американских валках.

Ниже рассмотрим калибровку блуминга по пропускам; при этом условимся выходящие при пропуске толщину, ширину и длину обозначать соответственно через  $h$ ,  $b$  и  $l$ , заданные при пропуске толщину, ширину и длину через  $H$ ,  $B$  и  $L$ , уширение через  $Z$ , относительное обжатие через  $P$ . Индексы у букв соответствуют номеру пропуска по ходу расчета.

1-й пропуск.  $h_1 = 200$  мм;  $H_1 - h_1 = 46$  мм;  $H_1 = 246$  мм;  $P_1 = 0,230$ ;  $b_1 = 200$  мм;  $D_{\kappa} = 1000$  мм. Уширение определяем по формуле Зибеля:

$$Z_1 = 0,35 \sqrt{r_1 (H_1 - h_1)} \cdot \frac{H_1 - h_1}{H_1}.$$

В данном случае  $z_1 = 0,35 \sqrt{500 \cdot 46} \frac{46}{246} = 10 \text{ мм}^2$ ;  $B_1 = 200 - 10 = 190 \text{ мм}$ .

Отношение  $\frac{H_1}{B_1} = \frac{246}{190} = 1,29$  показывает, что между последним и предпоследним по ходу прокатки пропусками кантование не обязательно. Очень плоский слиток, когда приведенное отношение достигает свыше 1,5—2,0, после кантования неустойчив на рольганге. Угол захвата нами вычислен был выше; он равен  $17,5^\circ$ . Коэффициент вытяжки:

$$\mu_1 = \frac{H_1 \cdot B_1}{h_1 \cdot b_1} = \frac{246 \cdot 190}{200 \cdot 200} = 1,17.$$

Длина блума при весе его 7 т и удельном весе нагретого металла 7,5 равна:

$$l_1 = \frac{7 \cdot 0,98}{7,5 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,95} = 24 \text{ м},$$

где 0,95 — коэффициент заполнения расчетного сечения, учитывающий закругления, 0,98 — коэффициент уменьшения веса слитка из-за угара.

Длина полосы, заданной при последнем пропуске, равна

$$L_1 = \frac{l_1}{\mu_1} = \frac{24}{1,17} = 20 \text{ м}.$$

Этими величинами полностью исчерпывается расчет первого пропуска.

**2-й пропуск.** Кантование между 2-м и 1-м пропусками отсутствует. Прокатка происходит в том же калибре  $h_2 = H_1 = 246 \text{ мм}$ ,  $b_2 = B_1 = 190 \text{ мм}$ . Относительное обжатие находим на фиг. 115 по толщине 246 мм: оно равно  $P_2 = 0,225$ . Тогда  $H_2 - h_2 = P_2 \cdot h_2 = 0,225 \cdot 246 = 55 \text{ мм}$ ;  $H_2 = h_2 + (H_2 - h_2) = 246 + 55 = 301 \text{ мм}$ ;  $D_k = 1000 \text{ мм}$ ;  $z_2 = 0,35 \sqrt{500 \cdot 55} \frac{55}{301} = 11 \text{ мм}$ .  $B_2 = b_2 -$

$- z_2 = 190 - 11 = 179 \text{ мм}$ . Отношение  $\frac{H_2}{B_2} = \frac{301}{179} = 1,68$ . Необходимо кантование. Производим дальнейшие вычисления:

$$\mu_2 = \frac{H_2 \cdot B_2}{h_2 \cdot b_2} = \frac{301 \cdot 179}{246 \cdot 190} = 1,17;$$

$$l_2 = \frac{l_1}{1,17} = \frac{24}{1,17} = 20 \text{ м};$$

$$L_1 = l_2, \quad L_2 = l_3, \quad L_3 = l_4.$$

$$H_2 - h_2 = D_k (1 - \cos \varphi_2), \text{ откуда}$$

$$1 - \cos \varphi_2 = \frac{H_2 - h_2}{D_k} = \frac{55}{1000} = 0,055$$

или

$$\cos \varphi_2 = 0,945.$$

Это соответствует углу захвата  $\varphi_2 = 19^\circ$ , который можно считать вполне допустимым при точечной насечке, имеющей место в последнем калибре.

**3-й пропуск.** Между 3-м и 2-м пропусками необходимо кантование. Следовательно,  $h_3 = B_2 = 179 \text{ мм}$ ,  $b_3 = H_2 = 301 \text{ мм}$ . Относительное обжатие

\* Уширение, а также обжатие, высоту и ширину слитка определяем округляя до целых миллиметров.

следует выбрать по диаграмме соответственно толщине 179 мм, но в виду того, что на диаграмме минимальная толщина 200 мм и при 179 мм относительное обжатие мало изменится, принимаем  $P_3=0,230$ ; тогда

$$H_3 - h_3 = P_3 \cdot h_3 = 0,230 \cdot 179 = 41 \text{ мм};$$

$$H_3 = h_3 + (H_3 - h_3) = 179 + 41 = 220 \text{ мм}.$$

В дальнейшем повторяем те же вычисления, что для 1-го и 2-го пропусков. При этом имеем в виду, что при ширине около 300 мм прокатка с успехом может производиться не в калибре, а в гладкой части, диаметр которой  $D_0=1150$  мм; далее имеем  $b_3=301$  мм,  $z_3=0,35\sqrt{575 \cdot 41} \frac{41}{220} = 10$  мм;  $B_3=301-10=291$  мм; отношение  $\frac{H_3}{B_3} = \frac{220}{291} = 0,73$ ; кантования между 4-м и 3-м пропусками ясно производить не нужно, ибо отношение не только близко к ориентировочному пределу 1,5 — 2,0, но даже меньше единицы.

$$\mu_3 = \frac{H_3 \cdot B_3}{h_3 \cdot b_3} = \frac{220 \cdot 291}{179 \cdot 301} = 1,19,$$

$$l_3 = \frac{l_2}{1,19} = \frac{20}{1,19} = 16,8 \text{ м},$$

$$1 - \cos \varphi_2 = \frac{H_3 - h_3}{D_k} = \frac{41}{1150} = 0,036;$$

$$\cos \varphi_3 = 0,964; \quad \varphi_3 = 15^\circ.$$

**4-й пропуск.**  $h_4=H_3=220$  мм;  $b_4=B_3=291$  мм;  $P_4=0,228$ ;  $H_4 - h_4 = P_4 \cdot h_4 = 0,228 \cdot 220 = 50$  мм;  $H_4 = h_4 + (H_4 - h_4) = 220 + 50 = 270$  мм.

$$D_k = 1150 \text{ мм};$$

$$z_4 = 0,35\sqrt{575 \cdot 50} \frac{50}{270} = 11 \text{ мм};$$

$$B_4 = b_4 - z_4 = 291 - 11 = 280 \text{ мм};$$

$$\frac{H_4}{B_4} = \frac{270}{280} = 0,97.$$

Отношение  $\frac{H_4}{B_4}$  близко к единице, т. е. между 5-м и 4-м пропусками мы получили практически квадрат. Для выравнивания боковых граней прокатываемого слитка рекомендуется иногда производить кантование квадратных или близких к квадратным сечений. В калибровку же это не вносит существенных изменений, ибо после перекантования близкого к квадрату прямоугольного сечения ширина и толщина почти не изменяются. Поэтому при расчете калибровки это обстоятельство можно не учитывать. При работе же блуминга с кантованием квадратов указанные небольшие исправления калибровки нетрудно произвести во время работы стана.

В дальнейшем делаем вычисления, аналогичные произведенным для предыдущих калибров. Для удобства и наглядности расчетные данные заносим по мере их получения в таблицу калибровки 7.

Из таблицы видно, что в 14-ом и 17-ом пропусках есть отступление от принятого нами метода относительных обжатий. Это сделано для того, чтобы при окончании калибровки прийти к заданным размерам слитка, т. е.  $H_{17}=H_0=762$  мм и  $B_{17}=B_0=635$  мм. У нас по калибровке получено

Таблица 7

Калибровка валков блуминга американского типа  $D_0=1150$  мм

№ пропусков	h мм	P	H-h мм	H мм	Размер калибров (мм) h×b	D <sub>к</sub> мм	z мм	b мм	B мм	H/B	Мом. кант.	φ°	μ	l м	Примечание
1	200	0,230	46	246	150×200	1000	10	200	190	1,29	—	17,5	1,17	24,0	
2	246	0,225	55	301	"	1000	11	190	179	1,68	кант.	19	1,16	20,0	
3	179	0,230	41	220	глад. часть	1150	10	301	291	0,75	—	15	1,19	17,8	
4	220	0,228	50	270	"	1150	11	291	280	0,97	—	17	1,18	14,3	
5	270	0,222	60	330	"	1150	12	280	268	1,23	—	19	1,17	12,2	
6	330	0,215	71	401	"	1150	13	268	255	1,55	кант.	20	1,16	10,4	
7	255	0,224	57	312	"	1150	11	401	390	0,80	—	19	1,19	8,70	
8	312	0,217	68	380	"	1150	12	390	378	1,00	—	20	1,18	7,36	
9	380	0,210	80	460	"	1150	13	378	365	1,26	—	21	1,17	6,30	
10	460	0,200	92	552	"	1150	13	365	352	1,57	кант.	23	1,16	5,30	
11	352	0,213	75	427	"	1150	13	552	539	0,79	—	21	1,18	4,40	
12	427	0,204	87	514	"	1150	13	539	526	0,98	—	22	1,18	3,60	I вариант
13	514	0,193	100	614	"	1150	14	526	512	1,20	—	24	1,17	3,00	
14	614	—	51	665	"	1150	5	512	507	1,31	кант.	17	1,07	2,56	
15	507	0,195	99	606	"	1150	14	665	651	0,93	—	24	1,17	2,40	
16	606	0,183	111	717	"	1150	14	651	637	1,13	—	25,5	1,16	2,00	
17	717	—	45	762	"	1150	3	637	634	—	—	18	1,06	1,5	
12	427	—	80	507	"	1150	12	539	527	0,97	—	21	1,17	3,75	вариант
13	507	—	80	587	"	1150	10	527	515	1,14	—	21	1,13	3,20	
14	587	—	78	665	"	1150	8	515	507	1,31	кант.	21	1,12	2,70	
15	507	—	85	592	"	1150	11	665	654	0,91	—	22	1,15	2,33	
16	592	—	90	682	"	1150	11	654	643	1,06	—	23	1,14	2,04	
17	682	—	80	762	"	1150	8	643	635	—	—	21	1,10	1,85	
3	179	—	48	227	"	1150	11	301	290	0,78	—	16,5	1,22	17,8	III вариант
4	227	—	57	284	"	1150	12	290	278	1,02	—	18	1,20	14,6	
5	284	—	67	351	"	1150	13	278	265	1,32	—	20	1,18	13,2	
6	351	—	78	429	"	1150	14	265	251	1,71	кант.	21	1,16	10,3	
7	251	—	64	315	"	1150	12	429	417	0,76	—	20	1,22	8,9	
8	315	—	75	390	"	1150	13	417	404	0,97	—	21	1,20	7,3	
9	390	—	87	477	"	1150	14	404	390	1,22	—	22	1,18	6,1	
10	477	—	100	577	"	1150	13	390	377	1,53	кант.	24	1,17	5,2	
11	377	—	82	459	"	1150	14	577	563	0,81	—	22	1,19	4,42	
12	459	—	95	554	"	1150	13	563	550	1,01	—	23	1,18	3,72	
13	554	—	108	662	"	1150	14	550	536	1,24	кант.	25	1,17	3,10	
14	536	—	107	643	"	1150	14	662	648	0,99	—	25	1,17	2,70	
15	643	—	119	762	"	1150	14	648	634	1,20	—	26,5	1,16	2,30	
14	536	—	113	649	"	1150	14	662	648	1,00	—	26	1,18	2,70	Исправление
15	649	—	113	762	"	1150	14	648	634	1,20	—	26	1,15	2,28	
														1,85	

$H_{17}=762$  мм и  $B_{17}=634$  мм. Соображения, какими необходимо руководствоваться для получения заданных размеров слитка, заключаются в следующем. В 13-м пропуске нами получены размеры  $H_{13}=614$  и  $B_{13}=512$ . Размеры исходного слитка  $762 \times 635$  мм. Размер 614 мм близко подходит к размеру 635 мм, но меньше его. Размер 512 мм еще далек от 762 мм и 635 мм — следовательно, еще одно кантование слитка неизбежно. Поэтому, если произвести еще 1 пропуск и получить  $H_{14}=634$  мм, то после кантования этот размер станет шириной слитка, которая должна приближаться к 635 мм, но быть больше его на величину уширения, которое будет иметь место в оставшихся пропусках до того, пока высота слитка достигнет 762 мм. Эта высота будет получена из размера немного менее 512 мм, который после кантования станет высотой, т. е. нужно будет обжечь около 250 мм ( $762 - 512 = 250$  мм). На 100 мм обжата приходится примерно 13—14 мм уширения, а на 250 мм обжата мы примем ориентировочно 30 мм и высоту, задаваемую в 14-й калибр, или ширину, выходящую из 15-го калибра, поэтому примем в  $635 + 50 = 665$  мм. Обжата в 14-ом калибре при этом должно быть  $665 - 614 = 51$  мм. Согласно соответствующему толщине 614 мм относительному обжатию 0,182 можно было допустить обжата  $0,182 \cdot 614 = 112$  мм, но оно нам не нужно. Относительное обжата для этого пропуска теряет смысл, мы им не пользуемся и в таблицу не вносим.

Окончание калибровки намечается в 17-ом пропуске. В 16-ом пропуске получена уже высота в 717 мм — следовательно в 17-ом пропуске необходимо обжечь  $762 - 717 = 45$  мм. По диаграмме относительных обжатий в этом пропуске, согласно толщине 717 мм, приняв приближенно  $P=0,17$ , можно было бы обжечь  $0,17 \cdot 717 = 122$  мм, но необходимости в таком обжати не, поэтому для этого пропуска относительным обжати не пользуемся и в таблицу его не заносим. Заметим, что нами получена ширина слитка не 635 мм, а 634 мм, т. е. на 1 мм меньше. Это произошло потому, что, вместо ориентировочно принятого уширения 30 мм, нами получено в 15-ом, 16-ом и 17-ом пропусках  $14 + 14 + 3 = 31$  мм. Но это не имеет абсолютно никакого значения, ибо в результате в каком-нибудь из пропусков, от 14-го до 11-го нужно будет обжечь на 1 мм меньше, что ничего по существу в расчете не изменит. Помимо того, нужно иметь в виду, что весь расчет ведется с точностью до 1 мм; в процентах при наших размерах 1 мм составляет от 0,5 до 0,15% — точность, вполне достаточная для подобных технических расчетов. Можно было бы допустить отступления даже до 3—5 мм; при отступлении более 3—5 мм следовало бы исправить высоту  $H_{14}$ , подобрав ее таким образом, чтобы в последнем пропуске не было значительного отклонения задаваемой ширины от ширины слитка.

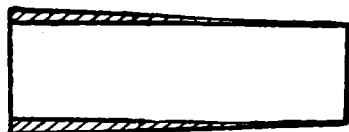
Сравнивая обжата в 11-ом, 12-ом, 13-ом и 14-ом пропусках, производимых без кантования, а также в 15-ом, 16-ом и 17-ом пропусках, мы замечаем, что в 14-ом и 17-ом пропусках обжата резко понижаются, ибо они были приняты не по относительному обжатию. Можно было бы увеличить обжата в 14-ом и 17-ом пропусках, несколько уменьшив их в остальных пропусках, например, в 12-ом, 13-ом, 15-ом и 16-ом. Такой второй вариант калибровки приведен ниже в таблице 7 под чертой, начиная с 12-го пропуска. Для этого нужно пересчитать пропуска, начиная с 12-го. При этом, однако, нужно иметь в виду, что первые пропуска по ходу прокатки обычно производят при уменьшенных обжатах, чтобы не создавать больших напряжений в „сыром“ слитке, имеющем непрочную литую структуру. В последующих пропусках обжата повышаются. Такими первыми пропусками для слитка будут 17-й и 14-й, в которых обжата производятся первый раз в противоположных направлениях.

Что касается углов захвата, то они не могут превысить принятого нами максимума  $26^\circ$ , ибо на основе этого угла нами и было рассчитано

относительное обжатие для первого пропуска, для которого обжатие вначале получилось равным 115 мм.

В первом варианте калибровки максимальное обжатие 111 мм и угол захвата 25,5°. Во втором варианте максимальное обжатие 90 мм и угол захвата 23°. Величины вытяжек по пропускам показывают достаточную их равномерность. При определении длин слитка для последних по расчету пропусков, следует иметь в виду, что в 14-ом и 17-ом пропусках мы имеем дело с конусным слитком; в этих пропусках коничность сравнивается (фиг. 116). В случае более точных вычислений, необходимость в которых может возникнуть лишь при конструктивном расчете стана и выборе его двигателя, следует определять вытяжку, учитывая толщину узкого и широкого конца слитка<sup>1</sup>.

Таблица калибровки показывает, что возможно произвести изменение калибровки на 15 пропусков вместо 17. Для этого обжатия в 14-ом и 17-ом пропусках (по первому варианту) нужно распределить между остальными пропусками, начиная с 3-го. В том же направлении, что 14-й идут: 3-й, 4-й, 5-й, 6-й, 11-й, 12-й и 13-й пропуска; среднее дополнительное обжатие для них равно  $\frac{51}{7} = 7\frac{2}{7}$ ,



Фиг. 116 Сглаживание конусности слитка.

т. е. 5 пропусков по 7 мм и 2 пропуска по 8 мм. В том же направлении, что 17-й, идут: 7-й, 8-й, 9-й, 10-й, 15-й и 16-й пропуска; среднее

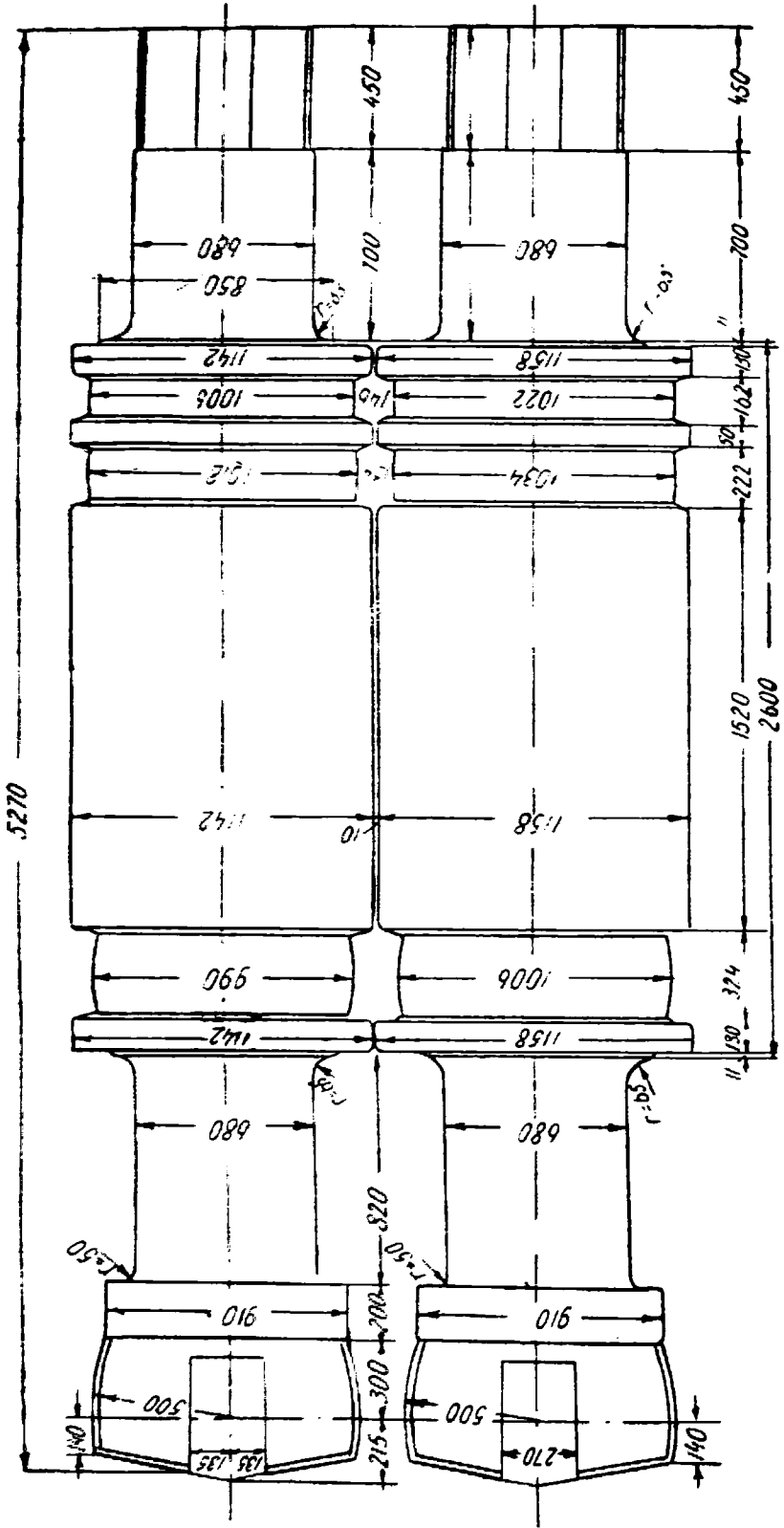
дополнительное обжатие для них равно  $\frac{45}{6} = 7\frac{3}{6}$ , т. е. 3 пропуска по 7 мм и 3 пропуска по 8 мм.

Полученный на основе этого третий вариант калибровки представлен в продолжении таблицы 7. Повышенная величина обжатий, особенно в последних по расчету или в первых по ходу прокатки пропусках, показывает, что этот вариант может быть применен лишь для доброкачественного мягкого металла при достаточно высокой температуре прокатки (температура начала прокатки 1200—1225°) достаточно мощном приводном двигателе и достаточно прочной конструкции блуминга.

Вместо обжатия 119 мм, дающего  $\varphi = 26,5^\circ$ , принимаем в 14-ом и 15-ом пропусках по 113 мм.

На этом расчет калибровки считается законченным. Калибровка дает основания для проектирования формы и размеров валков и для изображения эскиза валков. При этом необходимо учесть, что в тех же валках будут прокатываться и некоторые другие размеры блумсов и прежде всего предусмотренные по проектному стандарту первого советского блуминга помимо  $\square 200$  мм, еще  $\square 250$  мм и  $\square 150$  мм. Для этой цели на валках американского типа достаточно иметь помимо калибра с шириной 200 мм, еще для последних пропусков калибры с шириной 250 и 150 мм. Остальные пропуска также будут произведены в гладкой части валков, ширина которой должна превышать раза в 1,5—2 наибольшую ширину прокатываемых слитков. Предусматривая возможность прокатки и плоских сечений (слябов), идущих в качестве заготовок на листовые станы, гладкую часть валка берут длиной 1200—1400 мм. Бурты или реборды применяют обычно шириной 0,25—0,35 от высоты калибра (в сомкнутом состоянии валков). В глубине ручьев делаются закругления радиусом около 0,1 от ширины. Дно ручья также делаются закругляется, чтобы вышедшая из калибра полоса после кантования имела вогнутые поверхности, сравниваемые благодаря уширению. Рабочее тело или бочка валков дополняется шейками и тrefами. На фиг. 117 представлен эскиз валков первого советского блуминга.

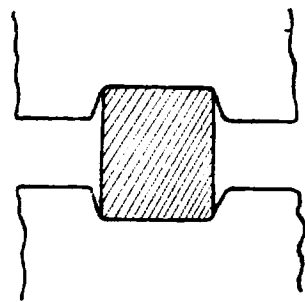
<sup>1</sup> Рекомендуется производить проверку длин, исходя из объема слитка (который при прокатке не изменяется) и поперечного сечения.



Фиг. 117. Эскиз валков первого советского блумингла.

## § 24. Калибровка валков блуминга европейского типа

Калибровка валков европейского типа может быть произведена по тому же методу относительных обжатий. Приведем пример калибровки для того же диаметра валков  $D_0=1150$  мм при прокатке того же слитка. Очевидно, наибольшие врезы и, следовательно, наименьшие катающие диаметры  $D_k$  будут для первых по ходу прокатки калибров, когда слиток имеет наибольшие поперечные размеры и калибры имеют наибольшие врезы, а наибольшие катающие диаметры будут в последних по ходу прокатки калибров, когда врезы наименьшие. Но в первых калибровках полезно по возможности увеличить катающий диаметр. Это достигается тем, что при последнем пропуске в данном калибре, т. е. когда верхний валок наиболее сближен с нижним, калибр в тело валков врезается не на полную глубину (т. е. высоту выпускаемого сечения), а меньше, чтобы высота реборды каждого валка была меньше половины высоты выпускаемого слитка. Это не вызовет затруднений при прокатке, так как высота реборд для нормальной прокатки и для крепкого держания слитка в углах калибра может быть несколько меньше толщины слитка, особенно при крупных размерах поперечного сечения. Сказанное иллюстрируется фиг. 118. Из этих соображений высота реборд или глубина вреза калибра для валков европейского блуминга может быть по практически оправдавшим себя данным принята для первого калибра примерно 250 мм, для средних 180—200 мм, а для последнего калибра врез принимаем около 150 мм.



Фиг. 118. Держание слитка в углах прямоугольного калибра.

Найдем относительные обжатия для первого и последнего пропусков. Калибровку попережнему производим против хода прокатки. Первый по расчету пропуск, выпускающий  $\square 200$  мм, должен быть осуществлен, очевидно, в таком же калибре, как и в американских валках, т. е.  $D_k=1000$  мм,  $\varphi=17,5^\circ$  и  $H_1-h_1=46$  мм,  $P_1=0,230$ . Катающий диаметр в калибре, где производится последний по ходу расчета или первый по ходу прокатки пропуск, определяется  $D_k=1150-250=900$  мм. Задаваясь  $\varphi=26^\circ$ , имеем:

$$H_n-h_n=D_k(1-\cos\varphi)=900(1-\cos 26^\circ)=90 \text{ мм.}$$

В калибровке американских валков во втором варианте максимальные обжатия 92 мм в 10-м пропуске и 90 мм в 16-ом пропуске, т. е. эта калибровка вполне осуществима для европейских валков (если не считать несущественной разницы в 2 мм, тем более, что 10-й пропуск вероятнее всего будет произведен в предпоследнем, а не в последнем по расчету калибре, где  $D_k>900$  мм). Первый вариант калибровки в европейских валках неосуществим.

Произведем расчет калибровки европейских валков, не обращаясь ко второму варианту предыдущей калибровки:

$$h_n=H_n-(H_n-h_n)=762-90=672 \text{ мм.}$$

$$P_n=\frac{H_n-h_n}{h_n}=\frac{90}{672}=0,134.$$

Диаграмма относительных обжатий изображена на фиг. 119. Линия, показанная на диаграмме, дает более понижающийся режим по сравнению с предыдущим примером. Из этого наперед можно сделать вывод, что обжатия будут меньше и число пропусков может быть большим.

Ход расчета аналогичен предыдущему. Результаты расчета заносим по мере их получения в таблицу 8. Калибровка оканчивается 18-ым слабо



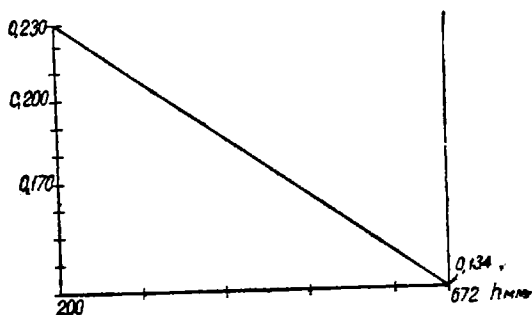
Таблица 6

Калибровка валков европейского блуминга  $D_0=1150$  мм

№ пропусків	R мм	P	H - R мм	H мм	D <sub>n</sub> мм	z мм	b мм	B мм	H/B	Мом. кант.	Размер калибров h×b мм	φ°	r	l	Примечание
1	200	0,230	45	246	1000	10	200	190	1,29	—	V кал. 150×200	17,5	1,17	24,0	
2	246	0,220	54	300	1000	11	190	179	1,68	кант.		19	1,16	20,0	
3	179	0,230	41	220	1000	9	300	291	0,73	—		15	1,19	17,9	
4	220	0,227	50	270	1000	10	291	280	0,97	—	IV кал. 150×300	18	1,18	15,0	
5	270	0,215	58	328	1000	11	280	269	1,22	—		19,5	1,17	12,7	
6	328	0,204	66	394	1000	11	269	258	1,52	кант.	III кал. 180×394	21	1,15	10,9	
7	258	0,220	56	314	970	11	394	383	0,82	—		19	1,14	9,5	
8	314	0,206	64	378	970	11	383	372	1,02	—		20,5	1,17	8,0	
9	378	0,193	73	451	970	11	372	361	1,25	—	180×394	22	1,16	6,85	
10	451	0,178	80	531	970	11	361	350	1,52	кант.		23	1,14	5,90	
11	350	0,200	70	420	970	10	531	521	0,81	—	II кал. 180×531	22	1,18	5,15	
12	420	0,184	77	497	970	10	521	511	0,97	—		23	1,16	4,40	
13	497	0,170	84	581	970	10	511	501	1,16	—		24	1,15	3,80	
14	581	0,151	88	669	970	10	501	491	1,36	кант.	I кал. 250×665	24,5	1,13	3,30	I вариант
15	491	0,170	83	574	900	10	669	659	0,87	—		24,5	1,15	2,93	
16	574	0,156	86	660	900	10	659	649	1,02	—		25	1,13	2,55	
17	660	0,135	89	749	900	10	649	639	1,17	—		26	1,12	2,25	
18	749	—	13	762	900	1	639	638	1,20	—		9,5	1,03	2,00	
19				х	о	л	о	с	т	о	й			1,85	
14	581	—	84	665	970	10	501	491	1,36	кант.	I кал. 250×635	24	1,12	3,30	II вариант
15	491	—	54	545	900	7	665	658	0,83	—		20	1,10	2,94	
16	545	—	54	599	900	6	658	652	0,92	—		20	1,10	2,68	
17	599	—	55	654	900	6	652	646	1,01	—		20	1,08	2,46	
18	654	—	54	708	900	6	646	640	1,10	—		20	1,07	2,27	
19	708	—	54	762	900	5	640	635	1,20	—	20	1,07	2,12		
14	581	—	84	665	970	10	501	491	1,36	кант.	—	24	1,12	3,30	III вариант
15	491	—	90	581	900	10	665	655	0,89	—	I кал. 250×665	26	1,16	2,94	
16	581	—	91	672	900	10	655	645	1,04	—		26	1,14	2,52	
17	672	—	90	762	900	10	645	635	1,20	—		26	1,12	2,22	
														1,85	

нагруженным пропуском. Применение четного числа пропусков возможно лишь тогда, когда прокатанная полоса выдается с той же стороны, откуда подается слиток, что неприменимо к одноклетьевым блумингам, так как бесперебойное производство может быть обеспечено лишь *поступательным*, но не возвратным грузовым потоком. Число пропусков в блуминге поэтому должно быть *нечетным*. В данном случае приходится 19-й пропуск сделать без обжатия, т. е. холостым. Тогда целесообразно перераспределить обжатия, происходящие в одном направлении в пропусках 15-ом, 16-ом, 17-ом и 18-ом, чтобы уменьшить их в пропусках 15-ом, 16-ом и 17-ом и увеличить в 18-ом и дать в 19-ом. Соответствующий второй вариант, начиная с 14-го пропуска, приведен в таблице. В 14-ом пропуске сделано отступление от обжатия 88 мм, допускаемого диаграммой относительных обжатий, и принято 84 мм ради получения требуемой ширины слитка 635 мм в 19-ом пропуске (вместо ранее полученных 638 мм).

Другим решением вопроса может быть корректировка полученной калибровки с целью сокращения числа пропусков до 17. Для этого обжатие 18-го пропуска 13 мм необходимо распределить на пропуска 15-й, 16-й и 17-й, как это показано в таблице для третьего варианта. Этот вариант калибровки вполне применим, ибо обжатия не превышают 90—91 мм. Если бы обжатие в 18-ом пропуске значительно превосходило 13 мм, то применение 19 пропусков было бы неизбежно. При плохом качестве металла также хорошо взять 19 пропусков, чтобы уменьшить обжатия в первых при прокатке пропусках и ослабить напряжения в слитке с литой непрочной структурой. Вариант на 15 пропусков для европейского блуминга совсем неприменим, т. е. число пропусков в нем на 2 больше, чем в американском, при том же  $D_0$ .



Фиг. 119. Диаграмма относительных обжатий в европейских валках.

Приведенные примеры калибровок показывают, что получение неполностью нагруженных или перегруженных пропусков при окончании калибровки почти всегда *неизбежно*, если размеры слитка нам заданы, а не предоставлены выбору, что (последнее) правильнее. То же имело бы место если бы расчет калибровки производился не против хода прокатки, а по ходу ее, только тогда пришлось бы корректировать калибровку с целью получения заданных размеров блумса. Нетрудно убедиться, что в этом последнем случае возникают большие неудобства, ибо корректировка обжатий более затруднительна, когда абсолютная величина их меньше, что и будет наблюдаться при калибровке по ходу прокатки, так как в этом случае обжатия к концу калибровки будут уменьшаться. Помимо того, весьма существенно то обстоятельство, что получение холостого или слабо нагруженных пропусков при более коротком слитке, когда продолжительность пропуска мала, меньше понижает производительность стана, чем в том случае, когда холостой или слабо нагруженный пропуск происходят при раскатанном до большой длины слитке. Вот почему более удобно производить калибровку против хода прокатки.

Таблица показывает, что ширина прокатываемого слитка претерпевает резкие изменения после кантования, т. е. между калибрами 2—3, 6—7, 10—11, 14—15. В остальных, соседних, калибрах ширина разнится лишь на величину уширения. Можно принять калибры со следующими ширинами: 200, 300, 394, 531 и 665 мм, всего 5 калибров. В калибре с шириною 200 мм можно прокатать ширину 190 мм, в калибре с шириною 300 мм — ширины 291, 280, 269 мм, в калибре с шириною 394 мм —

ширины 383, 372 и 361 мм, в калибре с шириною 531 мм — ширины 521, 511 и 501 мм, в калибре с шириною 665 мм — ширины 658, 652, 646 и 640 мм или 655 и 645 мм.

Что касается высот калибров, то они нами уже были установлены при определении глубины вреза для нахождения катающего диаметра. Нумеруя полученные калибры по ходу прокатки, будем иметь их размеры<sup>1</sup>: I калибр — 250×665 мм, II калибр — 180×531 мм, III калибр — 180×394 мм, IV калибр — 150×300 мм, V калибр — 150×200 мм. Эти размеры калибры будут иметь при сомкнутом до минимального зазора положении валков. Минимальные толщины, выпускаемые из соответствующих калибров, таковы: из I — 491 мм, из II — 350 мм, из III — 258 мм, из IV — 179 мм, из V — 200 мм. Выпуск этих толщин вполне обеспечен при указанных выше высотах калибров; при этом валки не будут полностью сомкнуты, но врезы достаточны для прочного держания слитка в валках.

Калибровка произведена нами для прокатки лишь одного сечения блумса из слитка одних размеров. Обычно же в одних и тех же валках блуминга производится прокатка ряда сечений блумсов из слитков разных размеров. В таком случае необходимо произвести калибровку отдельно для прокатки каждого блума, а затем прокорректировать полученные калибровки для возможности их осуществления в одних валках. Не задаваясь решением этой задачи в данном курсе, укажем лишь, что обычно решение ее может быть достигнуто применением общих для всех калибровок калибров, за исключением некоторых чистовых калибров, если нужно прокатывать блумсы с разными ширинами.

Для прокатки, например, блума  $\square$  150 мм требуется калибр с шириною 150 мм, для прокатки блумсов, ширина сечения которых равна 175, 225 или 250 мм, необходимо иметь калибры с соответствующими ширинами 175, 225 и 250 мм. Имея в виду, что в рассматриваемом нами случае необходимо прокатывать блумсы сечением  $\square$  150, 200 и 250 мм, примем кроме 5 указанных выше калибров, еще 2 калибра размерами: 150×250 мм и 150×150 мм. Итого нами получено 7 калибров для валков европейского типа. В валках американского типа для прокатки тех же блумсов необходимо иметь 3 калибра: 150×250, 150×200 и 150×150 мм.

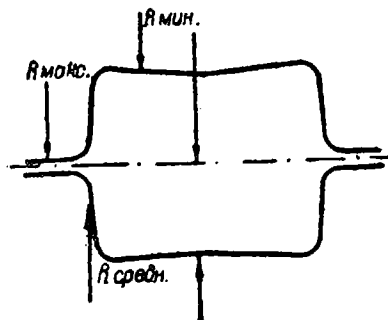
## § 25. О расположении калибров на валках

Расчет формы и размеров калибров является первой задачей калибровщика. Дальнейшая не менее серьезная задача заключается в *правильном расположении калибров на валках*. При этом основной целью должно быть стремление к наибольшей экономии тела валков по их полотну и наименьшей глубине врезов в валки, а также к наиболее облегченному входу и выходу металла в валках. Эти факторы способствуют получению изделия с наименьшими внутренними напряжениями и экономии расходуемой на прокатку энергии.

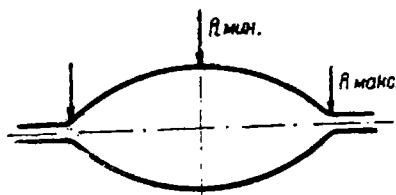
Прокатка осуществляется между приводными и вращающимися навстречу другу другу с одинаковым числом оборотов валками. Скорость выхода металла из валков зависит от окружной скорости поверхности калибра и превышает последнюю на величину опережения металла. Наилучшие, с точки зрения указанных выше задач, условия будут получены тогда, когда скорости вращающейся поверхности валков во всех точках поверхности *одинаковы*. Но это возможно лишь для гладких валков с одинаковыми диаметрами. В тех же случаях, когда прокатка ведется в калибрах, окружная скорость поверхности последних во всех точках неодинакова, вследствие *неодинаковости катающих радиусов в этих точках*.

<sup>1</sup> Условимся всегда при указании размеров писать величины в таком порядке: высота × ширина × длина ( $h \times b \times l$  или  $H \times B \times L$ ).

Для примера возьмем прямоугольные калибры блуминга (фиг. 120). Здесь наименьший катающий радиус в глубине калибра по горизонтальной цилиндрической поверхности. Наибольший катающий радиус в середине калибра в местах его разреза („замка“, стыка валков). На боковой поверхности радиус будет возрастать от глубины калибра к его середине. Следовательно, скорость поверхности будет наименьшей в глубине калибра и наибольшей в середине его боковой поверхности. Выходящая же из валков штука идет с одной общей для всех частиц металла скоростью, в противном случае она была бы разорвана.

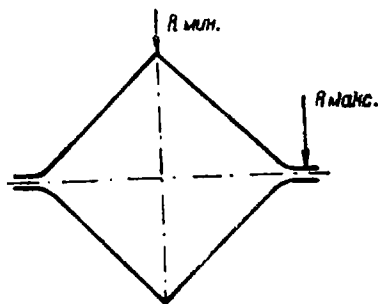


Фиг. 120. Прямоугольный калибр блуминга.

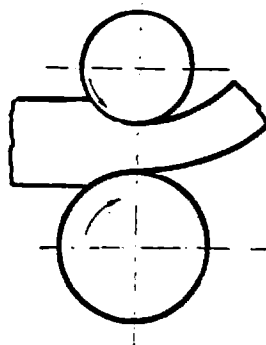


Фиг. 121. Катающие радиусы в овальном калибре.

Стремление придать разную скорость частицам металла, соприкасающимся с идущими с разными скоростями частями поверхности калибра, уравнивается отчасти скольжением металла о поверхность калибра, отчасти же перемещением самих частиц металла благодаря пластичности последнего. Чем больше разность скоростей на катающих поверхностях калибра, тем больше перемещение частиц металла в калибре и скольжение металла относительно поверхностей его, т. е. больше вызванные этим напряжения в металле.



Фиг. 122. Катающие радиусы в квадратном калибре.

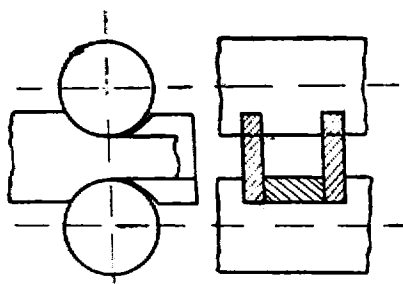


Фиг. 123. Изгиб выходящей из валков штуки в сторону меньшего катающего диаметра.

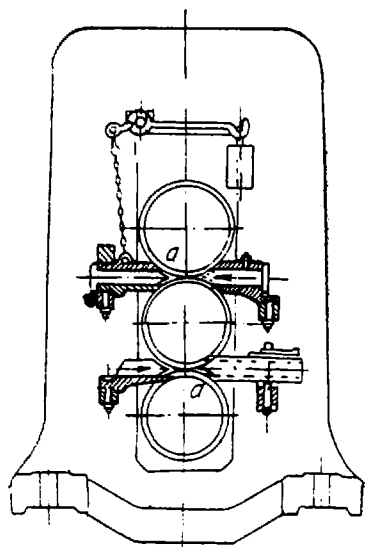
При калибровке и прокатке следует избегать напряжений в металле, по крайней мере всемерно их уменьшать. Поэтому необходимо стремиться к расположению калибров в валках, при котором разность скоростей на поверхностях калибра была наименьшей.

В овальном калибре наименьшие радиусы будут посредине калибра (фиг. 121), наибольшие — в крайних точках, также в квадратном расположенном на ребре калибре (фиг. 122). Наибольшая скорость поверхности калибра будет в его крайних точках, наименьшая — посредине. Большое значение имеет также соответствие радиусов нижнего и верхнего валков, обрабатывающих напротив лежащие частицы металла. Если радиусы верхнего и нижнего валков равны, то нижние и верхние поверхности металла будут выходить из валков с одинаковой скоростью. В противном

случае одна из поверхностей будет обгонять другую, в результате чего выходящая из валков штука будет *изгибаться в сторону меньшей скорости* (фиг. 123). Если бы допустить свободный выход металла из валков, то это и случилось бы. Но для предупреждения подобных случаев со стороны выхода металла вплотную к телу валков прикрепляются *выводящие устройства*: ножи или проводки, удерживающие металл от изгиба в *вертикальной плоскости* и *линейки*, удерживающие металл от изгиба в *горизонтальной плоскости* (фиг. 124). Со стороны же задачи металла в валки достаточно иметь лишь *направляющее в калибр устройство*, каковым является или пропускная коробка или также *линейки с проводками* (фиг. 125)<sup>1</sup>. Радиусы в точках соприкосновения металла и валков называют катающими радиусами



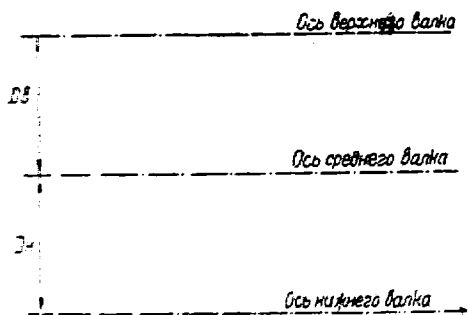
Фиг. 124. Выводные детали прокатного стана.



Фиг. 125. Вводные и выводные детали прокатного стана.

( $R_k$ ), удвоенную величину их называют катающими диаметрами ( $D_k$ ).

Расстояние между осями валков является основной конструктивной характеристикой рабочих клеток прокатного стана, ибо оно обуславливает конструкцию и размеры таковых. Поэтому его называют *диаметром клетки стана* ( $D$ ), он же есть и средний диаметр валков клетки ( $D_{cp}$ ). Для клеток *трио*, имеющих неравные верхний, средний и нижний валки, при обозначении диаметров их указываются *две цифры*: расстояние между осями верхнего и среднего валков и расстояние между осями среднего и нижнего валков (фиг. 126). Например,  $D=500/490$  мм означает, что в клетке трио расстояние между осями верхнего и среднего валков (верхний уровень прокатки) равно 500 мм, между осями среднего и нижнего валков (нижний уровень прокатки) равно 490 мм. Для клеток *дуо* диаметр их обозначается *одной цифрой*. В качестве диаметра стана ( $D_0$ ) принимают диаметр *чистой клетки*, а иногда расстояние между осями шестеренных валков чистой линии.



Фиг. 126. Валки стана трио.

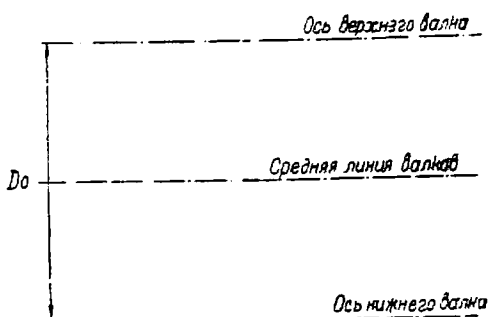
Из сказанного выше следует, что с точки зрения наименьших напряжений металла при прокатке желательно иметь одинаковую скорость на противоположных точках поверхности верхнего и нижнего ручьев. Известное удобство при прокатке возникнет, однако в том случае, если один из валков будет иметь несколько (немного, на 2—5, иногда до 10 мм) большие катающие диаметры, чем другой валок. В этом случае мы будем иметь несколько большую окружную скорость поверхности одного валка.

<sup>1</sup> Подробнее см. в главе IV.

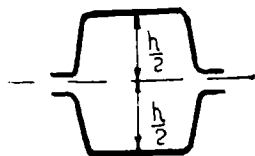
и выходящая из валков штука получит *искусственный загиб* в сторону меньшего диаметра. Тогда незачем удерживать металл при его выходе из валков со стороны большего валка, ибо на *большой валок штука никогда не изогнется*; выводящую проводку большего валка *можно убрать*, облегчив этим доступ к валкам и уменьшив количество деталей рабочей клетки. Разность катающих диаметров нижнего и верхнего валков называют *давлением*. Обычно придерживаются *верхнего давления*, т. е. делают большим верхний валок. В этом случае выходящая из валков штука изгибается вниз; верхние проводки отсутствуют. Если бы применять *нижнее давление*, то выходящая из валков штука загибалась бы вверх, угрожая обслуживающему персоналу. Проводки со стороны нижнего валка предупреждают заматывание полосы вокруг нижнего валка, выпрямляют выходящую штуку в необходимой степени для удобства приема ее и работы обслуживающего персонала.

Задача калибровщика — учесть указанные выше факторы и наилучшим со всех указанных точек зрения образом расположить калибры в валках.

Рассмотрим *монтаж валков*, т. е. *изготовление их эскиза*, для блуминга европейского типа по рассчитанной выше калибровке. Расчетами нами получены следующие размеры калибров: I —  $250 \times 665$  мм, II —  $180 \times 531$  мм, III —  $180 \times 394$  мм, IV —  $150 \times 300$  мм, V —  $150 \times 200$  мм. Для прокатки  $\nabla 150$  мм примем еще VI-й калибр  $150 \times 150$  мм. Диаметр стана  $D_0 = 1150$  мм. Учитывая тяжелый вес прокатываемых слитков и большие удары и давления на ролики рольганга, в блумингах применяют *нижнее давление*, чтобы выходящий из валков слиток несколько приподнимался и не давил на ролики. Принимаем для всех калибров нижнее давление 10 мм. *Наносим оси верхнего и нижнего валков*, расстояние между которыми  $D_0 = 1150$  мм (фиг. 127). Делим это расстояние пополам и получаем *среднюю линию валков*, смысл которой заключается в том, что все точки нижнего и верхнего валков, совпадающие с этой линией, будут иметь одинаковую окружную скорость, равную:



Фиг. 127. К построению эскиза валков.



Фиг. 128. Симметричное расположение калибра относительно средней линии валков.

$$v_0 = \frac{\pi D_p \cdot n}{60}$$

где  $D_p = D_0$  — *средний диаметр валков*.

Если располагать калибр симметрично относительно этой средней линии валков, то равные верхняя и нижняя половины калибра (фиг. 128) будут находиться в одинаковых скоростных условиях прокатки. Нами, однако, принято нижнее давление 10 мм для всех калибров. т. е.

$$D_{к. н} - D_{к. в} = 10 \text{ мм},$$

или

$$D_n - D_v = 10 \text{ мм} = \delta,$$

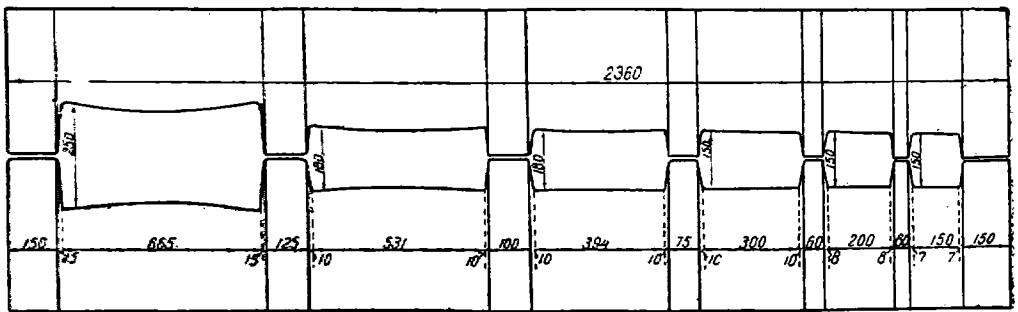
где  $D_{к. н}$  — катающий диаметр нижнего валка;  
 $D_{к. в}$  — катающий диаметр верхнего валка;  
 $D_n$  и  $D_v$  — диаметры нижнего и верхнего валков.

Для выполнения этого условия следует разделяющую калибр симметрично горизонтальную линию расположить относительно средней линии

валков вверх на  $\frac{10}{4} = 2,5$  мм. Тогда верхний радиус уменьшится на 2,5 мм, а диаметр на 5 мм, одновременно нижний радиус увеличится на 2,5 мм, а диаметр на 5 мм. Итого разность диаметров составит  $5+5=10$  мм. Для простых, симметричных относительно горизонтальной линии, калибров линия симметрии одновременно является и *нейтральной линией калибра*. Под последней, по аналогии с изгибом, подразумевают линию, разделяющую напряжения разных знаков, в данном случае напряжения от верхнего и от нижнего валков, обусловливаемые действием их поверхностей. Для симметричных калибров действие верхней и нижней поверхностей (верхнего и нижнего валков) одинаково, оно уравнивается по середине калибра, где и проходит его нейтральная линия. К числу *простых калибров* относятся *прямоугольные*, в том числе и *полосовые, овальные, ребровые квадратные, круглые калибры*. *Фланцевые и сложные профили* почти всегда являются *несимметричными профилями*; расположения последних в валках здесь мы не имеем возможности коснуться.

Возвращаемся к расположению симметричных калибров блуминга. Нейтральные линии последних располагаем вверх по отношению к средней линии валков на 2,5 мм. Обозначим давление через  $\delta$ , а смещение *нейтральной линии* через  $\varepsilon$ ; тогда

$$\varepsilon = \frac{1}{4} \delta.$$



Фиг. 129. Эскиз валков блуминга европейского типа.

Линию, проходящую через нейтральные линии калибров параллельно средней линии валков на расстоянии 2,5 мм называют *линией прокатки*. Если давление неодинаково в разных калибрах, то линия прокатки не будет общей для всех калибров; она может быть общей для всех или нескольких калибров или разной для всех калибров в зависимости от выбранной нами величины давления.

Ширина калибра выбирается исходя из следующего. Максимальная ширина выпускаемого из калибра слитка является шириной расчетного калибра (скелета). В глубине калибр должен иметь закругления для плотного держания слитка. Ширину в глубине калибра берут равной ширине, максимально катаемой в калибре, т. е. ширине при последнем в данном калибре пропуске. Уширяющиеся при прокатке боковые грани слитка плотно прилегают к закруглениям в углах калибров и отчасти к ребордам калибра, что обеспечивает как плотное держание слитка в калибре, так и отсутствие свободного расширения углов слитка, благоприятствующего образованию на них трещин.

При расположении калибров на валках большое значение имеет расстояние между соседними калибрами, т. е. толщина ограничивающего калибр сбоку тела валка, называемого *ребордой* или *буртом*. Бурт должен быть достаточно прочным, чтобы воспринимать возникающее, иной раз весьма значительное, от увеличения уширения против расчетного, боковое

давление металла в калибре. Чем выше бурт, т. е. глубже врез калибра в валок, тем толще он должен быть. Помимо того, при выборе размеров буртов руководствуются также конструктивными соображениями, учитывая приспособление вводных и выводных проводок и линеек, что не относится, однако, к валкам блуминга. Для последних бурты обычно берут шириной 0,25—0,35 от высоты калибра в сомкнутом состоянии. В глубине ручьев делаются закругления радиусом около 0,1 от ширины их. Дно ручья также слегка закругляется, чтобы вышедшая из калибра штука после кантования имела вогнутые поверхности, сравнимые благодаря уширению. Рабочее тело валка дополняется шейками и тrefами для передачи вращения (фиг. 117)<sup>1</sup>. По полученному эскизу с размерами валки блуминга (также и других станов) вытачиваются в вальце-токарной мастерской прокатного цеха на специально для этого предназначенных токарных станках.

## § 26. Прокатка квадратного и круглого железа. Деформация металла в овальных, квадратных, ромбических и круглых калибрах

Сортамент квадратного и круглого железа весьма широк благодаря большому разнообразию его применения. Квадратное и круглое железо прокатывается от 5 до 150 мм в стороне (или в диаметре) с переходными размерами, указанными в таблице 9.

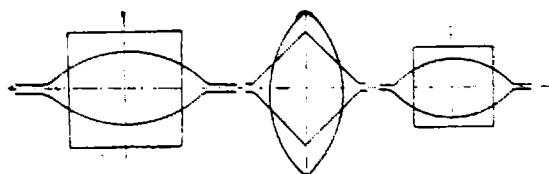
Таблица 9

Градация размеров квадратного и круглого железа

Квадратное железо		Круглое железо	
Размеры от — до в стороне квадрата (мм)	Градация через (мм)	Размеры от — до по диаметру (мм)	Градация через (мм)
5 — 25	0,5	5 — 8	0,5
25 — 50	1	8 — 40	1
50 — 80	1	40 — 60	2
80 — 150	5	60 — 150	5

Размеры от 5 до 8 мм соответствуют проволоке, прокатываемой в проволочных станах. Размеры выше 8 мм и до 25 мм прокатываются в мелкосортных станах, от 25 до 50 мм — в среднесортных станах и свыше 50 мм — в крупносортных станах.

Прокатка круглого и квадратного железа *немыслима* в гладких валках или прямоугольных плоских калибрах. Наиболее удобными для этого оказались *овальные калибры, чередующиеся с квадратными*, последние расположены в валках на ребро. Прокатка в системе калибров квадрат-овал-квадрат представлена на фиг. 130. Разберемся в характере деформации металла при прокатке в овальных и расположенных на ребро квадратных калибрах.



Фиг. 130. Прокатка в калибрах системы квадрат-овал.

Прокатка в системе калибров квадрат-овал-квадрат представлена на фиг. 130. Разберемся в характере деформации металла при прокатке в овальных и расположенных на ребро квадратных калибрах.

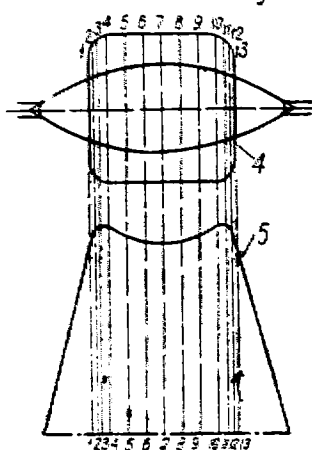
На фиг. 131 представлен овальный калибр с задаваемой в него плашмя квадратной полосой. Для уяснения происходящих здесь явлений мысленно *разобьем* полосу *продольными плоскостями I—III*. Представим на

<sup>1</sup> Данные о размерах валков, их шеек и тrefов см. IV главу.



минутой, что слои металла, заключенные между соседними плоскостями, являются самостоятельными и друг с другом не связаны. Каждый слой в таком случае имел бы свою собственную вытяжку, которую не трудно определить делением высоты входящей полосы на высоту калибра в том же месте<sup>1</sup>.

Если полученные вытяжки отложить в некотором масштабе под профилем калибра, то мы получим кривую линию, изображенную внизу на фиг. 131. Эта кривая показывает, что вытяжки в различных местах по ширине квадратной полосы не одинаковы. В таком случае различные слои полосы, если бы они были самостоятельными, вытянулись бы при прокатке на разную длину. Наибольшую вытяжку дали бы слои, расположенные близко к углам, наименьшую—слои середины полосы.



Фиг. 131. Прокатка квадратной полосы в овальном калибре.

Если бы в действительности осуществились эти разные вытяжки, то после выхода из валков отдельные слои полосы получили бы разную длину, и произошел бы разрыв полосы по плоскостям, разграничивающим слои.

На самом же деле этого не происходит. Полоса овального сечения выходит, как нам известно, из валков не разорванной. Следовательно, длины всех мысленно выделенных слоев после прокатки получаются одинаковыми, равными длине вышедшей из валков полосы. Это возможно лишь при том условии, что благодаря взаимодействию и взаимосвязанности всех частиц горячего металла достигается уравнивание скоростей всех частиц и слоев рассматриваемой полосы. Представлять себе это нужно так: слои, наиболее вытягиваемые, в данном случае крайние, действуют увлекающе на центральные отстающие слои; в свою очередь центральные отстающие слои действуют тормозяще на крайние, более

вытягиваемые. В результате происходит какое-то уравнивание скорости, и общая скорость или вытяжка полосы соответствует не наибольшей или наименьшей, а какой-то промежуточной.

Посмотрим, должна ли эта промежуточная вытяжка быть средней арифметической? Если бы мы учитывали только одну пластичность металла, и если бы число ускоряющих и тормозящих слоев при одинаковой их ширине было одинаково, то так и должно было бы быть, ибо насколько увлекают вперед одни слои, настолько же задерживают отстающие. Когда число увлекающих и тормозящих слоев неодинаково, то перевес будет на стороне большего количества; например, если из всех 5 участков 3 с меньшей вытяжкой и 2 с большей, то общая вытяжка будет больше меньшей вытяжки на  $\frac{2}{5}$  разницы между большей и меньшей вытяжками или меньше, чем большая вытяжка на  $\frac{3}{5}$  той же разницы. Вопрос, однако, осложняется влиянием вращающихся валков.

В самом деле, из фигуры 131 видно, что наибольшее сжатие приходится на углы полосы, и поэтому в углах возникает наибольшее давление между металлом и валком, а, следовательно, и наибольшее трение. В центре полосы давление меньше и трение меньше. Трение в данном случае будет препятствовать уравниванию вытяжек в разных слоях полосы, и неодинаковая величина трения скажется на неодинаковой степени уравнивания для более зажатых и менее зажатых слоев полосы. Поэтому более зажатые крайние слои меньше изменят свою большую вытяжку, чем средние слои свою относительно меньшую вытяжку.

<sup>1</sup> Для простоты рассуждения пренебрегаем уширением слоев.

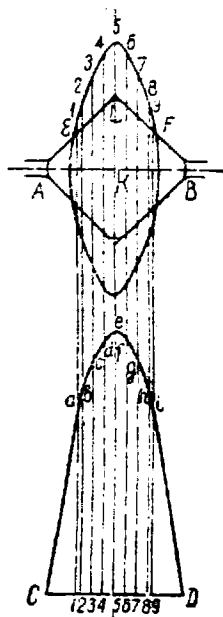
Но это было бы справедливо, если бы число крайних и средних одинаковых слоев было одинаково. Из фиг. 131 мы, однако, видим, что высота средних слоев и число их больше, а следовательно *больше и объем заключенного в них металла*. В результате крайние слои оказываются сильно заторможенными, а средние сравнительно менее увлеченными. Помимо этого, следует обратить внимание на то, что катающие диаметры овального калибра—наименьшие посередине и увеличиваются к краям, т. е. независимо от всех прочих обстоятельств крайние слои стремятся выходить из валков несколько быстрее средних. Но, вспомнив только что написанное, мы придем к выводу, что этой повышенной скорости крайних слоев полосы в действительности не будет, так как скажется тормозящее действие середины полосы.

Указанные факторы, а именно: более массивная средняя часть полосы, большая вытяжка крайних слоев полосы, большая скорость валков в крайних слоях полосы, взаимосвязь частиц металла—приводят к тому, что сильное сдерживание вытяжки крайних слоев полосы вызывает *сильное их уширение* и металл в большом количестве устремляется в стороны, *заполняя углы овального калибра*. Вот почему необходимо полосу квадратного сечения брать значительно уже, чем овальный калибр; в противном случае металл в калибре не поместится и, идя в зазор между валками, образует „заусенки“.

Несмотря на вредное значение уширения, заключающееся в том, что уширившиеся части в дальнейшем после кантования приходится обжимать и при этом тратить лишнюю энергию, овальные калибры имеют и *большие преимущества*, из-за которых они широко применяются на практике. *Основное их преимущество* состоит в том, что они дают *весьма малый врез в валки*, так как при больших обжимаемых площадях, а следовательно, больших вытяжках, высоты этих площадей (верхней и нижней на фиг. 131) невелики, ибо они растянуты в горизонтальном направлении. В этом отношении овальные калибры приближаются к плоским. Вторым преимуществом является *малый угол захвата*, а следовательно, *надежный захват металла валками при большой вытяжке*. При этом полоса в калибре держится устойчиво, и задача ее возможна *автоматически*.

Рассмотрим теперь, какова деформация металла при прокатке овальной полосы в квадратном калибре. Овальную полосу в квадратный калибр можно задать *только на ребро* (фиг. 132). Для рассмотрения характера прокатки в калибре поступим таким же образом, как и в предыдущем случае, т. е. *мысленно разобьем задаваемую в калибр полосу продольными плоскостями 1—9 на слои*. Если бы каждый из слоев был независим, то вытяжка его соответствовала бы величине, полученной от деления задаваемой высоты на выходящую высоту полосы в том же месте калибра. Эти вытяжки в отдельных участках профиля, или, как их назвал проф. Тафель, „*натуральные вытяжки*“ могут быть для каждого слоя отложены в некотором масштабе в виде точек, при соединении которых мы получаем *кривую натуральных вытяжек*, изображенную внизу фиг. 132.

Рассматривая полученную кривую натуральных вытяжек, видим, что *наибольшие вытяжки* приходятся на *средние слои* полосы, а *наименьшие*—на *крайние слои*. Если бы слои, мысленно выделенные продольными плоскостями, были самостоятельными, то после выхода из валков каждый слой имел бы свою самостоятельную длину, наибольшую для средних слоев и наименьшую для крайних. Но это привело бы к разрыву полосы



Фиг. 132. Прокатка овальной полосы в квадратном калибре.

по продольным плоскостям, чего на самом деле при прокатке не происходит, а овальная полоса выходит из валков с какой-то общей для всех участков длиной; это означает, что в металле, представляющем собой сплошное и вязкое тело, благодаря пластичности и взаимосвязи частиц происходит *уравнивание скоростей в различных слоях профиля*, и в результате общая вытяжка всей полосы, как и в предыдущем рассмотренном нами случае, будет равна какой-то *промежуточной вытяжке* между наибольшими вытяжками центральных слоев и наименьшими вытяжками крайних слоев.

Можно-ли опять таки эту общую вытяжку считать средней арифметической? При взгляде на фиг. 132 мы замечаем, что от центральных к крайним слоям натуральные вытяжки постепенно снижаются, и можно считать число одних и других слоев одинаковым. Но центральные слои имеют большую высоту и, следовательно, заключают в себе больший объем металла. Имея в виду взаимосвязь частиц металла, мы должны прийти к выводу, что воздействие центральных частиц на крайние будет большим, чем наоборот, и в результате центральные частицы получат лишь некоторое уменьшение вытяжки, а крайние более сильно ее увеличат. Само по себе это обстоятельство должно привести к *небольшому дополнительному уширению* (если сравнивать с прокаткой в плоских калибрах или в гладких валках) *центральных слоев* и к более энергичной утяжке, т. е. *уменьшению нормального* (при прокатке в гладких валках) *уширения крайних слоев*. В результате *общее уширение всей квадратной поставленной на ребро полосы должно быть меньше нормального* (при том же обжатии в плоском калибре).

Но, помимо указанного, здесь имеет значение и действие *обрабатывающих поверхностей вращающихся валков*. Рассматривая фиг. 132, мы наблюдаем, что наибольшее обжатие в центре калибра совпадает с углами последнего, в которые попадают углы овальной полосы. Углы создают защемление полосы, которое еще повышается в виду большого обжатия. Сильное защемление создает большое трение между металлом и валками. Крайние слои, попадающие на наклонные поверхности калибра и имеющие меньшее давление, дают меньшее трение на поверхности соприкосновения.

Это приводит нас к заключению, что наличие трения будет поддерживать вытяжку *центральных слоев*, крайние же слои будут сильно увлекаться центральными.

Все это вместе взятое приводит к *большой вытяжке и малому уширению овальной полосы*, прокатываемой в *квадратном калибре*. Поэтому квадратные калибры весьма *рациональны и экономичны*.

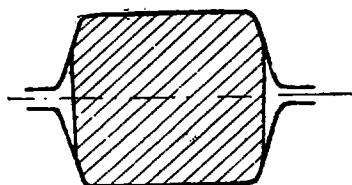
Вторым преимуществом расположенных ребром квадратных калибров является их удобство в смысле *устойчивости в них овальной полосы*. Попадая угол на угол, полоса плотно защемляется и *крепко держится в калибре*. *Недостатком* же ребровых квадратных калибров, и притом весьма существенным, является *глубокий их врез в валки* и *большое вертикальное обжатие по центру калибра*, что приводит к *большим углам захвата* и к *ослаблению прочности валков*. Поэтому при больших размерах квадратные ребровые калибры применяются редко; для мелкосортных и проволочных станов эти калибры имеют *весьма широкое распространение в чередовании с овальными калибрами*.

Для прокатки средних и больших размеров квадратного и круглого железа применяется обычно система *ромбических калибров*, или чередование калибров *ромб-квадрат*. В этой системе калибров, расположенных на ребро, нельзя достигнуть больших вытяжек, но это и не требуется при прокатке крупных размеров. Удобства этой системы калибров заключаются в *меньшем смещении металла по сечению* (ибо ромб по форме ближе к квадрату, чем овал), *лучшем центрировании полосы в калибре*, что имеет большое значение, ибо прокатка крупных размеров обычно производится

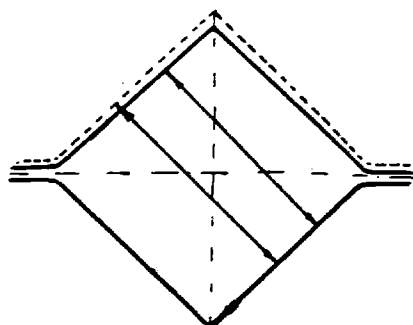
при задаче полосы в калибр без пропусков. В системе ромб-квадрат весьма легко получить окончательный квадрат.

При прокатке квадратного железа в системе *квадрат-овал* предпоследний (предотделочный) калибр также должен быть *ромбическим*. Третьим от конца калибром должен быть *квадратный на ребро*, четвертым—*овальный* и далее чередование калибров *квадрат-овал*. Переход из системы квадрат-овал в систему ромб-квадрат и обратно поэтому весьма прост и *комбинирование обеих систем* возможно.

Прокатка круглого железа в системе *квадрат-овал* заканчивается предотделочным овальным калибром и чистовым (отделочным) круглым. При прокатке круглого железа в системе *ромб-квадрат* предотделочный калибр также должен быть овальным, ибо круглое сечение можно получить *только из овальной полосы*. Третьим от конца калибром должен быть *квадратный на ребро*. Далее идет чередование калибров по системе ромб-квадрат. Следует заметить, что при прокатке крупных размеров квадратного и круглого железа из начальной заготовки большого сечения несколько первых по ходу прокатки калибров могут быть *плоскими*.



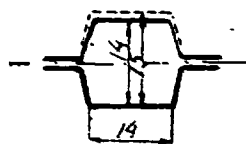
Фиг. 133. Квадратный калибр, расположенный в валках плашмя с выпуском.



Фиг. 134. Получение квадратов разных размеров в расположенном на ребро квадратном калибре.

Расположение квадратных калибров на ребро объясняется *большими удобствами такой прокатки*. Эти удобства заключаются прежде всего в том, что в ребровых квадратных калибрах полоса не *зашемляется боковыми поверхностями валков*, ибо они наклонны и легко выпускают полосу. В плоском же калибре полоса, опираясь на почти отвесные боковые стенки калибра, зашемляется, и вывод ее из калибра требует известного усилия для преодоления боковых сил трения; если же калибр сделать просторным, то он не будет выполнять своего назначения и прокатка уподобится прокатке в гладких валках. Для уменьшения зашемления пришлось бы боковым стенкам калибра дать значительный *уклон* или *выпуск*, что исказило бы размеры квадрата (фиг. 133).

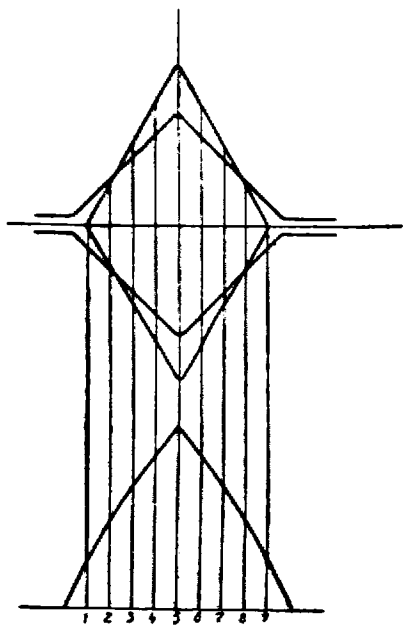
Вторым большим преимуществом ребровых квадратных калибров является возможность *легкого регулирования валков* для получения в тех же калибрах отличающихся в небольших границах размеров квадратов. Сказанное поясняется фиг. 134. В случае сомкнутых валков при оставлении лишь минимально необходимого зазора (игры валков) в 1 мм из калибра выходит  $\square 14$  мм; подъем валков на  $0,5 \cdot 1,41 = 0,7$  мм дает возможность получить  $\square 14,5$  мм; подъем валков на 1,41 мм дает возможность получить  $\square 15$  мм. При этом лежащие по горизонтали углы квадратной полосы не будут по расчету заполнены металлом, но некоторое недоуполнение углов не имеет существенного значения, если речь идет о промежуточном, а не о чистовом квадрате. Итти выше  $\square 15$  мм в калибре  $\square 14$  мм не рекомендуется по указанным соображениям о невыполнении горизонтальных углов квадратной полосы. Прокатка в плоско



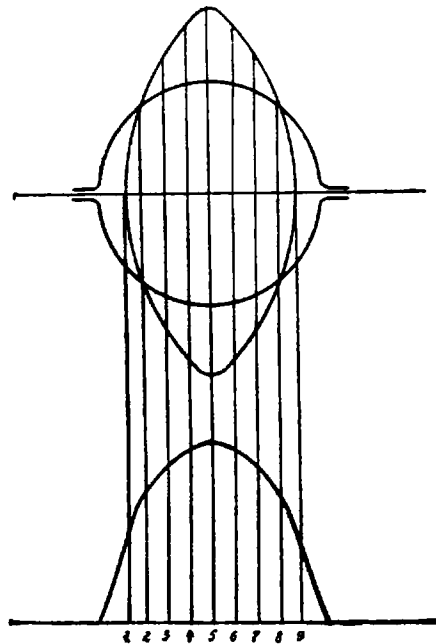
Фиг. 135. Регулировка расположенного плашмя квадратного калибра.

расположенных квадратных калибрах не дает возможности получить несколько размеров квадратов. Так, например, в калибре  $\square 14$  мм (фиг. 135) при подъеме верхнего валка на 1 мм мы получим не квадрат, а прямоугольник 14 × 15 мм. Регулировка размеров здесь весьма затруднительна. По указанным выше причинам плоско расположенные квадратные калибры малых и средних размеров никогда не употребляются.

Деформация металла при прокатке ромбической полосы в ребровом квадратном калибре (фиг. 136) аналогична деформации квадратной полосы в ромбическом калибре. Из фигуры видно, что максимальную натуральную вытяжку будут иметь центральные слои металла, испытывающие наибольшее давление и защемление в валках в угловых местах калибра. Вытяжка крайних слоев будет меньше и сила трения их о валки также меньше. Следовательно, *ведущими* здесь будут центральные слои, а



Фиг. 136. Прокатка ромбической полосы в квадратном калибре.



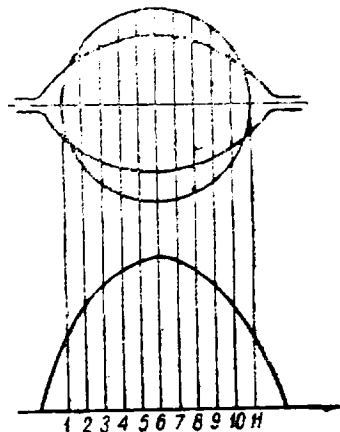
Фиг. 137. Прокатка овальной полосы в круглом калибре.

*ведомыми* — крайние. Ведущие слои имеют большую натуральную вытяжку, — следовательно, за счет нее будет повышена общая вытяжка полосы. Крайние слои будут растягиваться и уширение их будет уменьшено. В результате *полоса в ромбическом или ребровом квадратном калибре получит относительно большую вытяжку и меньшее уширение, нежели при том же обжатии в гладких валках или же в овальном калибре.*

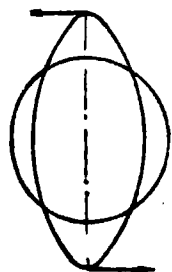
В последнее время за границей довольно большое распространение получила система калибров *овал-круг*. На фиг. 137 представлена *овальная полоса, задаваемая в круглый калибр*. Разбив по предыдущим примерам полосу продольными плоскостями на ряд слоев, замечаем, что *наибольшие вытяжки приходятся на средние слои, наименьшие — на крайние*. Повторяя все прежние рассуждения, приходим к выводу, что овальная полоса в круглом калибре получит *относительно небольшое уширение и большую вытяжку*, что выгодно с точки зрения ускорения прокатки и уменьшения расхода энергии на нее. Здесь мы имеем те же, но менее резко выраженные явления, что и при задаче овальной полосы в квадратный калибр.

Недостатками круглого калибра являются *большие углы захвата при высоких (плоских) овалах и неустойчивость овальной полосы в круглом калибре*. Вершины овала, попадая на круглые поверхности калибра, стремятся свалиться в сторону (фиг. 138). Для удерживания овальной полосы употребляются *плотно зажимаемые пропуска, вставляемые в регулируемые пропускные коробки*. Неустойчивость овальной полосы в круглом калибре весьма затрудняет широкое применение системы овал-круг. С точки зрения расхода энергии, эта система выгодна. Отсутствие острых углов, неизбежных в квадратах, дает меньшее остывание металла при прокатке.

На фиг. 139 представлена *круглая полоса, задаваемая в овальный калибр*. Разбивая продольными плоскостями полосу на ряд слоев и рассуждая аналогично предыдущему, приходим к выводу, что и здесь *центральные слои получают наибольшую вытяжку, крайние — наименьшую*. *Круглая полоса в овальном калибре даст большую вытяжку и меньшее уширение*. Опять-таки система круг-овал будет экономична с точки зрения расхода энергии и наряду с этим полезна из-за отсутствия острых углов, неблагоприятно отражающихся на качестве прокатываемого металла.



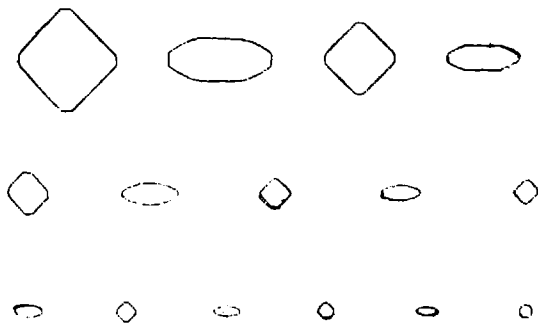
Фиг. 139. Прокатка круглой полосы в овальном калибре.



Фиг. 138. Сваливание овальной полосы в круглом калибре.

Нужно еще отметить, что овальный калибр имеет *небольшой врез в валки и небольшой угол захвата*. Задача круглой полосы в овальный калибр не требует особых удерживающих проводок, так как круглую полосу вообще не нужно держать, а только направлять в калибр.

В результате мы приходим к заключению, что система калибров овал-круг со многих точек зрения выгодна, почему ею и стали пользоваться. Весьма препятствует введению этой системы трудность правильной задачи овальной полосы в круглый калибр. Плотное прижатие проводками овальной полосы требует большого усилия для введения ее в калибр, что при малых размерах очень затруднительно. Система овал-круг применяется на *непрерывных станах*, где задача полосы в последующую клетку производится путем *принудительного нагнетания полосы*, выходящей из предыдущей клетки.



Фиг. 140. Прокатка проволоки.

## § 27. Калибровка круглого железа

При прокатке круглого железа  $\varnothing$  а малого диаметра и проволоки



Фиг. 141. Прокатка круглого железа.

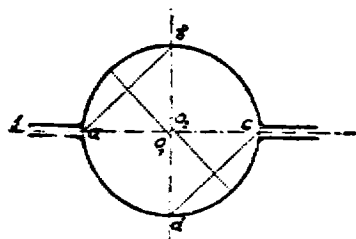
*исключительное применение получила система квадрат-овал*. На фиг. 140 представлена *схема прокатки проволоки с чередованием квадратных и овальных калибров*. При прокатке круглого железа  $\varnothing$  более 15—20 мм применяется система чередующихся квадратных и ромбических калибров, как показано на фиг. 141. Как в одной, так и в другой системах *общими явля-*

ются три последних калибра: предотделочный квадрат, предотделочный овал и отделочный круг. Размеры чистового круглого калибра определяются по заданному диаметру готового круглого профиля в холодном состоянии. Вертикальный диаметр чистового калибра берется  $1,01 d_x$ , а горизонтальный  $1,02 d_x$ , где  $d_x$  диаметр в холодном состоянии. Это делается из тех соображений, что благодаря большему охлаждающему действию валков в вертикальном направлении температурная усадка вертикального диаметра меньше, чем горизонтального. Для построения калибра на взаимно перпендикулярных осях наносят вертикально  $d' = 1,01 \cdot d_x$ , горизонтально  $d'' = 1,02 \cdot d_x$  (фиг. 142). Соединяя точки  $a$  и  $b$ , а также  $c$  и  $d$  прямыми линиями, восстанавливаем в середине перпендикуляры до пересечения с осями в точках  $O_1$  и  $O_2$ , служащих центрами для верхней и нижней половины калибра. Зазор между валками делается от 1 до 5 мм в зависимости от диаметра круглого. Радиус закругления у зазора  $r \approx 0,1 \cdot d_x$ . Площадь круглого калибра

$$q_{кр} = \frac{\pi \cdot d_x^2}{4},$$

где  $d_x$  — диаметр круглого в горячем состоянии.

Калибровка круглого железа начинается с определения размеров чистового калибра. Далее определяют размеры предотделочного (шлихтовального) овала. Толщина овала должна быть меньше диаметра круглого на величину уширения в круглом калибре, ширина овала больше диаметра круглого на величину обжатия в круглом калибре. Линейная величина уширения почти не зависит от размеров круглого (так же, как уширение полосы не зависит от ее ширины), а только от величины абсолютного обжатия, относительного обжатия и катающего радиуса валка. Следовательно, при большом  $\varnothing$  круглого овал должен быть



Фиг. 142. Чистовой круглый калибр.

полнее, т. е. отношение  $\frac{h_{ос}}{d_{кр}}$  должно быть больше, чем при малом  $\varnothing$ . Практикой ус-

тановлены и проверены величины отношений  $\frac{h_{ос}}{d_{кр}}$  для разных диаметров круглого. Этими величинами, помещенными в таблице 10, следует пользоваться для выбора толщины предотделочного овала  $h_{ос}$ . Здесь же в таблице 10 даны значения отношения  $\frac{b_{ос}}{h_{ос}}$ , по которым определяется ширина предотделочного овала  $b_{ос}$ . Для построения овала на взаимно перпендикулярных осях наносим  $h_{ос}$  и  $b_{ос}$ , через три точки радиусом  $r_{ос}$  описываем дуги. Зазор между валками для возможности регулировки валками принимается больший, чем для круглого калибра, обычно в пределах 1,5—2,0 мм для проволоки и выше (до 10 мм) для больших размеров круглого. Площадь овала может быть с достаточной приближенностью определена как площадь параболы:

$$q_{ос} = \frac{2}{3} \cdot h_{ос} \cdot b_{ос}.$$

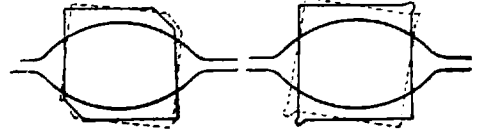
Точность размеров предотделочного квадрата и величина его площади имеют весьма существенное значение для получения точных размеров круглого железа. Если в овальный калибр идет квадратная полоса с невыполненными углами или заусенками (фиг. 143), то она сваливается, овал выходит с неправильными размерами и формой, не обеспечивающей получение точных размеров круглого. Если размер стороны квадрата

излишне велик, то в овале получается большое уширение и в круглом калибре имеет место *переполнение*. С другой стороны, малый квадрат дает *невыполненный* по ширине овал, и, следовательно, круглый профиль также не выполняется. Вот почему *размер квадрата должен быть с достаточной строгостью выбран по размеру круглого*. Для выбора стороны квадрата можно пользоваться следующей эмпирической формулой инж. Галемина:

$$c = d_x + \frac{d_x}{10} - 1 = 1,1 d_x - 1$$

для  $d > 10$  мм. Для  $d = 10$  мм и меньше  $c = d_x$ .

Площадь квадрата  
 $q_{кв} = c^2$ .



Фиг. 143. Сваливание квадратной полосы в овальном калибре.

В дальнейшем калибровка круглого малых размеров ведется против хода прокатки по описываемому ниже методу Кирхберта в системе квадрат-овал. Калибровка круглого средних и больших размеров ведется в системе ромб-квадрат.

## § 28. Калибровка проволоки

Приведем в качестве примера калибровку проволоки  $\varnothing 5$  мм.

Таблица 10

Предотделочные овалы

$d_x$ мм	О в а л		$d_x$ (мм)	О в а л	
	$\frac{h}{d_x}$	$\frac{b}{h}$		$\frac{h}{d_x}$	$\frac{b}{h}$
5—7	0,69—0,78	2,35—2,50	26—35	0,90—0,94	1,47—1,5
7—9	0,75—0,85	1,75—2,10	36—40	0,90	1,4—1,5
9—11	0,80—0,85	1,67—1,80	42—50	0,91	1,4
12—15	0,80—0,87	1,6—1,7	52—60	0,92	1,4
16—20	0,87—0,90	1,5—1,6	65—80	0,92	1,4
21—25	0,90—0,92	1,47—1,5	св. 80	0,93	1,4

I. Чистовой калибр имеет вертикальный диаметр  $d' = 5 \cdot 1,01 = 5,05$  мм, горизонтальный диаметр  $d'' = 5 \cdot 1,02 = 5,1$  мм. Площадь круглого калибра  $q_{кр} = \frac{\pi(5 \cdot 1,012)^2}{4} = 20,2$  мм<sup>2</sup>, где 1,012 — коэффициент температурного расширения<sup>1</sup>.

II. Предотделочный овал — 2-й по расчету калибр. По таблице 10 выбираем для  $\varnothing 5$  мм отношение  $\frac{h_{ов}}{d_{кр}} = 0,69$ , тогда  $h_{ов} = 0,69 \cdot 5 = 3,45$  мм.

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре берут в пределах 1,07—1,15,\* принимаем 1,08, тогда  $q_{ов} = q_{кр} \cdot 1,08 = 20,2 \cdot 1,08 = 21,8$  мм<sup>2</sup>

$$q_{ов} = 21,8 = \frac{2}{3} \cdot b_{ов} h_{ов}$$

<sup>1</sup> В зависимости от размеров профиля таковой берется 1,012 до 1,015.

\* В зависимости от размеров профиля.



как площадь параболы. Находим

$$b_{008} = \frac{q_{008} \cdot 3}{2 \cdot h_{008}} = \frac{21,8 \cdot 3}{2 \cdot 3,45} = 9,5 \text{ м.м.}$$

*III калибр—предотделочный квадрат.* Сторона квадрата  $c = d_2 = 5 \text{ м}$ ; площадь квадрата  $q_{кв} = 5^2 = 25 \text{ м.м}^2$ .

Коэффициент вытяжки в предотделочном овале:

$$\mu_2 = \frac{25}{21,8} = 1,15.$$

*IV калибр—овал.* В дальнейшем при переходе от квадрата к ближайшему большему овалу пользуемся эмпирической формулой Кирхберга для определения коэффициента вытяжки овала в квадратном калибре:

$$\mu_3 = \mu_{кв} = 1 + 0,007 \sqrt{160 \sqrt{q_{кв}}} = 1 + 0,007 \sqrt{160 \sqrt{25}} = 1,2.$$

Площадь IV овала  $q_4 = q_3 \cdot \mu_3 = 25 \cdot 1,2 = 30 \text{ м.м}^2$ .

Толщину овала определяем по эмпирической формуле Кирхберга:

$$h_{008} = c_{кв} - 0,05 \cdot f_{кв},$$

где  $c_{кв}$  — сторона квадрата;

$f$  — приращение длины в процентах  $f_{кв} = 100 (\mu - 1)$ ;

$$h_4 = 5 - 0,05 \cdot 20 = 4 \text{ м.м.}$$

Далее по Кирхбергу определяем  $\frac{q}{h^2} = \frac{30}{16} = 1,88$ .

На основании практических калибровок Кирхбергом составлена таблица конструктивных данных для овалов (таблица 11), в которой по величине отношения  $\frac{q}{h^2}$  находим величины отношений  $\frac{b}{h}$  и  $\frac{r}{h}$ ; величина  $r$  необходима для построения овала. Для величины  $\frac{q_4}{h_4^2} = 1,88$  находим  $\frac{b}{h} = 2,75$  и  $\frac{r}{h} = 2,14$ . Отсюда:

$$b = 2,75 \cdot 4 = 11 \text{ м.м.}; \quad r = 4 \cdot 2,14 = 8,56 \text{ м.м.}$$

*V калибр—квадрат.* При переходе от овала к ближайшему большему квадрату аналогично предыдущему по методу Кирхберга определяем коэффициент вытяжки квадрата в овале согласно формуле:

$$\mu_{008} = 1 + 0,01 \sqrt{160 \sqrt{q_{008}}} = 1 + 0,01 \sqrt{160 \sqrt{30}} = 1,3.$$

В этой формуле перед корнем стоит коэффициент 0,01, а при определении вытяжки в квадрате стоял коэффициент 0,007, ибо в овале допускаются большие вытяжки, чем в квадрате, в виду расположения овала плашмя.

Площадь квадрата:  $q_5 = q_4 \cdot 1,3 = 30 \cdot 1,3 = 39 \text{ м.м}^2$ .

Сторона квадрата  $c_5 = \sqrt{39} = 6,2 \text{ м.м.}$

*VI калибр—овал.* В дальнейшем при определении чередующихся калибров квадрат-овал пользуемся приведенными выше формулами Кирхберга.

Коэффициент вытяжки в квадрате (V калибра):

$$\mu_5 = 1 + 0,007 \sqrt{160 \sqrt{q_{кв}}} = 1 + 0,007 \sqrt{160 \sqrt{39}} = 1,22.$$

Площадь овала:  $q_6 = 39 \cdot 1,22 = 47,5 \text{ м.м}^2$ .

## Овальные калибры по данным Кирхберга

$\frac{b}{h}$	$\frac{q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$
1,10	0,843	0,5525	1,58	1,133	0,8741	2,06	1,436	1,3109	2,54	1,745	1,8629	3,02	2,057	2,5301
1,11	0,849	0,5580	1,59	1,140	0,8820	2,07	1,442	1,3213	2,55	1,751	1,8756	3,03	2,063	2,5452
1,12	0,855	0,5635	1,60	1,146	0,8900	2,08	1,449	1,3316	2,56	1,758	1,8884	3,04	2,070	2,5604
1,13	0,861	0,5692	1,61	1,152	0,8980	2,09	1,455	1,3421	2,57	1,764	1,9012	3,05	2,076	2,5756
1,14	0,867	0,5749	1,62	1,158	0,9061	2,10	1,462	1,3525	2,58	1,770	1,9141	3,06	2,083	2,5909
1,15	0,873	0,5806	1,63	1,164	0,9142	2,11	1,468	1,3630	2,59	1,777	1,9270	3,07	2,089	2,6062
1,16	0,878	0,5864	1,64	1,171	0,9224	2,12	1,474	1,3736	2,60	1,784	1,9400	3,08	2,096	2,6216
1,17	0,884	0,5922	1,65	1,177	0,9306	2,13	1,481	1,3848	2,61	1,790	1,9530	3,09	2,103	2,6370
1,18	0,890	0,5981	1,66	1,183	0,9389	2,14	1,487	1,3949	2,62	1,797	1,9661	3,10	2,109	2,6525
1,19	0,896	0,6040	1,67	1,189	0,9472	2,15	1,493	1,4051	2,63	1,803	1,9792	3,11	2,116	2,6680
1,20	0,902	0,6100	1,68	1,196	0,9556	2,16	1,500	1,4161	2,64	1,809	1,9924	3,12	2,122	2,6836
1,21	0,908	0,6160	1,69	1,202	0,9640	2,17	1,506	1,4277	2,65	1,816	2,0056	3,13	2,129	2,6992
1,22	0,914	0,6221	1,70	1,208	0,9727	2,18	1,513	1,4381	2,66	1,822	2,0189	3,14	2,135	2,7149
1,23	0,920	0,6282	1,71	1,215	0,9810	2,19	1,519	1,4490	2,67	1,829	2,0322	3,15	2,142	2,7306
1,24	0,926	0,6344	1,72	1,221	0,9896	2,20	1,526	1,4600	2,68	1,835	2,0456	3,16	2,148	2,7464
1,25	0,932	0,6405	1,73	1,227	0,9982	2,21	1,532	1,4710	2,69	1,842	2,0590	3,17	2,155	2,7622
1,26	0,938	0,6466	1,74	1,233	1,0069	2,22	1,538	1,4821	2,70	1,848	2,0725	3,18	2,161	2,7781
1,27	0,944	0,6527	1,75	1,240	1,0156	2,23	1,545	1,4932	2,71	1,855	2,0860	3,19	2,168	2,7940
1,28	0,950	0,6589	1,76	1,246	1,0244	2,24	1,551	1,5044	2,72	1,861	2,0996	3,20	2,175	2,8100
1,29	0,956	0,6660	1,77	1,252	1,0332	2,25	1,558	1,5156	2,73	1,868	2,1132	3,21	2,181	2,8260
1,30	0,962	0,6725	1,78	1,258	1,0421	2,26	1,564	1,5269	2,74	1,874	2,1269	3,22	2,188	2,8421
1,31	0,968	0,6790	1,79	1,265	1,0510	2,27	1,570	1,5382	2,75	1,881	2,1406	3,23	2,194	2,8582
1,32	0,974	0,6856	1,80	1,271	1,0600	2,28	1,577	1,5496	2,76	1,888	2,1544	3,24	2,201	2,8744
1,33	0,980	0,6922	1,81	1,277	1,0690	2,29	1,583	1,5611	2,77	1,894	2,1682	3,25	2,207	2,8902
1,34	0,986	0,6989	1,82	1,284	1,0781	2,30	1,590	1,5725	2,78	1,900	2,1821	3,26	2,214	2,9069
1,35	0,992	0,7056	1,83	1,290	1,0872	2,31	1,596	1,5840	2,79	1,907	2,1960	3,27	2,220	2,9232
1,36	0,998	0,7124	1,84	1,296	1,0964	2,32	1,602	1,5956	2,80	1,913	2,2100	3,28	2,227	2,9396
1,37	1,004	0,7192	1,85	1,303	1,1055	2,33	1,609	1,6072	2,81	1,920	2,2240	3,29	2,233	2,9560
1,38	1,010	0,7261	1,86	1,309	1,1149	2,34	1,615	1,6189	2,82	1,927	2,2381	3,30	2,240	2,9725
1,39	1,017	0,7330	1,87	1,315	1,1242	2,35	1,622	1,6306	2,83	1,933	2,2522	3,31	2,247	2,9890
1,40	1,023	0,7400	1,88	1,322	1,1336	2,36	1,628	1,6424	2,84	1,940	2,2664	3,32	2,253	3,0056
1,41	1,029	0,7470	1,89	1,328	1,1430	2,37	1,635	1,6542	2,85	1,945	2,2806	3,33	2,260	3,0222
1,42	1,035	0,7541	1,90	1,334	1,1525	2,38	1,641	1,6661	2,86	1,953	2,2949	3,34	2,266	3,0389
1,43	1,041	0,7612	1,91	1,341	1,1621	2,39	1,648	1,6780	2,87	1,959	2,3092	3,35	2,273	3,0555
1,44	1,047	0,7684	1,92	1,347	1,1716	2,40	1,654	1,6900	2,88	1,966	2,3236	3,36	2,280	3,0724
1,45	1,053	0,7756	1,93	1,353	1,1812	2,41	1,661	1,7020	2,89	1,972	2,3380	3,37	2,286	3,0892
1,46	1,059	0,7829	1,94	1,360	1,1909	2,42	1,667	1,7141	2,90	1,979	2,3525	3,38	2,292	3,1061
1,47	1,065	0,7902	1,95	1,366	1,2006	2,43	1,674	1,7262	2,91	1,985	2,3670	3,39	2,299	3,1230
1,48	1,071	0,7976	1,96	1,372	1,2104	2,44	1,680	1,7384	2,92	1,992	2,3816	3,40	2,306	3,1400
1,49	1,078	0,8050	1,97	1,379	1,2202	2,45	1,686	1,7500	2,93	1,998	2,3962	3,41	2,312	3,157
1,50	1,084	0,8125	1,98	1,385	1,2301	2,46	1,693	1,7629	2,94	2,005	2,4109	3,42	2,319	3,1741
1,51	1,090	0,8200	1,99	1,391	1,2400	2,47	1,700	1,7752	2,95	2,011	2,4256	3,43	2,325	3,1912
1,52	1,096	0,8276	2,00	1,398	1,2500	2,48	1,705	1,7876	2,96	2,018	2,4404	3,44	2,332	3,2084
1,53	1,102	0,8352	2,01	1,404	1,2600	2,49	1,712	1,8000	2,97	2,024	2,4552	3,45	2,339	3,2256
1,54	1,108	0,8429	2,02	1,411	1,2701	2,50	1,719	1,8125	2,98	2,031	2,4701	3,46	2,345	3,2426
1,55	1,115	0,8506	2,03	1,417	1,2803	2,51	1,725	1,8250	2,99	2,037	2,4850	3,47	2,352	3,2602
1,56	1,121	0,8584	2,04	1,423	1,2904	2,52	1,732	1,8376	3,00	2,044	2,5000	3,48	2,358	3,2776
1,57	1,127	0,8662	2,05	1,430	1,3006	2,53	1,738	1,8502	3,01	2,050	2,5150	3,49	2,365	3,2950
												3,50	2,371	3,3125

Толщина овала:  $h_6 = c_5 - 0,55 \cdot f_3 = 6,2 - 0,05 \cdot 22 = 5,1$  мм.

Отношение  $\frac{q_6}{h_6} = \frac{47,5}{5,1^2} = 1,83$ . По таблице Кирхберга этому отношению соответствует  $\frac{b}{h} = 2,67$ , откуда  $b = 5,1 \cdot 2,67 = 13,6$  мм.

VII калибр—квадрат. Коэффициент вытяжки в овале (VI калибре):

$$\mu_6 = 1 + 0,01 \sqrt{160 \sqrt{q_{0,6}}} = 1 + 0,01 \sqrt{160 \sqrt{47,5}} = 1,33.$$

Таблица 12

Калибровка проволоки  $\varnothing 5$  мм в стане  $D_0 = 300$  мм

№ калибров	Форма калибров	Калт. на	Коэф. вытяж. $\mu$	Сечение калибра $q$ (мм <sup>2</sup> )	Сторона квадрата $c$ (мм)	Высота калибра $h$ (мм)	Ширина калибра $b$ (мм)	Обжатие $H-h$ (мм)	Кат. diam. $D_k$ (мм)	Угол захагта $\varphi^\circ$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	круг	90°	1,08	20,2	$\varnothing 5$	5,05	5,1	4,05	295	9° 30'
2	овал	45°	1,15	21,8		3,45	8,6	1,55	297	5° 30'
3	квадрат	90°	1,20	25	5	7,05	7,05	4,0	295	9° 30'
4	овал	45°	1,30	30		4,0	11,0	2,2	297	7°
5	квадрат	90°	1,22	39	6,2	8,7	8,7	5,1	294	10° 30'
6	овал	45°	1,33	47,5		5,1	13,6	2,8	296	8°
7	квадрат	90°	1,25	63	7,9	11,1	11,1	6,1	293	11° 30'
8	овал	45°	1,38	78,7		6,7	17,2	3,7	295	9°
9	квадрат	90°	1,29	109	10,4	14,7	14,7	8,0	290	13° 30'
10	овал	45°	1,43	141		9,0	22,7	5,2	344	10°
11	квадрат	90°	1,33	202	14,2	20,0	20,0	11,0	346	14° 30'
12	овал	45°	1,51	268		12,6	31,0	7,5	342	12°
13	квадрат	90°	1,40	405	20,1	28,3	28,3	17,5	331	18° 30'
14	овал	45°	1,61	567		18,1	45,8	12,0	338	15° 30'
15	квадрат	90°	1,49	910	30,1	42,5	42,5	31,5	322	25° 30'
16	овал		1,76	1350		27,6	74,0	20,1	332	20°
17	квадрат	исходный		2370	48	—	—	—	—	—

Площадь квадрата  $q_7 = q_6 \cdot 1,33 = 47,5 \cdot 1,33 = 63$  мм<sup>2</sup>.

Сторона квадрата  $c = \sqrt{63} = 7,9$  мм.

VIII калибр—овал.  $\mu_7 = 1 + 0,007 \sqrt{160 \sqrt{63}} = 1,25$ .

$q_7 = 63 \cdot 1,25 = 78,7$  мм<sup>2</sup>.  $h_8 = 7,9 - 0,05 \cdot 25 = 6,7$  мм.

$$\frac{q_8}{h_8^2} = \frac{78,7}{6,7^2} = 1,76; \text{ по таблице } \frac{b_8}{h_8} = 2,56;$$

$$b_8 = 2,56 \cdot 6,7 = 17,2 \text{ мм.}$$

IX калибр—квадрат  $\mu_8 = 1 + 0,01 \cdot \sqrt{160 \sqrt{78,7}} = 1,38$ .

$$q_8 = 78,7 \cdot 1,38 = 109 \text{ мм}^2; \quad c_9 = \sqrt{109} = 10,4 \text{ мм.}$$

Калибровка продолжается аналогично до получения размеров исходной квадратной заготовки, задаваемой в систему квадрат-овал. В качестве последней на станах ступенчатого типа обычно служит  $\square 35-45$  мм, получаемый в обжимной линии; на непрерывных проволочных станах заготовка, нагреваемая в печи, имеет обычно размеры  $\square 35-40$  мм. Продолжая далее калибровку и занося полученные расчетом величины в таблицу 12, находим, что в 14 пропусков мы получаем исходный  $\square 30$  мм, в 16 пропусков —  $\square 48$  мм. В зависимости от заданной величины исходного квадрата мы можем остановиться на 14 либо на 16 пропусках.

В случае необходимости возможны отступления от полученных расчетом величин вытяжек. Так, например, при наличии в черновой и чистой линиях проволочного стана всего 12 клетей, вытяжку в 14 клетях желательнее распределить в 12, что возможно путем некоторого повышения вытяжек в калибрах, преимущественно в более крупных — черновых, где металл прокатывается с более высокой температурой. *Корректировка калибровки бывает необходима также и для приспособления ее к заданному исходному квадрату.*

В дальнейшем по величине обжатия (графа 9) в каждом калибре необходимо определить *угол захвата*, чтобы убедиться, что углы не превышают допустимых. Диаметр валков  $D_0$  проволочного стана обычно берут 300 мм в чистовых клетях, к которым мы отнесем 9 первых по расчету пропусков и 350 мм в черновых клетях, к которым мы отнесли остальные пропуски. Средний *катающий диаметр* может быть для всех случаев определен из выражения

$$D_k = D_0 - h_{cp},$$

здесь  $h_{cp}$  — средняя высота профиля, равная

$$h_{cp} = \frac{q}{b},$$

где  $q$  и  $b$  — сечение и ширина профиля. Проще и достаточно точно можно также определять *катающий диаметр* в простых калибрах по выражениям<sup>1</sup>:

$$D_k = D_0 - h_{кр}; \quad D_k = D_0 - \frac{2}{3} h_{ов}; \quad D_k = D_0 - \frac{2}{3} h_{кв},$$

где  $h_{кр}$ ,  $h_{ов}$  и  $h_{кв}$  — вертикальные размеры (высоты) соответственно круглого, овального и квадратного калибров. Найденные величины  $D_k$  заносим в графу 10 таблицы 12. Угол захвата определяем с точностью до 30° по формуле  $H - h = D_k(1 - \cos \varphi)$ , откуда

$$\cos \varphi = 1 - \frac{H - h}{D_k},$$

и заносим в графу 11. Что касается величины обжатия  $H - h$ , то она определяется, учитывая, что проверки на угол требует момент захвата (неустановившийся процесс), для квадратных калибров как *разность вертикалей задаваемой полосы и калибров*; для овальных калибров, не опасных с точки зрения захвата, можно брать разность стороны задаваемого квадрата и толщины овала. Прокатка по полученной калибровке и при заданных диаметрах возможна, так как угол захвата не превышает 25—30°.

Конструкция чистового и предотделочного калибров была приведена выше. Построение же промежуточных вытяжных калибров овал-квадратное, как и предотделочных. Зазор здесь берется несколько большим — 2—3 мм, чтобы возможна была более свободная регулировка валков.

<sup>1</sup> Величина  $\frac{2}{3} h_{кв}$  принята из тех соображений, что наибольшее обжатие претерпевают вертикальные углы овальной полосы в квадратном калибре.

Дальнейшая калибровка в системе квадрат-овал по методу Кирхберга приведет к весьма большим коэффициентам вытяжек и до получения квадрата примерно 70—80 мм в стороне коэффициенты вытяжек не рассчитывают по формулам Кирхберга, а принимают в пределах 1,5—1,75. Затем следует перейти в систему прямоугольных калибров, обеспечивающих наименьшие врезы и валки и минимальные углы захвата.

## § 29. Калибровка квадратного железа

Произведем калибровку квадратного профиля  $\square$  18 мм из заготовки  $\square$  35 мм, получаемой в обжимных клетях. Такие условия мы имеем обычно на чистовых линиях мелкосортных станов. На фиг. 144 представлена схема прокатки в чередующихся калибрах системы ромб-квадрат. Эта система представляет большие удобства для прокатки  $\square$  и  $\square$  больше 12 мм.

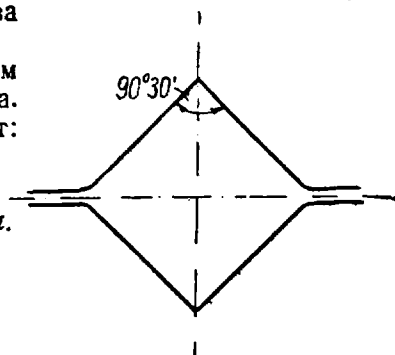
1. Чистовой калибр. Калибровку начинаем с определения размеров чистового калибра. Тторона квадрата в нагретом состоянии будет:

$$c_2 = c_1 \cdot (1,015 \text{ до } 1,012);$$

в данном случае  $c_2 = c \cdot 1,013 = 18 \cdot 1,013 = 18,3 \text{ мм.}$



Фиг. 144. Прокатка квадратного железа.



[ Фиг. 145. Чистовой квадратный калибр.

Принимаем вертикальную диагональ квадратного калибра:

$$h_1 = 1,41 \cdot 18,3 = 25,8 \text{ мм.}$$

Горизонтальную диагональ принимаем равной:

$$h_2 = 1,42 \cdot 18,3 = 26,0 \text{ мм.}$$

В таком случае угол при вершине  $\alpha$  будет равен  $90^\circ 30'$  (фиг. 145). При остывании вышедший из такого калибра профиль будет иметь точную квадратную форму. Углы чистового квадрата не округляются. Площадь чистового калибра:

$$q_1 = c^2 = 18,3^2 = 335 \text{ мм}^2.$$

Зазор (игра) между валками делается от 1,5 до 2 мм<sup>1</sup>.

2. Предотделочный калибр (шлихтовальный ромб). Коэффициент вытяжки в чистовом калибре может быть принят для всех профилей в пределах 1,10—1,15, редко до 1,18. Площадь предотделочного калибра:

$$q_2 = 1,15 \cdot 335 = 385 \text{ мм}^2.$$

Уширение в чистовом квадратном калибре по практическим данным может быть принято 1 мм на каждые 10 мм стороны квадрата. В нашем случае уширение будет 1,8 мм. Поэтому меньшая диагональ предотделочного ромба равна

$$h_2 = 26,0 - 1,8 = 24,2 \text{ мм.}$$

<sup>1</sup> При прокате  $\square$  и  $\square$  от 18 до 100 мм зазор соответственно увеличивается от 2 до 5 мм.

Площадь ромба равна:

$$q_2 = \frac{h_2 \cdot b_2}{2} = 385 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$b_2 = \frac{2 \cdot 385}{24,2} = 31,8 \text{ мм.}$$

Обжатие в чистовом калибре  $H_1 - h_1 = 31,8 - 25,8 = 5$  мм. Углы в предотделочном (шлихтовальном) ромбе не округляются. Построение ромбического, а также квадратного калибров по найденным диагоналям не представляет затруднений.

**3. Предотделочный квадрат.** Уширение в предотделочном ромбе принимаем также по 1 мм на каждые 10 мм стороны чистового квадрата, или 1,8 мм.

Диагональ квадрата равна:  $h_3 = 31,8 - 1,8 = 30,0$  мм.

Сторона квадрата:

$$c_3 = \frac{30,0}{1,41} = 21,3 \text{ мм.}$$

Площадь квадрата  $q_3 = 21,3^2 = 454$  мм<sup>2</sup>.

Коэффициент вытяжки предотделочного квадрата в шлихтовальном ромбе:

$$\mu_2 = \frac{454}{385} = 1,18.$$

Округления углов в предотделочном квадрате могут быть допущены весьма небольшие.

В дальнейшем калибровка может быть произведена либо в ромбических калибрах, либо в системе квадрат-ромб. Исходное сечение заготовки и сечение 3-го по расчету калибра являются квадратными. Если калибровку вести с постоянным коэффициентом вытяжки, то *между ромбическими калибрами будут располагаться квадратные калибры*. Если коэффициенты вытяжки переменны, изменяясь от калибра к калибру, то будет происходить чередование ромбических калибров, из которых *через один будут калибры, весьма близкие к квадратным*. Из этих соображений удобнее заранее вести калибровку с таким расчетом, чтобы *между ромбическими калибрами находились квадратные*.

В нашем случае необходимо произвести прокатку  $\square 35$  мм в  $\square 21,3$  мм. Коэффициент суммарной вытяжки:

$$\sum_3^{\mu} \mu = \frac{35 \cdot 35}{21,3 \cdot 21,3} = 2,7.$$

Для определения числа оставшихся калибров необходимо *задаться коэффициентами вытяжки в них*. Удобно *вначале определить число квадратных калибров*, повторяющихся через каждый ромбический калибр. Коэффициент вытяжки от квадратного к квадратному калибру есть произведение двух коэффициентов: от квадрата к ромбу и от ромба к квадрату. По практическим данным коэффициенты вытяжек в системе квадрат-ромб колеблются для одного калибра в пределах 1,25—1,41, или от 1,56 до 2 от квадрата к квадрату (для двух калибров) для обыкновенного литого металла и соответственно в пределах 1,2—1,25, или от 1,44 до 1,56 для высококачественного легированного металла.

Примем для нашего случая прокатки обыкновенного металла *средний коэффициент вытяжки от калибра к калибру 1,3, или от квадрата к квад-*

рату 1,69. Тогда число квадратных калибров определится из выражения:

$$u_{sp} = \sqrt[m]{2,7}; \quad m = \frac{\lg 2,7}{\lg u_{sp}} = \frac{\lg 2,7}{\lg 1,69} = \frac{0,43136}{0,22789} = 1,9.$$

Принимаем два квадрата, тогда:

$$u_{sp} = \sqrt{2,7} = 1,64.$$

Лучше однако, учитывая падение температуры при прокатке, взять коэффициенты вытяжки от квадрата к квадрату не одинаковыми, а *уменьшающимися по ходу прокатки*. Примем:

$$1,55 \cdot 1,75 = 2,7.$$

Тогда вытяжки от калибра к калибру будут попарно:

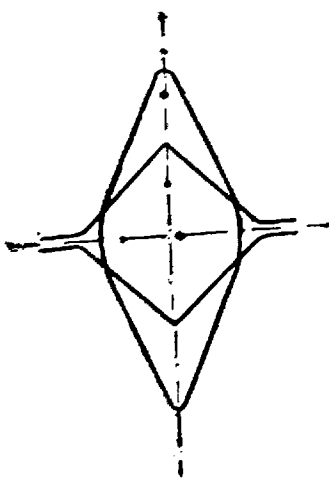
$$\sqrt{1,55} = 1,25; \quad \sqrt{1,75} = 1,32.$$

Определяем поперечные сечения калибров и результаты калибровки по мере их получения заносим в таблицу 13.

Таблица 13

Калибровка квадратного железа  $\square$  18 мм

№ калибров	Форма калибров	Коэф. вытяжки $\mu$	Сечение калибра $q$ (мм <sup>2</sup> )	Сторона квадрата $c$ (мм)	Расч. диагонали		Высота $h'$ (мм) с учетом закругл.	Обжатие (мм)	Кат. diam. $D_k$ (мм)	Угол захвата $\varphi$
					$h$ (мм)	$b$ (мм)				
1	Чистовой квадрат . . .	1,15	335	18,3	25,8	26,0	25,8	6,0	313	11°
2	Шлихтовальный ромб	1,18	385		24,2	31,8	24,2	5,8	314	11°
3	Пред. квадрат . . . . .	1,25	454	21,3	30,0	30,0	30,0	10,6	310	15°
4	Ромб . . . . .	1,25	566		27,9	40,6	24,7	12,9	312	16°30'
5	Квадрат . . . . .	1,32	704	26,6	37,6	37,6	33,6	19,4	305	20°30'
6	Ромб . . . . .	1,32	930		35,0	53,0	31,0	19,2	307	17°
7	Исходный квадрат . . .		1230	35	49,4	49,4	44,2			
					(44,2)	(44,2)				



Фиг. 14б. Образование места для уширения металла за счет притуплений.

Поперечные сечения квадратов дают возможность сразу определить и занести в таблицу *размеры их стороны и расчетные диагонали*. Расчет же размеров ромбических калибров, производится на основании того, что *меньшая диагональ ромба меньше диагонали ближайшего квадрата на величину уширения*. Последнее может быть принято в 1 мм на каждые 10 мм стороны квадрата. При этом закругления (притупления) в тупых (вертикальных) углах ромба дают *дополнительное место для уширяющегося металла* (фиг. 14б). На закругления будем принимать из практических данных 1,0—1,5—2,0 мм на каждые 10 мм стороны квадрата в зависимости от величины вытяжки.

Размеры IV калибра (ромба) определяются:

$$h_4 = b_3 - z_3 = 30,0 - 0,1 \cdot 21,3 = 27,9 \text{ мм};$$

$$b_4 = \frac{2 \cdot q_4}{h_4} = \frac{2 \cdot 566}{27,9} = 40,6 \text{ мм}.$$

Уширение в IV калибре равно:  $40,6 - 37,6 = 3,0$  мм, что незначительно больше 0,1 стороны соседних квадратов.

Меньшая диагональ VI калибра (ромба) равна:

$$h_6 = b_5 - z_5 = 37,6 - 0,1 \cdot 26,6 = 37,6 - 2,6 = 35,0 \text{ мм.}$$

Большая диагональ VI калибра равна:

$$b_6 = \frac{2 \cdot q_6}{h_6} = \frac{2 \cdot 930}{35,0} = 53,0 \text{ мм.}$$

Уширение исходного квадрата в VI калибре:

$$z_6 = 53,0 - 49,4 = 3,6 \text{ мм.}$$

По расчетным высотам определяем закругления и заносим в таблицу 13 фактическую высоту калибра (с учетом закругления)  $h_k$ .

Примем диаметр валков рассматриваемого мелкосортного стана 330 мм. Катающий диаметр в калибре определяется по выражению:

$$D_k = D_0 - \frac{2}{3} h,$$

где  $h$  — расчетная высота калибра.

Углы захвата определяем из выражения:

$$\cos \varphi = 1 - \frac{H - h_k}{D_k}.$$

Обжатия определяем по выражению:  $H - h_k = b - h_k$ , причем задаваемая высота  $H$  является шириной предыдущего по ходу прокатки калибра.

Наибольший угол захвата  $20^\circ 30'$  получен в V калибре по расчету, т. е. II калибре по ходу прокатки при задаче ромбической полосы в квадратный калибр. Угол этот допустим. Не трудно убедиться в том, что максимальное обжатие и максимальный угол захвата будет всегда именно в этом первом квадратном по ходу прокатки калибре.

В системе квадрат-ромб осуществляется также прокатка круглого железа  $\varnothing$  больше 15 мм. Калибровка в этом случае также начинается с определения размеров чистового калибра и предотделочных овала и квадрата. Исходя из полученного предотделочного квадрата, далее калибровку ведут в системе ромб-квадрат совершенно так же, как в описанном примере. Предотделочный квадрат со стороной 21,3 мм может служить одновременно для прокатки круглого железа следующего размера:

$$c = 1,1 \cdot d_x - 1,$$

откуда

$$d_x = \frac{c+1}{1,1} = \frac{21,3+1}{1,1} = 20,2 \approx 20 \text{ мм.}$$

Поэтому для прокатки  $\varnothing 20$  мм и  $\square 18$  мм можно применить одни и те же калибры квадрат-ромб, заканчивая получение профиля в трех последних самостоятельных калибрах. В этом заключается весьма большое удобство системы квадрат-ромб для мелкосортных станов, главной продукцией которых являются круглые и квадратные сечения.



## § 30. Прокатка в непрерывных станах

Введение и развитие непрерывных прокатных станов имело целью повысить производительность прокатных цехов. Основной особенностью прокатки в непрерывных станах является прохождение прокатываемой штуки *одновременно в нескольких калибрах* (в нескольких последовательно расположенных клетях). Прокатываемая штука поступает в одном направлении *без поворотов и возвратов*. Расстояние между клетями в зависимости от величины и характера прокатываемого профиля колеблется в пределах от 1 до 3\*.

Для соблюдения непрерывности прокатки необходимо, чтобы *количество металла, проходящего через каждую клеть в ту же единицу времени было одинаково*. Несоблюдение этого правила приведет либо к образованию *излишка металла между клетями, либо недостатка его*. Условие постоянства пропускаемых объемов металла может быть выражено так:

$$q_n \cdot v_n'' = q_{n-1} \cdot v_{n-1}'' = V = \text{const}, \quad (1)$$

где  $q_n$  — поперечное сечение  $n$ -го калибра;

$v_n''$  — скорость выхода металла в  $n$ -ом калибре;

$V$  — объем металла, проходящий в единицу времени (1 секунду).

Несоблюдение этого условия в непрерывном стане может произойти либо вследствие неправильно выбранной скорости металла, либо вследствие неправильно выбранного сечения калибра. Прокатка связана с постепенным уменьшением поперечного сечения металла от калибра к калибру: следовательно, для соблюдения постоянства проходящего через каждую клеть объема металла необходимо *увеличение скорости прохождения металла* в каждой последующей клетке. Из выражения:

$$q_n \cdot v_n'' = V = \text{const}$$

следует, что

$$q_n = \frac{V}{v_n''} \quad \text{и} \quad v_n'' = \frac{V}{q_n}, \quad (2)$$

т. е. произвольно можно изменить только одну величину: сечение или скорость; вторая величина из выражения (2) получается строго определенной. Скорость выхода металла из первой клетки равна:

$$v_1'' = v_1' \cdot \mu_1, \quad (3)$$

где  $v_1'$  — скорость заднего конца металла, поступающего в 1-й калибр;

$v_1''$  — скорость переднего конца металла, выходящего из 1-го калибра;

$\mu_1$  — коэффициент вытяжки металла в 1 калибре.

Скорость выхода металла из второй клетки:

$$v_2'' = v_1'' \cdot \mu_2 = v_1' \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \dots$$

Скорость выхода металла из предпоследней и последней клетей:

$$v_{n-1}'' = v_{n-2}'' \cdot \mu_{n-1} = v_1' \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \dots \mu_{n-1};$$

$$v_n'' = v_{n-1}'' \cdot \mu_n = v_1' \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \dots \mu_{n-1} \cdot \mu_n.$$

Отсюда не трудно определить скорости металла в клетях, если задаться коэффициентом вытяжки. Необходимо учесть, что скорость выхода металла из валков *не совпадает с окружной скоростью валков вследствие опережения при прокатке*, т. е.

$$v'' = v_1 \cdot \chi, \quad (4)$$

\* Допускаются и большие расстояния.

где  $v$  — окружная скорость валков,

$x$  — коэффициент опережения металла.

Поэтому для определения необходимого числа оборотов валков в клетях следует пользоваться выражением:

$$n = \frac{v \cdot x \cdot 60}{\pi \cdot D_{к1}}, \quad (5)$$

где  $n$  — число оборотов валков в минуту,

$D_{к1}$  — катающий диаметр в калибре.

Отношение чисел оборотов равно:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1 \cdot x_1 \cdot 60 \cdot \pi \cdot D_{к2}}{\pi \cdot D_{к1} \cdot v_2 \cdot x_2 \cdot 60} = \frac{v_1 \cdot x_1 \cdot D_{к2}}{v_2 \cdot x_2 \cdot D_{к1}},$$

или в общем виде

$$\frac{n_{n-1}}{n_n} = \frac{v_{n-1} \cdot x_{n-1} \cdot D_{кn}}{v_n \cdot x_n \cdot D_{кn-1}}. \quad (6)$$

При равенстве катающих диаметров имеем:

$$\frac{n_{n-1}}{n_n} = \frac{v_{n-1} \cdot x_{n-1}}{v_n \cdot x_n}. \quad (7)$$

Из этого выражения видим, что для подбора числа оборотов валков важно отношение коэффициентов опережения  $\frac{x_{n-1}}{x_n}$ , а не абсолютные их значения. Поэтому при сравнительно близких по величине коэффициентах вытяжки коэффициенты опережения также близки между собою, величина  $\frac{x_{n-1}}{x_n} \cong 1$  и формулы (6) и (7) упрощаются:

$$\frac{n_{n-1}}{n_n} = \frac{v_{n-1} \cdot D_{кn}}{v_n \cdot D_{кn-1}}; \quad (8)$$

$$\frac{n_{n-1}}{n_n} = \frac{v_{n-1}}{v_n}. \quad (9)$$

При калибровке непрерывных станов последнюю необходимо *строго увязывать с окружной скоростью валков в калибрах*. Несоответствие окружных скоростей скорости металла, требуемой согласно сечению, приведет либо к *накоплению металла между клетями*, т. е. к образованию *петли*, либо к *нехватке металла между клетями*, т. е. к образованию *натяжения* между ними. Образование петли недопустимо при прокатке крупных сечений, например, заготовок в непрерывно-заготовочных станах, так как это поведет к расстройству линеек, проводок и др. проводящих деталей стана, а также к созданию больших *распирающих усилий* между клетями из-за массивности изгибаемого в петлю сечения. С другой стороны, натяжение металла ведет к созданию больших *натягивающих усилий* между клетями, к *искажению профиля металла* благодаря его растяжению и созданию больших ударов в передаче стана, ибо валки *натягиваемых* клеток вращаются *не от своей передачи*, а от натяжения. Сложность работы непрерывного стана и заключается в трудности его настройки с отсутствием петель и натяжений. Практически же добиться такой идеальной настройки стана невозможно. Многообразие факторов, влияющих на деформацию металла при прокатке и прежде всего на опережение, попятное движение и связанное с ними уширение (глава I) не дает возможности путем расчета точно установить коэффициенты опережения в клетях, а, следовательно, нельзя вполне точно определить скорости

металла в клетях. Поэтому калибровка должна дать сочетание скоростей металла и поперечного сечения калибров с достаточной степенью гибкости.

Дальнейшая задача ложится на *настройку и регулировку валков*. Изменяя в допустимых с точки зрения получения профиля пределах высоты калибров, можно добиться, чтобы для всех клетей было соблюдено равенство:

$$v_1^n \cdot q_1 = v_2^n \cdot q_2 = v_3^n \cdot q_3 = \dots = v_{n-1}^n \cdot q_{n-1} = v_n^n \cdot q_n = V.$$

Если, например, образуется петля, то следует несколько *раздвинуть* (отпустить) *валки в принимающей клетке*, чтобы *увеличить выходящее из нее сечение или сдвинуть* (нажать) *валки в подающей клетке*, чтобы *уменьшить выпускаемое из нее сечение, а значит и объем*. Указанная регулировка двух соседних клетей не может, однако, не повлечь за собой последствий для остальных клетей, связанных с ними одновременно находящейся штукой в валках. Если раздвинуть валки в принимающей клетке, то через нее пройдет больший объем металла и для устранения возникшего натяжения в предшествующих рассматриваемых клетях потребует соответствующая регулировка пока не будут *отрегулированы все связанные между собою прокатываемой штукой клетки*.

С другой стороны, если сдвинуть валки в подающей клетке, уменьшится выходящий из нее объем металла и образуется петля в предыдущих клетях,—следовательно, потребует также регулировка и т. д. Отсюда приходим к выводу, что *изменение настройки одной клетки неизбежно влечет за собой перестройку всех находящихся в одном комплекте (группе) связанных клетей непрерывного стана*.

В виду того, что достигнуть в непрерывном стане совершенно точной настройки практически невозможно, последнюю держат в зависимости от прокатываемого профиля или с *легким натяжением* или с *легким петлеванием*. При прокатке массивных профилей (заготовок), тонких и длинных изделий (проволоки), а также при малом расстоянии между клетями, когда петлевание невозможно, прокатку ведут, во избежание петлевания, с *легким натяжением* в 1—2% (т. е. с несовпадением скоростей металла и валков на 1—2%). Там же, где петлевание легко доступно и натяжение препятствует получению точного профиля (полосы, ленты) прокатку лучше вести с *легким петлеванием* металла.

По роду прокатываемой продукции непрерывные станы именуется заготовочными, полосопрокатными, проволочными и листопрокатными. В случае прокатки слитков или заготовок крупного начального сечения и небольшой длины одновременное нахождение слитка в нескольких или даже 2 клетях невозможно, и в таком случае клетки непрерывного стана расставляются на расстоянии, достаточном для *полной укладки прокатываемой штуки между ними*. Это имеет место в обжимных непрерывных группах<sup>1</sup>, в непрерывных блюмингах. Непрерывное расположение с одновременной прокаткой в нескольких клетях *не получило также применения для сортопрокатных станов*, катающих фасонные и точные по размерам профиля. Здесь недопустимо ни петлевание, ни натяжение, ибо и то и другое *портит прокатываемое изделие*. Поэтому в качестве сортопрокатных станов получили распространение так называемые *полунепрерывные станы*, в которых обжимная часть клетей располагается *непрерывно*, а черновые и чистовые клетки — *для периодической прокатки*<sup>2</sup> с независимостью каждого калибра.

<sup>1</sup> О типах непрерывных сказано в V главе.

<sup>2</sup> О полунепрерывных станах сказано в V главе.

## § 31. Калибровка непрерывно-заготовочного стана

В качестве примера произведем по упрощенному методу А. П. Чекарева калибровку непрерывно-заготовочного стана. Воспользуемся для этого данными о конструкции и работе типового непрерывно-заготовочного стана, устанавливаемого на новых наших заводах. Непрерывно-заготовочный стан состоит из 2 групп клетей, по 6 клетей в каждой группе. Такая группировка имеет целью получение из исходных блумсов 200 мм заготовок сечением от  $\square$  100 мм и до  $\square$  40 мм. Заготовки  $\square$  100 мм могут быть получены из  $\square$  200 мм в 6 клетях, поэтому целесообразно эти 6 клетей обособить в отдельную группу.

Во второй группе из 6 клетей заготовки  $\square$  100 мм возможно прокатать в заготовки до  $\square$  40 мм минимум. Каждая группа клетей обслуживается одним электромотором мощностью 5100 л. с. Число оборотов валков последней клетки первой группы — 27 об/мин., последней клетки второй группы 125 об/мин. Диаметр валков первой группы 610 мм, второй группы — 457 мм.

**Калибровка первой группы.** Калибровку будем вести с постоянным коэффициентом вытяжки. Делаем это из тех соображений, что необходимое, с точки зрения температуры прокатываемого металла, повышение вытяжки в первых по ходу прокатки калибрах, приведет к весьма большим обжатиям и углам захвата. Между тем, падение температуры при прокатке в непрерывном стане меньше, чем в стане периодической прокатки.

Определим величину среднего коэффициента вытяжки в клетях первой группы:

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[6]{\frac{200 \cdot 200}{100 \cdot 100}} = 1,26.$$

Учитывая крупные размеры прокатываемой штуки принимаем для уменьшения врезов валков и углов захвата *плоские калибры*, за исключением двух последних: квадрата и перед ним ромба.

Зная начальное и конечное сечение и коэффициент вытяжки, находим поперечные сечения всех калибров. Результаты калибровки по мере их получения заносим в таблицу 14.

Таблица 14

Калибровка первой группы непрерывно-заготовочного стана  $\varnothing$  610 мм.

Калибры	Коеф. вытяжки $\mu$	Попер. сечение $q$ (мм <sup>2</sup> )	Форма калибров	Уменьшение сечения $Q - q$ (мм <sup>2</sup> )		Расчетные калибры		Высота с учетом закругления $h_k$ (мм)	Кат. диам. $D_k$ (мм)	Обжатие $H - h$ (мм)	Угол захвата $\varphi^\circ$	Окруж. скор. $v$ (м/сек)	Число обор. $n$ (об/мин.)
				$Q$	$q$	$h$ (мм)	$b$ (мм)						
0	—	40 000	квадрат	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,26	31 700	плоск.	8300	154	206	—	0,456	46	26°	0,23	9,6	
2	"	25 200	"	6500	117	212	—	0,493	37	22°	0,29	11,2	
3	"	20 000	"	5200	162	123	—	0,448	50	27°30'	0,36	14,4	
4	"	15 900	"	4100	123	128	—	0,487	39	23°	0,46	18,0	
5	"	12 600	ромб	3300	141	178	126	0,515	52	26°	0,57	21,0	
6	"	10 000	ребр. квад.	2600	141	141	126	0,515	52	26°	0,72	27	

Для определения размеров плоских калибров по имеющимся сечениям рассуждаем следующим образом (фиг. 147):

$$Q_n - q_n = q_{n-1} - q_n = (H_n - h_n) \cdot B_n - h_n \cdot z_n.$$

Уширяющаяся площадка  $h_n \cdot z_n$  с достаточной для расчета приближенностью пропорциональна отжатой площадке  $(H_n - h_n) \cdot B_n$ , т. е.

$$h_n \cdot z_n = k_2 (H_n - h_n) \cdot B_n,$$

или

$$q_{n-1} - q_n = (H_n - h_n) \cdot B_n - k_2 (H_n - h_n) \cdot B_n = (H_n - h_n) \cdot B_n (1 - k_2); \quad (10)$$

отсюда

$$H_n - h_n = \frac{q_{n-1} - q_n}{B_n (1 - k_2)}. \quad (11)$$

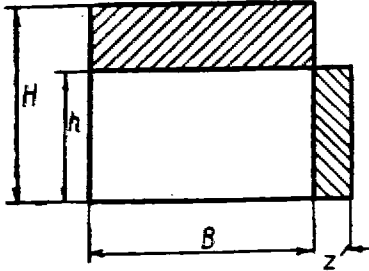
Что касается коэффициента уширения  $k_2$ , то, учитывая натяжение металла между клетями, он будет меньше, чем коэффициент уширения при прокатке без натяжения. Для толщин от 200 до 100 мм  $k_2$  практически можно принять в пределах от 0,12 до 0,15.

1. Для первого калибра имеем:

$$H_1 - h_1 = \frac{q_0 - q_1}{B_1 (1 - k_2)} = \frac{8300}{200 \cdot (1 - 0,12)} = 46 \text{ мм.}$$

$$z_1 = 0,12 \cdot 46 \cong 6 \text{ мм; } b_1 = B_1 + z_1 = 206 \text{ мм;}$$

$$h_1 = H_1 - 46 = 154 \text{ мм.}$$



Фиг. 147. Зависимость уширения от сбжатия.

Величины  $q_{n-1} - q_n$  заносим в таблицу. Найденные нами размеры 1 калибра 154 · 206 также заносим в таблицу.

Продолжая расчет аналогично предыдущему, получаем размеры последующих калибров

$$2. \quad H_2 - h_2 = \frac{6500}{206 \cdot (1 - 0,14)} = 37 \text{ мм;}$$

$$z_2 = 0,14 \cdot 37 \cong 6 \text{ мм, } b_2 = 212 \text{ мм; } h_2 = 154 - 37 = 117 \text{ мм.}$$

Необходимо кантование.

$$3. \quad H_3 - h_3 = \frac{5200}{117 \cdot (1 - 0,12)} = 50 \text{ мм; } z_3 = 0,12 \cdot 50 = 6 \text{ мм;}$$

$$b_3 = 117 + 6 = 123 \text{ мм; } h_3 = 212 - 50 = 162 \text{ мм,}$$

$$4. \quad H_4 - h_4 = \frac{4100}{123 \cdot (1 - 0,14)} = 39 \text{ мм; } z_4 = 0,14 \cdot 39 \cong 6 \text{ мм;}$$

$$b_4 = 123 + 6 = 129 \text{ мм; } h_4 = 162 - 39 = 123 \text{ мм.}$$

Получили близкое к квадрату сечение  $129 \times 123$  мм, или в среднем  $\square 126$  мм.

5. V калибр — ромб, в который 4-й квадрат задается на ребро. Диагонали IV калибра:  $126 \cdot 1,41 = 178$  мм.

Принимая во внимание малость уширения в ребровых квадратных и ромбических калибрах и учитывая натяжение металла между клетями, считаем что для помещения уширяющегося в валках металла *достаточно места, оставляемое закруглениями (притуплениями) вершин калибров.* Поэтому расчетно большая диагональ ромба равна диагонали квадрата, т. е. 178 мм. Тогда его меньшая диагональ равна:

$$h_5 = \frac{12600 \cdot 2}{178} = 141 \text{ мм.}$$

6. Диагонали VI квадратного калибра также равны 141 мм, а сторона его равна  $\frac{141}{14,1} = 100$  мм, что и требовалось.

Закругления в углах (VI и V калибры) принимаем из расчета 1—1,5 мм на каждые 10 мм стороны квадрата. В таблицу заносим высоты калибров  $h_0$  с учетом закруглений. Определяем катающий диаметр, если средний диаметр валков равен  $D_0 = 610$  мм

$$D_k = D_0 - h \text{ — для прямоугольных калибров,}$$

$$D_k = D_0 - \frac{2}{3} h \text{ — для ромбических и квадратных калибров.}$$

При этом принято, что калибры полностью врезаются в валки. Возможен, однако, и неполный врез первых плоских калибров, тогда  $D_k$  будет больше, а углы захвата меньше. Но и при нашей калибровке углы захвата, определенные из формулы  $\cos \varphi = 1 - \frac{H - h_k}{D_k}$ , не превышают  $27^\circ 30'$ , что допустимо. Характерно, что в последних двух калибрах, в виду их ребрового расположения, углы захвата повысились. Сделать ребровое расположение всех калибров (система квадрат-ромб) при таких крупных размерах было бы невозможно.

Далее, принимая коэффициенты опережения одинаковыми во всех калибрах<sup>1</sup>, определим скорости прокатки и числа оборотов валков. По проекту стана предусмотрено 27 об/мин. для шестой клетки, что соответствует окружной скорости валков.

$$v_6 = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,515 \cdot 27}{60} = 0,72 \text{ м/сек.}$$

Скорости по окружности калибров в последующих клетях определяются из следующих выражений:

$$v_5 = \frac{v_6}{\mu_6} = \frac{0,72}{1,26} = 0,57 \text{ м/сек;}$$

$$v_4 = \frac{0,57}{1,26} = 0,46 \text{ м/сек; } v_3 = \frac{0,46}{1,26} = 0,36 \text{ м/сек; } v_2 = \frac{0,36}{1,26} = 0,29 \text{ м/сек;}$$

$v_1 = \frac{0,29}{1,26} = 0,23 \text{ м/сек;}$  скорость поступающего в первую клетку заднего конца полосы равны  $v_1' = \frac{0,23}{1,26} x_1 = 0,18 x_1 \text{ м/сек}^*$ .

Числа оборотов в клетях определяются из следующего выражения:

$$n_n = \frac{v_n \cdot 60}{\pi \cdot D_{kn}}$$

Например,

$$n_6 = \frac{v_6 \cdot 60}{\pi \cdot D_{k_6}} = \frac{0,72 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,515} = 21,0 \text{ об/мин.}$$

и т. д. (см. таблицу 14).

**Калибровка второй группы.** Во второй группе, имеющей 6 клетей, средний коэффициент вытяжки равен  $\mu_{p,6} = \sqrt[6]{\frac{100 \cdot 100}{40 \cdot 40}} = 1,36$ . Примем

<sup>1</sup> В виду равенства коэффициентов вытяжек.

\* Коэффициент опережения  $x$  для нашего случая можно принимать ориентировочно в пределах 1,02÷1,05.

так же прокатку с одинаковыми коэффициентами вытяжки и определим поперечное сечение всех калибров. Результаты калибровки заносим в табл. 15. Калибровку ведем в системе ромб-квадрат, которая здесь наиболее удобна. Квадратными калибрами будут 2-й, 4-й и 6-й, остальные — ромбы.

Таблица 15

Калибровка второй группы непрерывно-заготовочного стана  $\varnothing$  457 мм

Калибры	Коэффициент вытяжки $\mu$	Поперечное сечение $q$ (мм <sup>2</sup> )	Форма калибров	Сторона квадрата $c$ (мм)	Размеры калибров		Высота с учетом учета закруг. $h_k$ (мм)	Обжатие $H-h$ (мм)	Кат. диам. $D_k$ (мм)	Углы захв. $\varphi^\circ$	Окруж. скор. $v$ (м/сек.)	Число оборот $n$ (об/мин.)
					$h$ (мм)	$b$ (мм)						
0	—	10 000	квадрат	100	141	141	126	—	—	—	—	—
1	1,36	7 350	ромб		104	141	93	33	0,387	24	0,57	29
2	1,36	5 400	квадрат	73,5	104	104	93	48	0,387	29	0,80	40
3	1,36	3 970	ромб		76	104	68	36	0,406	25	1,09	51
4	1,36	2 910	квадрат	54	76	76	68	36	0,409	24	1,49	70
5	1,36	2 160	ромб		56,5	76	50	26	0,420	20	2,02	92
6	1,36	1 600	квадрат	40	56,5	56,5	50	26	0,420	20	2,75	125

Определим стороны квадратов по их площадям:  $c = \sqrt{q}$ . По сторонам найдем расчетные диагонали квадратов:  $h = b = c \cdot 1,41$ . Ввиду малости уширения в калибрах ромб-квадрат вообще, а тем более в непрерывном стане с натяжением металла, на уширение принимаем лишь места притуплений в вершинах предыдущих калибров

$$b_p = h_k \text{ и } h_p = \frac{2 \cdot q_p}{b_p},$$

где  $b_p$  и  $h_p$  — горизонтальная и вертикальная диагонали ромба.

Притупления углов при вершинах калибров аналогично предыдущему делаем по правилу 1—1,5 мм на каждые 10 мм стороны квадрата, а для ромба по ближайшему меньшему квадрату. Заносим в таблицу обжатие  $H-h$ , катающие диаметры  $D_k$  и углы захвата  $\varphi^\circ$ , определенные так же, как и при калибровке первой группы. Максимальный угол захвата  $29^\circ$  обнаружен во 2-ой клетке (II калибре). Для непрерывного стана с меньшими углами захвата в соседних клетках ( $24^\circ$ ) угол  $29^\circ$  является допустимым.

По проекту стана предусмотрено 125 об/мин. для последней клетки. Это соответствует окружной скорости VI калибра:

$$v_6 = \frac{\pi \cdot D_{k6} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,420 \cdot 125}{60} = 2,75 \text{ м/сек.}$$

Скорость в предыдущих калибрах определяется последовательно:

$$v_5 = \frac{v_6}{\mu_6} = \frac{2,75}{1,36} = 2,02 \text{ м/сек};$$

$$v_4 = \frac{2,02}{1,36} = 1,49 \text{ м/сек и т. д.}$$

Число оборотов валков (см. таблицу 15) определяется из выражения:

$$n_n = \frac{v_n \cdot 60}{\pi \cdot D_{kn}}$$

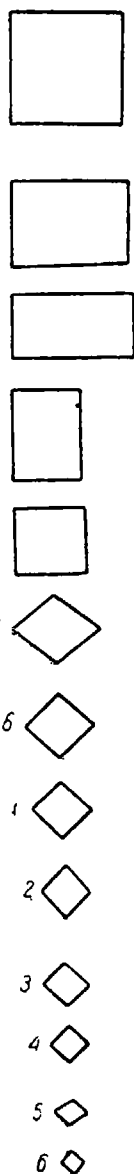
На этом заканчиваем расчет калибровки. В дальнейшем необходимо по полученным размерам калибров *изобразить эскизы валков*. На фиг. 148 представлена схема прокатки в первой и во второй группах. Нами принята была калибровка с постоянным коэффициентом вытяжки. Нетрудно убедиться, что аналогичным образом может быть выполнена калибровка с изменяющимися коэффициентами вытяжки. Для непрерывно-заготовочных станов может быть применена и другая система калибровки, например, система квадрат-овал или овал-круг.

Калибровка непрерывных полосопрокатных и листопрокатных станов в принципе не отличается от описанной.

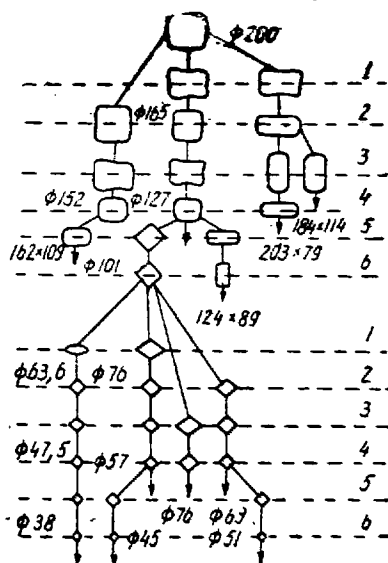
Как видно из фиг. 149, в валках непрерывного стана предусматривается несколько рядов калибров для прокатки разных сечений. Если все клетки непрерывного стана имеют привод от общего мотора, то в виду неизменности относительного числа оборотов, относительные скорости в валках также *не могут быть изменены*. Если увеличить число оборотов и скорость выхода металла из последней клетки, то число оборотов и скорости во всех клетях *увеличатся во столько же раз, во сколько и в последней клетке*. Относительные скорости прокатки и коэффициенты вытяжки *изменены быть не могут*. Поэтому, исходя из одного и того же начального сечения, можно получить *всегда одинаковое* или почти одинаковое (в зависимости от величин катающих диаметров) конечное сечение металла. Для получения же другого конечного сечения необходимо или *взять другое начальное сечение* или закончить прокатку *не в последней клетке, а ранее, или же начать прокатку не в первой клетке, а в одной из последующих*. Изображенная на фиг. 149 схема дает полное представление о том, какими комбинациями возможно добиться *необходимого разнообразия сортамента, прокатываемого в непрерывном стане*<sup>1</sup>.

Основной недостаток непрерывного стана — трудность избежать натяжения или петлевания металла — весьма осложняет применение непрерывности к прокатке изделий, требующих точного сечения, и фасонных изделий.

Высокая производительность непрерывных станов привела к употреблению их в качестве станов для массовой прокатки изделий, не требующих точного сечения, например, заготовок, проволоки, идущей в дальнейшем на протяжку, а также в качестве тонколистовых станов.



Фиг. 148 Схема прокатки в I и II непрерывно-заготовочных группах.



Фиг. 149. Эскиз валков непрерывного стана.

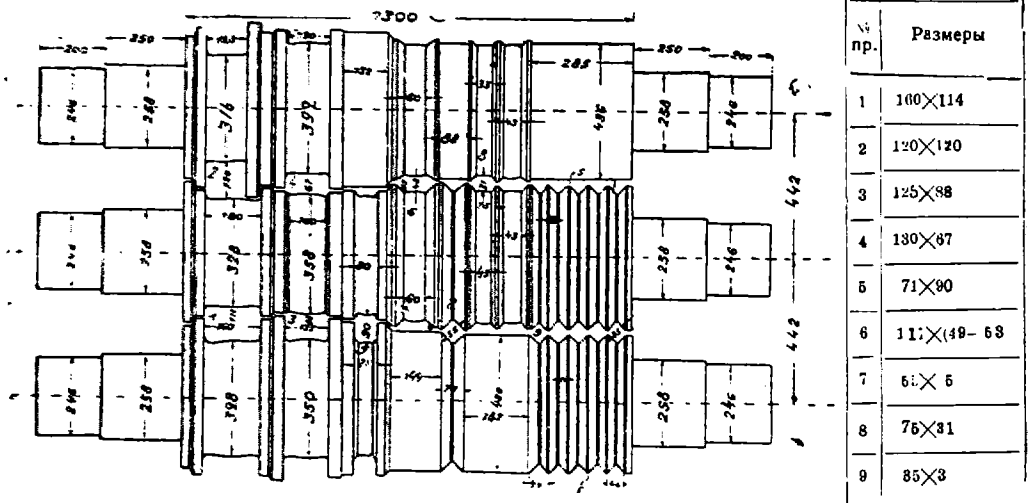
<sup>1</sup> Приведенные нами примеры упрощенной калибровки не исчерпывают вопроса о калибровке всего сортамента непрерывных станов. Этот вопрос теоретически еще мало разработан.



## § 32. Калибровка обжимных клетей трио

Введением мощных по производительности непрерывно-заготовочных станов на новых заводах *полностью разрешен вопрос о снабжении отделочных станов (среднесортных, мелкосортных, проволочных) заготовками соответствующего сечения.* На старых действующих заводах роль заготовочного стана выполняет находящаяся обычно при самом отделочном стане *обжимная клетя трио*, в которой производится от 5 до 9, иногда 11 пропусков.

*Калибровка в трио имеет свои особенности.* На фиг. 150 приведен эскиз валков обжимной клетки трио проволочного стана одного из наших



Фиг. 150. Эскиз валков обжимного трио проволочного стана.

заводов; в таблице 16 дана калибровка. Необходимость поместить в одном трио 9 калибров заставила максимально использовать полотно валков. *Средний валок должен одновременно соответствовать верхнему и нижнему валкам*, поэтому при больших затруднениях в размещении ручьев на полотне среднего валка, полотно верхнего и нижнего валков не полностью используются. Если все калибры сделать независимыми, т. е. не лежащими друг над другом (например, 1 и 2, 3 и 4), то увеличится необходимая длина полотна валков, предел чему ставит их прочность и конструкция клетки. Во избежание этого некоторые калибры располагают „сопряженно“, т. е. друг над другом так, что *ручей среднего валка одновременно составляет нижнюю часть верхнего и верхнюю часть нижнего калибров.* Сопряжение возможно лишь для калибров подходящей друг к другу формы и размеров, следующих друг за другом в порядке последовательности, например: 1 и 2, 3 и 4. Сопрягать имеющие разную форму и размеры калибры 5 и 6, 7 и 8 не представляется возможным, поэтому эти калибры делаются *несопряженными*. При сопряжении двух калибров длина полотна (бочки) рассматриваемых валков укорачивается на ширину калибра с ребордами. Полотно среднего валка использовано полностью, на полотне же верхнего и нижнего валков остаются неиспользованные места. На эскизе нанесено 5 последних 9-ых калибров и 2 предпоследних 8-ых. Это сделано для смены более всего изнашивающихся при работе последних калибров. От наиболее изнашиваемых последних калибров требуется вместе с тем и наиболее точные размеры выходящей штуки.

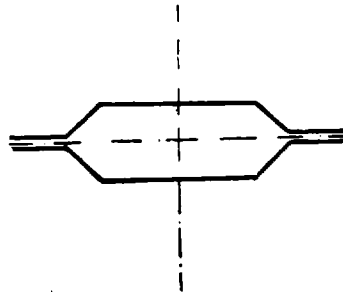
Что касается формы калибров, применяемых в обжимных трио, то первые—наибольших размеров—являются *плоскими*, в дальнейшем делается

Калибровка обжимного трио

№ калиб- лов	Форма калибров	Размеры калибров		Обжатие $H-h$ (мм)	Ушире- ние $Z$ (мм)	Сечение калиб- ров $q$ (мм <sup>2</sup> )	Коеф. вытяжки $\mu$	Угол захвата $\varphi^\circ$
		$h$ (мм)	$b$ (мм)					
0	квадрат	150	150	исходный слиток				
1	прямоугольник	114	155	36	5	16 400		27
2	"	118	122	37	8	14 240	1,15	27
3	"	88,5	126,5	33,5	8,5	11 050	1,29	25
4	"	67	130	21,5	3,5	8 400	1,32	19
5	"	94,5	74	35,5	7	6 820	1,23	26
6	овал	48	115	26	20,5	4 660	1,47	21
7	квадрат	70	76	45	28	3 150	1,48	28
8	овал	31	77,5	25	21,5	2 000	1,57	20
9	квадрат	43	43	34,5	12	1 150	1,74	23

переход к обладающей большой вытяжкой системе *квадрат-овал*. Овальные калибры для облегчения захвата и создания более энергичной вытяжки в квадрате имеют форму *плоского шестигранника* (фиг. 151).

Как видно из таблицы 16, в рассматриваемом обжимном трио при сравнительно небольшом диаметре валков (450/440) достигаются значительные вытяжки, до 1,6—1,7. Назначением обжимных клетей является быстрее получение заготовки из слитка при наиболее благоприятном



Фиг. 151. Плоский шестигранный калибр.

температурном режиме прокатки. Поэтому в обжимных клетях калибровка, как правило, должна быть произведена при максимально допустимых углах захвата, каковыми можно считать 27—29° при скоростях не выше 3 м/сек.

На фиг. 152 приведен эскиз валков обжимного трио крупносортового стана  $D_0=1120/1100$  с прямоугольными калибрами. Размеры калибров, начальное и конечное сечение здесь больше, чем для обжимной клетки проволочного стана. Приведенный набор калибров позволяет, меняя их последовательность, получить все разнообразие требующихся для черновых клетей стана заготовок.

Рассмотрение размеров катающих диаметров в калибрах (фиг. 150 и 152) приводит к выводу, что имеет место верхнее или нижнее давление, размер которого не превышает нормальных 5 мм для несопряженных калибров и достигает значительных величин—25—30 мм для сопряженных калибров. Нетрудно убедиться, что давление в сопряженных

594	77	5	499	5	594
374	225	1	387	1	374
174	171	144	141	144	446
594	75	6	497	6	606
357	150	174	172	174	403
189	189	2	368	2	
594	70	6	447	6	550
418	185	119	453	3	450
573	70	6	518	6	585
573	70	6	518	6	585
393	185	149	418	4	485
583	70	6	508	6	595
151	125	135	414	5	437
583	72	6	508	6	655
569	72	6	522	6	581
124	191	89	447	6	450
121	414	86	447	6	
569	72	6	522	6	581
413	95	99	446	7	475
124	70	97	531	6	522
569	70	6	528	6	522
569	70	6	531	6	522
499	104	85	482	8	403
499	104	81	482	8	
550	70	6	531	6	522
550	70	6	531	6	522
458	81	85	485	6	500
458	81	85	485	6	500
550	75	5	533	5	522

Фиг. 152. Эскиз валков обжимного трио крупносортного стана.

калибрах не может быть уменьшено. В самом деле, если в III калибре давление будет равно 5 мм (фиг. 152), то при тех же размерах калибров в 3 калибре давление достигает 67 мм. Можно уменьшить давление в 3 калибре до 5 мм, но тогда увеличится давление в III калибре. Это обстоятельство обуславливается разными высотами III и 3 калибров. *Чем больше разность высот последовательных в порядке прокатки сопряженных калибров, тем больше величина давления.* Поэтому энергичная калибровка создает неблагоприятные условия в смысле величин катающих диаметров, что влечет за собой увеличение напряжений в металле при прокатке и больший расход энергии. Калибровщику здесь необходимо выбирать; при прокатке мягкого металла обычно идут по пути увеличения *вытяжек в обжимных клетях, так как увеличение производительности стана окупает вызываемые этим неудобства. Высокая температура металла благоприятствует выравниванию возникающих внутренних напряжений.*

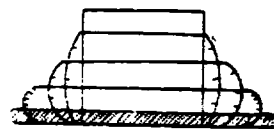
Как ясно из изложенного, размещение калибров в дуо может быть сделано с *любым давлением*, поэтому здесь этот фактор не играет роли при калибровке. Применяемое же обычно верхнее давление до 5—10 мм имеет целью направить выходящую из валков штуку в определенную сторону и освободить противоположную сторону калибра от проводок.

### § 33. Прокатка полосового железа

*Полосой называют изделие прямоугольного поперечного сечения, ширина которого более или менее значительно превышает толщину.* Полосовое железо имеет чрезвычайно широкое применение в промышленности, транспорте и сельском хозяйстве. Полосовое железо *иногда еще по своему назначению*, например: шинное (для шин), обручное (для обручей), гаечное (для изготовления гаек), штрипсовое, сутуночное и др.

Вследствие разнообразия своего применения и своей простой формы, допускающей легкую прокатку полос с разной толщиной и шириной, сортамент полосового железа весьма широк. Согласно ОСТ наиболее тонкое — обручное — железо имеет минимальную толщину 0,9 мм при минимальной ширине 12 мм. Толщина меняется до 1,9 мм через 0,2 мм, до 2,5 мм. через 0,3 мм и до 3,5 мм через 0,5 мм. Толще 3,5 мм обручное железо не катают. Изменение ширины таково: от 12 до 25 мм через 2—4 мм, от 25 до 75 мм через 5 мм и от 70 до 100 мм через 10 мм. При этом наиболее тонкое обручное железо не достигает ширины 100 мм, а только 40—70 мм. Шинное железо имеет 4 толщины: 5, 6, 8 и 10 мм; ширина от 40 до 65 мм изменяется через 5 мм. Полосовое железо для разных других назначений прокатывают толщиной от 4 до 60 мм, при ширине от 12 до 200 мм. При этом тонкие полосы не имеют предельных ширин. Толщина изменяется от 4 до 8 мм через 1 мм, от 8 до 22 мм, через 2 мм, от 25 до 40 мм через 5 мм и от 40 до 60 мм через 10 мм. Ширина изменяется от 12 до 22 мм через 2 мм, от 25 до 80 мм через 5 мм, от 80 до 160 мм через 10 мм, от 160 до 200 мм через 20 мм. Полосы с шириною более 200 мм прокатываются в специальных станах с гладкими валками, носящими название универсальных, о которых сказано в V главе.

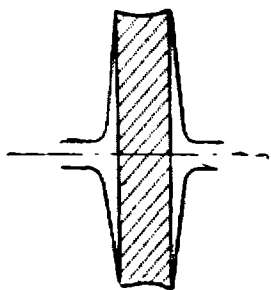
Прокатка полосы наиболее просто может быть произведена в *гладких валках с постепенным доведением толщины исходной заготовки до требуемой толщины полосы* (фиг. 153). При такой прокатке с обжатиями в одном направлении ковые грани полосы благодаря уширению сильно округляются; прокатанная же полоса должна иметь достаточно острые кромки. Для получения таковых в предпоследнем пропуске производят



Фиг. 153. Прокатка полосы в гладких валках без катования.

обжатие полосы не плашмя, а *на ребро* и этим сравнивают полученную за предыдущие пропуски округленность граней. В последнем пропуске плашмя дают небольшое обжатие, чтобы оно вновь не вызвало закругления углов. Ребровой пропуски позволяют также *регулировать ширину полосы*, прокатываемой в гладких валках (фиг. 154).

Обжатие в предпоследнем ребровом пропуске не должно быть большим, ибо тонкая полоса, поставленная на ребро, при большом обжатии согнется, и кромки не выровняются. Чем тоньше и шире полоса, тем осторожнее должно быть обжатие в ребровом пропуске. Вместе с тем широкие полосы, для прокатки которых нужно взять большие размеры исходной заготовки, благодаря большому обжатию от заготовки до конечной полосы, дают очень округленные боковые грани, и тем большее обжатие для выравнивания кромок требуется в ребровом пропуске. Вот почему *широкие полосы затруднительно катать с применением ребрового пропуски*, а для выравнивания кромок и придания точной ширины прокатку лучше вести в плоских калибрах, врезанных в валки. Практически найдено, что шире 60 мм полосы лучше катать в калибрах. Полосы уже 60 мм всегда прокатываются в гладких валках с ребровым пропуском, что особенно удобно при широком сортаменте.



Фиг. 154. Прокатка в регулирующем ширину ребровом калибре.

Калибровка полосового железа производится на основе принципов, установленных Жезом. При прокатке полосы без кантования ширина последней будет больше ширины исходной заготовки на величину *уширения, полученного за все пропуски*. Так как уширение создается не за один, а за несколько пропусков, то задача заключается в установлении среднего за все пропуски коэффициента уширения. Примем следующие обозначения:

$X$  — сторона исходной квадратной заготовки;

$h_0$  — толщина полосы в горячем виде по выходе из последнего пропуски

$b_0$  — ширина полосы в горячем виде по выходе из последнего пропуски;

$k_{cp}$  — средний коэффициент уширения за все пропуски.

Тогда

$$b_0 = X + (X - h_0) \cdot k_{cp},$$

откуда

$$b_0 = X + X \cdot k_{cp} - h_0 \cdot k_{cp}.$$

$$X = \frac{b_0 + h_0 \cdot k_{cp}}{1 + k_{cp}}.$$

В установлении  $k_{cp}$  встречаются следующие затруднения. Величина  $k_{cp}$  зависит как от величин  $k$  по отдельным пропускам, так и от числа этих пропусков и величин обжатия в них. Не зная же ни числа пропусков, ни величин обжатия, поскольку еще неизвестна исходная квадратная заготовка, нельзя точно установить  $k_{cp}$ . Из этих соображений приходится задаваться приближенной величиной  $k_{cp}$ , а затем двумя попытками найти действительную величину  $k_{cp}$ . При выборе приближенной величины  $k_{cp}$  следует иметь в виду, что уширение (§ 14) больше при тонких и узких полосах и меньше при толстых и широких полосах. При прокатке в калибрах уширение сдерживается, и оно меньше, чем при прокатке в гладких валках.

Найденный из вышеприведенной формулы размер стороны исходного квадрата дает возможность определить суммарное обжатие за все про-

пуска. Удобнее, однако, воспользоваться величиной не абсолютного, а относительного обжатия. Отношение

$$\frac{X}{h_0} = P$$

называют коэффициентом суммарного уменьшения высоты.

Если обозначить,  $H_1, H_2, H_3, \dots$  — задаваемые высоты в соответствующих пропусках и  $h_1, h_2, h_3, \dots$  — выходящие высоты в соответствующих пропусках, то

$$H_2 = h_1; \quad H_3 = h_2; \quad H_4 = h_3, \dots$$

$$H_1 = X; \quad h_n = h_0.$$

$$\frac{H_1}{h_1} = \frac{H_1}{H_2} = p_1; \quad \frac{H_2}{h_2} = \frac{H_2}{H_3} = p_2; \quad \frac{H_3}{h_3} = p_3, \dots$$

Величины  $p_1, p_2, p_3, \dots$  — коэффициенты уменьшения высоты в соответствующих пропусках и

$$\frac{H_1}{h_1} \cdot \frac{H_2}{h_2} \cdot \frac{H_3}{h_3} \dots \frac{H_{n-1}}{h_{n-1}} \cdot \frac{H_n}{h_n} = \frac{H_1}{h_n} = \frac{X}{h_0} = P$$

или

$$p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_{n-1} \cdot p_n = P.$$

Чем больше величина  $P$ , тем больше число пропусков необходимо. С другой стороны, число пропусков зависит от величин  $p_1, p_2, p_3, \dots$ . Для выбора коэффициентов  $p_1, p_2, p_3, \dots$  можно рекомендовать нижеприводимую таблицу 17, составленную по хорошо оправдавшему себя на практике калибровкам. Так как расчет калибровки производится против хода прокатки, то № 1 соответствует последнему пропуску. При прокатке с весьма энергичным режимом работы следует брать большие коэффициенты  $p_1, p_2, p_3, \dots$ , что соответствует меньшему числу пропусков.

Весьма энергичный режим может быть принят при высоко нагретом мягком металле хорошего качества, который не вызывает опасений в отношении появления трещин, при прочной конструкции стана и достаточно мощном двигателе. Энергичный режим работы, соответствующий выше-средним по величине коэффициентам уменьшения высот, должен быть принят при соответственно выше-средних условиях работы, мягком и средней твердости металле. Третий ряд коэффициентов соответствует среднему режиму работы, т. е. средним величинам относительных обжатий, которые следует принимать при прокатке невысоко нагретого или низкого по качеству мягкого металла, при прокатке металла средней твердости, при недостаточно прочной конструкции стана и слабом двигателе и т. п. Что касается четвертого ряда коэффициентов, соответствующего слабому режиму обжатий, то их следует принимать при прокатке твердого металла, специальных и легированных сталей, требующих осторожных обжатий.

Общим для всех рядов коэффициентов является постепенное их повышение, но не выше известного предела с целью устранения чрезмерно больших абсолютных обжатий в первых по ходу прокатки пропусках, что ведет к большим углам захвата и большим усилиям, действующим на валки.

Для удобства пользования таблицей, во второй графе проставлены соответствующие данной строке суммарные коэффициенты  $P$ . Могут быть приняты и промежуточные, а иногда и выходящие из пределов величин таблиц коэффициенты, если этого требуют конкретные условия стана, для которого производится калибровка. Коэффициенты уменьшения высот дают возможность определить толщину полосы в каждом пропуске, и далее величину обжатия, величину уширения, ширину полосы и другие величины для калибровки.

Коэффициенты уменьшения высот при прокатке полос<sup>1</sup>

№ прохода	1 ряд Весьма энерг. режим		2 ряд Энергичный режим		3 ряд Средний режим		4 ряд Слабый режим	
	Кэф. $p$	Кэф. $P$	Кэф. $p$	Кэф. $P$	Кэф. $p$	Кэф. $P$	Кэф. $p$	Кэф. $P$
1	1,40	1,40	1,30	1,30	1,25	1,25	1,15	1,15
2	1,60	2,24	1,50	1,95	1,40	1,75	1,20	1,38
3	1,80	4,03	1,70	3,31	1,50	2,63	1,25	1,72
4	2,00	8,06	1,80	5,98	1,60	4,20	1,30	2,24
5	2,00	16,12	1,80	10,78	1,60	6,72	1,30	2,90
6	2,00	32,24	1,80	19,40	1,60	10,75	1,30	3,78
7			1,80	34,80	1,60	17,20	1,30	4,92
8					1,60	27,50	1,30	6,75
9							1,30	8,30

### § 34. Калибровка широких полос

Приведем пример расчета калибровки полосы  $b \times h = 100 \times 10$  мм. Эту полосу следует катать в калиброванных валках. Указанные размеры ее относятся к холодному состоянию. Для получения горячих размеров указанные цифры нужно умножить на термический коэффициент расширения, от 1,012 до 1,015 в зависимости от температуры конца прокатки, которая будет ниже при тонких полосах и выше при толстых. Имея среднюю толщину, примем термический коэффициент равным 1,014.

Горячие размеры полосы:  $b_0 = 100 \cdot 1,014 = 101,4$  мм,  $h_0 = 10 \cdot 1,014 = 10,14$  мм. Что касается высоты последнего калибра, то ее считают обычно по толщине полосы в холодном виде, добиваясь получения нужной толщины полосы в горячем виде регулировкой валков помощью нажимных винтов. Лишь при весьма толстых полосах учитывается термическое увеличение толщины полосы. Таким образом расчетные размеры чистового калибра (первого по ходу прокатки) равны  $b_1 = 101,4$  мм,  $h_1 = 10$  мм, размеры выходящей полосы:  $b_0 = 101,4$  мм,  $h_0 = 10,14$  мм.

Далее переходим к определению размера стороны исходного квадрата. Прокатка полосы начинается с квадратной заготовки. Для мелких полос квадратные заготовки могут быть получены в обжимной клетке того же стана, или в современных прокатных цехах — в непрерывно заготовочных станах. Для прокатки широких полос можно подобрать заготовки из обжимной клетки либо же воспользоваться блумсами или заготовками из непрерывно-заготовочного стана. Заготовки мелкого сечения обычно получают в квадратных ребровых калибрах ввиду больших удобств такой прокатки. Крупные заготовки также обычно получают квадратными, хотя возможно получение и прямоугольных сечений. Из этих соображений при калибровке полосового железа в качестве исходного сечения берут квадратное.

Для определения размеров исходного квадрата необходимо задаться приближенным средним коэффициентом уширения  $k_{ср}$ . При прокатке в гладких валках со свободным уширением можно приближенно принимать:

<sup>1</sup> Таблица составлена А. П. Чекаревым на основании изучения хорошо работающих заводских калибровок.

для тонких и узких полос  $k_{cp}$  от 0,60 до 0,75,  
 для толстых и широких полос  $k_p$  от 0,30 до 0,45,  
 для полос средних по толщине и ширине  $k_{cp}$  от 0,45 до 0,60.

При прокатке в калибрах уширение меньше вследствие сдерживающего действия боковых стенок калибра, с целью получения требуемой ширины полосы. Применение весьма тесных калибров, однако, не допускается, чтобы металл из-за переполнения калибра не давал заусенок и не заземлялся в калибре, затрудняя выпуск его из валков. Практически найдено, что наилучшая прокатка достигается в калибрах, ширина которых рассчитана с учетом лишь 40—45% от нормального при данных условиях уширения в гладких валках<sup>1</sup>. Поэтому в качестве величин  $k_{cp}$  при прокатке полос в калибрах следует принимать следующие:

для тонких и узких полос  $k_{cp}$  от 0,28 до 0,35,  
 для толстых и широких полос  $k_{cp}$  от 0,15 до 0,20,  
 для полос средних по толщине и ширине  $k_{cp}$  от 0,20 до 0,25.

В нашем примере принимаем  $k_{cp}$  равным 0,22. Сторона исходного квадрата

$$X = \frac{b_0 + k_{cp} h_0}{1 + k_{cp}} = \frac{101,4 + 0,22 \cdot 10,14}{1 + 0,22} = \frac{101,4 + 2,2}{1,22} = \frac{103,6}{1,22} = 85 \text{ мм.}$$

Суммарный коэффициент уменьшения высоты:

$$P = \frac{85}{10,14} = 8,40.$$

Выбираем „средний режим прокатки“. По таблице 17 в 3-м ряду коэффициентов находим ближайший суммарный коэффициент, 6,72 соответствующий 5 пропускам. Этому суммарному коэффициенту соответствует следующий ряд коэффициентов по отдельным пропускам: 1,25; 1,40; 1,50; 1,60; 1,60. В случае, если требовалось бы четное число пропусков, следовало бы остановиться на 6 пропусках. Для получения ряда коэффициентов, произведение которых дает 8,40, определяем поправочный коэффициент из следующего выражения:

$$K = \sqrt[5]{\frac{8,40}{6,72}} = \sqrt[5]{1,25} = 1,045.$$

Умножая ряд коэффициентов из таблицы 17 на 1,045, получаем ряд исправленных коэффициентов: 1,30; 1,46; 1,56; 1,68; 1,68. Произведение их дает 8,40. Для удобства расчета получаемые величины заносим в таблицу 18 предварительной калибровки<sup>2</sup>.

Пользуясь исправленными коэффициентами уменьшения высот по калибрам и исходя из конечной толщины, определяем толщины полос по выходе из каждого пропуска, т. е. высоты всех калибров  $h$ . По разности соседних величин  $h$  находим обжатие в каждом калибре  $H - h$ , округляя эти величины до десятых долей миллиметра, а при больших толщинах — до целых миллиметров. Задачей первой предварительной калибровки является проверка правильности выбора среднего коэффициента уширения. Пользуясь величинами обжатия в каждом пропуске, найдем уширения в них. Примем, что прокатка производится в среднесортном стане с диаметром валков  $D_0 = 450$  мм. Зная высоту каждого калибра, определяем

<sup>1</sup> А. П. Чекмарев, К вопросу о теории калибровки полосового и углового железа, Дюмет, 1934, № 6.

<sup>2</sup> Разработанный на основе метода Жеза и описываемый ниже способ калибровки полосового железа при помощи двух попыток предложен А. П. Чекмаревым.

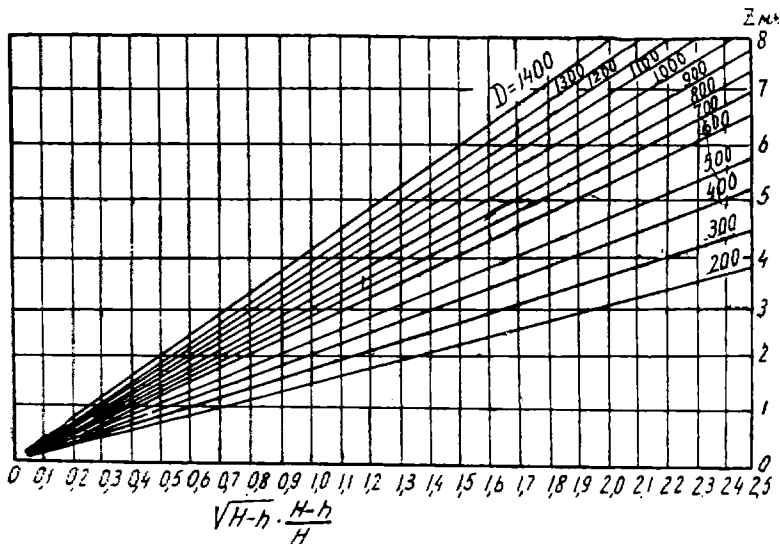


Первая предварительная калибровка полосы 100×10 мм

№	Кэф. $p$ из табл. 17	Кэф. $p$ исправл.	$h$ (мм)	$H-h$ (мм)	$D_k$ (мм)	$Z$ (мм)	$b$ (мм)
1	1,25	1,30	10,14	3,06	440	0,8	101,4
2	1,40	1,46	13,2	6,0	437	1,7	100,6
3	1,50	1,55	19,2	10,8	431	2,6	98,9
4	1,60	1,68	30,0	20,0	420	3,9	96,3
5	1,60	1,68	50,0	35,0	400	5,2	92,4
Исходный квадрат	6,72	8,40	85,0	74,86	—	14,2	87,2

катающие диаметры в них  $D_k$ , округляя до целых миллиметров. Уширение определяем по видоизмененной формуле Зибеля:

$$Z = k \cdot 0,35 \cdot \sqrt{r_k (H-h)} \cdot \frac{H-h}{H},$$



Фиг. 155. Диаграмма для определения уширения полос в калиброванных валках по формуле:

$$Z = 0,15 l_d \cdot \frac{\Delta h}{H} = 0,15 \sqrt{r_k (H-h)} \cdot \frac{H-h}{H} = 0,15 \sqrt{r} \cdot \sqrt{H-h} \cdot \frac{H-h}{H}$$

при диаметре  $D_k$  от 1400 до 200 мм.

где  $k$  — поправочный коэффициент 0,40—0,45 на уменьшение уширения в калибрах по сравнению со свободным уширением в гладких валках. Для последних двух пропусков (предотделочного и чистового), в которых прокатка производится при температуре ниже 1000°, следовало бы вместо имеющегося в формуле коэффициента 0,35 принять коэффициент 0,40; но, учитывая необходимость лучшего заполнения чистового калибра, делаем

последние 2 калибра теснее остальных, оставляя в расчете 0,35. Окончательно для уширения в калибрах формула принимает вид:

$$Z = 0,15 \sqrt{r_k (H-h)} \cdot \frac{H-h}{H}$$

Для удобства и быстроты вычислений уширение  $Z$  находим по диаграмме, приведенной на фиг. 155, по абсциссе которой отложена величина

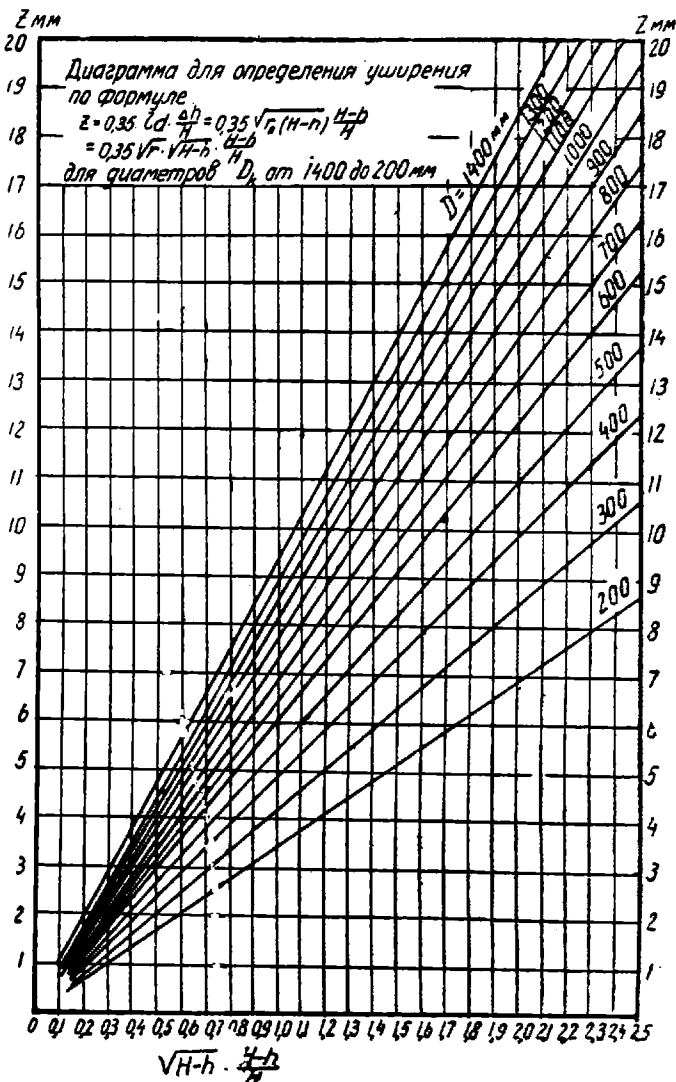
$$\sqrt{H-h} \cdot \frac{H-h}{H}$$

а по ординате величина  $Z$  в миллиметрах. Для нахождения уширения  $Z$  в гладких валках, построена аналогичная диаграмма на фиг. 156. На диаграммах пучком прямых линий изображены уширения для разных катающих диаметров, от 200 до 1400 мм, через каждые 100 мм. Для промежуточных размеров  $D_k$  величину  $Z$  следует определять интерполяцией. Наиболее широкие полосы можно катать в рельсобалочных станах, диаметр которых около 900 мм.

Зная  $D_k$  для каждого калибра и определяя величину  $\sqrt{H-h} \cdot \frac{H-h}{H}$ , находим по диаграмме величину  $Z$  и заносим ее в таблицу. Отнимая от ширины полосы 101,4 мм уширение в последнем калибре 0,8 мм, получаем ширину полосы, выходящей из последнего калибра, т. е. его ширину — 100,6 мм; отнимая отсюда уширение 1,7 мм, находим ширину III по расчету калибра и т. д. Ширину заготовки получаем 87,2 мм вместо принятого квадрата 85 мм.

Это происходит потому, что, вместо ожидаемого суммарного уширения 101,4 — 85 = 16,4 мм, мы в действительности после нахождения уширения в каждом калибре получили суммарное уширение 101,4 — 87,2 = 14,2 мм, т. е. принятый нами средний коэффициент уширения 0,22 оказался велик, а исходный квадрат мал. Примем  $k_{cp} = 0,15$  и произведем вторую попытку калибровки в том же порядке. По мере получения расчетных величин, заносим их в таблицу 19.

$$X = \frac{b_0 + k_{cp} h_0}{1 + k_{cp}} = \frac{101,4 + 0,15 \cdot 10,14}{1 + 0,15} = \frac{101,4 + 1,5}{1,15} = \frac{102,9}{1,15} = 89,5 \text{ мм.}$$



Фиг. 156. Диаграмма для нахождения уширения в гладких валках.

Суммарный коэффициент уменьшения высоты:

$$P = \frac{X}{h_0} = \frac{89,5}{10,14} = 8,80.$$

Задаваясь снова тем же средним режимом работы во втором ряду таблицы, находим ближайший суммарный коэффициент 6,72, пригодный для удобного нам нечетного числа пропусков 5. Поправочный коэффициент:

$$k = \sqrt[5]{\frac{8,80}{6,72}} = \sqrt[5]{1,31} = 1,055.$$

Результаты калибровки заносим в таблицу 19.

Таблица 19

Вторая предварительная калибровка полосы 100×10 мм

№	Коеф. $p$ из таб. 17	Коеф. $p$ исправ.	$h$ (мм)	$H-h$ (мм)	$D_k$ (мм)	$Z$ (мм)	$b$ (мм)
1	1,25	1,32	10,14	3,26	440	0,9	101,4
2	1,40	1,48	13,4	6,4	437	1,8	100,5
3	1,50	1,58	19,8	11,6	430	2,8	98,7
4	1,60	1,69	31,4	21,6	419	4,1	95,9
5	1,60	1,69	53,0	36,5	397	5,2	91,8
Исходный квадрат	6,72	8,80	89,5	—	—	14,8	86,6

Во второй предварительной калибровке получено уширение 101,4 — 86,6 = 14,8 мм вместо ожидаемого уширения 101,4 — 89,5 = 11,9 мм. Следовательно, выбранный  $k_{cp} = 0,15$  теперь оказался мал, а исходный квадрат велик, обратно первой предварительной калибровке. Действительный средний коэффициент уширения и действительный квадрат могут быть найдены интерполяцией из следующих соображений.

Сторона квадрата получена при расчете уширения в каждом пропуске больше, чем принято при определении исходного квадрата по уравнению:  $X = \frac{b_0 + k_{cp} h_0}{1 + k_{cp}}$ ,

в первой предварительной калибровке на 87,2 — 85,0 = 2,2 мм;  
во второй  $86,6 - 89,5 = -2,9$  мм.

Итого разница  $2,2 - (-2,9) = 2,2 + 2,9 = 5,1$  мм.

Разница в принятых нами  $k_{cp}$  равна  $0,22 - 0,15 = 0,07$ .

Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{l|l} 0,07 - 5,1 \text{ мм} & \\ x - 2,2 \text{ мм} & \end{array} \quad \left| \quad x = \frac{0,07 \cdot 2,2}{5,1} = 0,03.$$

Действительная величина:  $k_{cp} = 0,22 - 0,03 = 0,19$ .

Сторона действительного квадрата:

$$X = \frac{h_0 + k_{cp} h_0}{1 + k_{cp}} = \frac{101,4 + 0,19 \cdot 10,14}{1 + 0,19} = \frac{101,4 + 1,9}{1,19} = \frac{103,3}{1,19} = 87 \text{ мм.}$$

Действительный суммарный коэффициент уменьшения высоты:

$$P = \frac{X}{h_0} = \frac{87}{10,14} = 8,57.$$

Это значение  $P$  находится между значением 6,72 и 10,75 таблицы 17, ближе к 6,72. Поправочный коэффициент:

$$k = \sqrt[5]{\frac{8,57}{6,72}} = \sqrt[5]{1,28} = 1,05.$$

Данные окончательной калибровки заносим в таблицу 20.

Калибровка полосы  $100 \times 10$  мм

Таблица 20

№	Коэффициент $P$ из табл. 17	Коэффициент $P$ исправл.	$h$ (мм)	$H-h$ (мм)	$D_k$ (мм)	$Z$ (мм)	$b$ (мм)	$\varphi^\circ$
1	1,25	1,31	10,14	3,16	440	0,8	101,4	
2	1,40	1,47	13,3	6,3	437	1,8	100,6	
3	1,50	1,58	19,6	11,4	430	2,7	98,8	
4	1,60	1,68	31,0	21,0	419	4,0	96,1	
5	1,60	1,68	52,0	35,0	398	5,1	92,1	24
Исходный квадрат	6,72	8,57	87,0	—	—	14,4	87,0	

Для возможности осуществления прокатки по полученной калибровке необходимо еще убедиться в том, что углы захвата не превысят допускаемых. Наибольший угол захвата будет очевидно в V по расчету или в I по ходу прокатки калибре, где обжатие максимальное, а катающий диаметр наименьший. В нашей калибровке имеем:

$$H-h = D_k(1 - \cos \varphi); \quad 1 - \cos \varphi = \frac{H-h}{D_k};$$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{H-h}{D_k} = 1 - \frac{35}{398} = 1 - 0,088 = 0,912; \quad \varphi = 24^\circ,$$

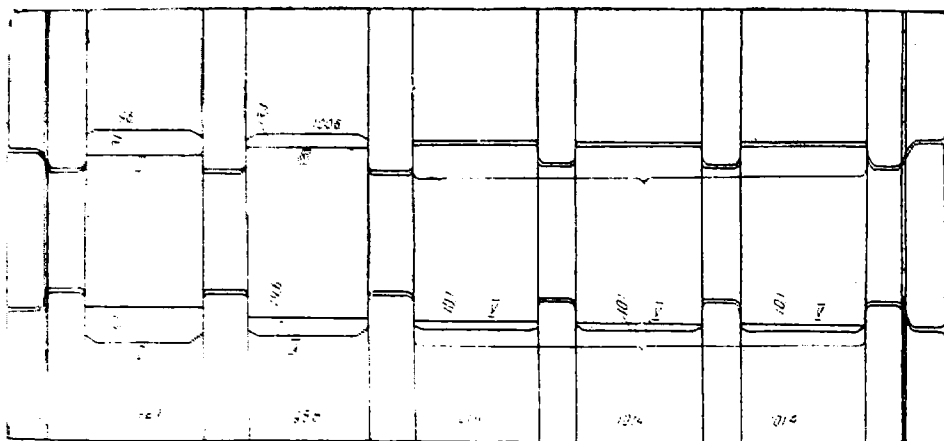
что допустимо. Рекомендуется, чтобы угол захвата не превышал  $25-26^\circ$ , имея в виду насечку валков. Проверку угла захвата в остальных калибрах производить нет нужды.

Калибровка весьма толстых полос, например, свыше  $25-30$  мм, привела бы при определении толщины полосы в предотделочном калибре по коэффициенту уменьшения высоты к большому обжатию в чистовом калибре. Последнее не рекомендуется, так как не дает возможности получить ненапряженный профиль с острыми кромками и точными размерами, что достигается лишь при умеренном обжатии. Из этих соображений корректируют калибровку так, чтобы обжатие в чистовом пропуске не превышало  $5-6$  мм, снося остающееся обжатие на ближайшие пропуски.

С другой стороны, при весьма тонких полосах в чистовом пропуске получается неприемлемое с точки зрения числа пропусков и хорошей прокатки весьма малое обжатие. В таком случае калибровку корректируют так, чтобы обжатие в чистовом пропуске для полос толщиной свыше  $2$  мм не было меньше  $1$  мм, а для полос толщиной ниже  $2$  мм (обручное железо) не меньше  $0,3-0,5-0,7$  мм. При корректировке обжатий тонких полос иногда удается уменьшить на  $1-2$  число пропусков и тем ускорить прокатку.

На фиг. 157 представлен эскиз валков трио для прокатки полосы  $100 \times 10$  мм, соответственно полученной калибровке. Пользуясь изложенными уже выше правилами монтажа валков, принимаем в нижнем ряду

калибров верхнее давление, а в верхнем — нижнее давление. Это позволяет обеспечить загиб металла на закрытые части калибров и убрать проводки со стороны открытых частей, т. е. со стороны среднего валка.



Фиг. 157. Эскиз валков для прокатки полосы в калибрах.

Калибры, за исключением чистового, *сопряженные*, т. е. ручки среднего валка составляют одновременно калибры с ручьями верхнего и нижнего валков в целях экономии полотна валков и помещения всех калибров в одной клетѣ, что часто имеет важное значение для станов трио.

### § 35. Калибровка узких полос

Прокатка полос шириною уже 60 мм осуществляется в гладких валках с применением ребрового пропуска. Произведем калибровку полосы 50×10 мм. Горячие размеры 50,75×10,15. Последний пропуск осуществляется в чистовой клетѣ дуо, имеющей гладкие чугунные валки с закаленной поверхностью (барaban). В виду отсутствия калибров полоса направляется в валки с помощью линеек и проводки, укрепляемых на поперечном бруске и переставляемых вдоль оси валков по мере износа поверхности последних для получения полосы с ровной гладкой поверхностью. Получение острых кромок и ненапряженной полосы при чистовом пропуске возможно лишь при умеренных в нем обжатиях, поэтому вместо коэффициента уменьшения высоты здесь более удобно задаться величиной обжатия. Последнюю из опыта практической работы целесообразно принять следующей: для полос толщиной свыше 20 мм при обыкновенном металле—5 мм и для качественного металла—3 мм.

Для полос толщиной ниже 20 мм обжатие выбирается соответственно меньшим.

Предполагая, что наш пример калибровки относится к прокатке обыкновенного металла, принимаем обжатие в чистовом пропуске 2,5 мм. Прокатка происходит в мелкосортном стане  $D_0=320$  мм. Уширение:

$$Z_1 = 0,40 \sqrt{r_k (H_1 - h_1)} \frac{H_1 - h_1}{H_1} = 0,40 \sqrt{\frac{310}{2} \cdot 2,5} \frac{2,5}{12,65} = 1,6 \text{ мм.}$$

Здесь взят коэффициент 0,40 вместо 0,35, так как прокатка в последнем пропуске происходит при повышенной температуре. Для определения уширения при последнем пропуске в калиброванных валках в предыдущем примере нами был взят коэффициент 0,35 из тех соображений, что несколько больше расчетного уширение плотнее заполнит калибр, что желательно для получения острых кромок полосы.

Таким образом полоса, задаваемая в чистовой пропуск, будет иметь размеры: ширину 50,75—1,6=49,15 мм, толщину 10,15+2,5=12,65 мм.

Эти размеры должны быть получены в *ребровом пропуске*, следовательно, размеры последнего будут:  $49,15 \times 12,65$  мм. *Обжатие в ребровом пропуске применяется в пределах 5—15%*, от высоты калибра, чтобы с одной стороны, не допускать слишком малого обжатия для возможности *обравнивания* полученной при прокатке в *гладких валках* выпуклости боковых граней полосы, а с другой стороны — не согнуть поставленную на ребро полосу от неумеренно большого обжатия. Примем 10%, имея среднюю по толщине и ширине полосу. Обжатие в ребровом пропуске:

$$0,1 \cdot 49,15 \cong 5 \text{ мм.}$$

Примем обжатие 4,85 мм, дабы задаваемая в ребровой калибр высота была округленно равна  $49,15 + 4,85 = 54$  мм.

Уширение в ребровом калибре, имеющем  $D_k \cong 320 - 50 = 270$  мм, равно:

$$Z_2 = 0,40 \sqrt{\frac{270}{2} \cdot 4,85 \cdot \frac{4,85}{54}} = 0,9 \text{ мм}^1.$$

Ширина полосы, задаваемой в ребровой пропуск, равна:

$$12,65 - 0,9 = 11,75 \text{ мм.}$$

Таким образом, размеры задаваемой в ребровой калибр или выходящей из предыдущего пропуска в *гладких валках* полосы равны:  $11,75 \times 54$  мм. Эта полоса будет получена *прокаткой в гладких валках в несколько пропусков из исходного квадрата*. Задача теперь, очевидно, опять сводится к определению размера исходного квадрата, нахождению суммарного коэффициента уменьшения высоты и выбору по нем числа пропусков и коэффициентов уменьшения высоты в них. Пользуемся для этого теми же приемами, что и в предыдущем примере, учитывая только, что при прокатке в *гладких валках* уширение будет свободным. Принимаем (стр. 127)  $k_{cp} = 0,50$ ; тогда сторона исходного квадрата равна:

$$X = \frac{t_0 + k_{cp} h_0}{1 + k_{cp}} = \frac{54 + 0,5 \cdot 11,75}{1 + 0,5} = \frac{54 + 5,9}{1,5} = \frac{59,9}{1,5} = 40,0 \text{ мм.}$$

Суммарный коэффициент уменьшения высоты:

$$P = \frac{X}{h_0} = \frac{40,0}{11,75} = 3,40.$$

Необходимо помнить, что последний перед *ребровым* по ходу прокатки пропуск фактически является 3-им от конца. Поэтому было бы неправильным принимать ряд коэффициентов уменьшения высоты, начиная с 1-го пропуска таблицы 17. Считая работу *ребрового* пропуска незначительной, будем принимать, что идущий по ходу прокатки пропуск перед *ребровым* по коэффициенту уменьшения высоты соответствует не 1-му, а 2-му пропуску таблицы 17. Сделав соответствующий пересчет суммарных коэффициентов, получаем таблицу 21, пригодную для *подбора коэффициентов при прокатке в гладких валках с ребровым калибром*.

Выбирая средний режим прскатки, находим по таблице ближайший суммарный коэффициент 3,36, который весьма близок к нашему коэффициенту 3,40. Это позволяет для получения  $P = 3,40$  не пересчитывать с помощью поправочного коэффициента все величины, а лишь последнюю максимальную величину  $p = 1,60$ , оставив 1,40 и 1,50 неизменными. Результаты *первой предварительной калибровки* заносим в таблицу 22, определяя уширение по формуле:

$$Z = 0,35 \sqrt{r_k (H - h)} \frac{H - h}{H}.$$

<sup>1</sup> Здесь также взят коэффициент 0,40, так как *ребровой калибр* делается с значительным уклоном боковых стенок, благодаря чему уширение можно считать свободным.

## Коэффициенты уменьшения высот при прокатке полос с ребровым калибром

№	1 ряд Весьма энергичный режим		2 ряд Энергичный режим		3 ряд Средний режим		4 ряд Слабый режим	
	Козф. <i>p</i>	Козф. <i>P</i>	Козф. <i>p</i>	Козф. <i>P</i>	Козф. <i>p</i>	Козф. <i>P</i>	Козф. <i>p</i>	Козф. <i>P</i>
1	1,60	1,60	1,50	1,50	1,40	1,40	1,20	1,20
2	1,80	2,88	1,70	2,55	1,50	2,10	1,25	1,50
3	2,00	5,76	1,80	4,59	1,60	3,36	1,30	1,95
4	2,00	11,52	1,80	8,25	1,60	5,37	1,30	2,54
5	2,00	23,0	1,80	14,85	1,60	8,61	1,30	3,30
6	—	—	1,80	26,50	1,60	13,77	1,30	4,28
7	—	—	—	—	1,60	22,00	1,30	5,58
8	—	—	—	—	—	—	1,30	7,25

Таблица 22

## Первая предварительная калибровка полосы 54×11,75

№	Коэффициент <i>p</i> из табл. 17	Коэффициент <i>p</i> исправ.	<i>h</i> (мм)	<i>H-h</i> (мм)	<i>D<sub>к</sub></i> (мм)	<i>Z</i> (мм)	<i>b</i> (мм)
1	1,40	1,40	11,75	4,45	308	2,5	54,0
2	1,50	1,50	16,2	8,5	304	4,3	51,5
3	1,60	1,62	24,7	15,3	295	6,4	47,2
Исходный квадрат . . .	3,36	3,40	40,0	28,25	—	13,2	40,8

Вместо ожидаемого суммарного уширения  $54,0 - 40,0 = 14,0$  мм фактически получено уширение  $54 - 40,8 = 13,2$ , т. е. принятый нами средний коэффициент уширения  $k_s = 0,5$  оказался велик, а исходный квадрат мал. Примем теперь  $k_{sp} = 0,40$  и произведем вторую предварительную калибровку той же полосы  $54 \times 11,75$  мм, занося результаты в таблицу 23.

$$X = \frac{54 + 0,4 \cdot 11,75}{1 + 0,4} = \frac{54 + 4,7}{1,4} = \frac{58,7}{1,4} = 42,0 \text{ мм.}$$

$$P = \frac{42,0}{11,75} = 3,57.$$

$$\text{Поправочный коэффициент } k = \sqrt[3]{\frac{3,57}{3,36}} = \sqrt[3]{1,06} = 1,02.$$

Таблица 23

## Вторая предварительная калибровка полосы 54×11,75 мм

№	Коэффициент <i>p</i> из табл. 17	Коэффициент <i>p</i> исправ.	<i>h</i> (мм)	<i>H-h</i> (мм)	<i>D<sub>к</sub></i> (мм)	<i>Z</i> (мм)	<i>b</i> (мм)
1	1,40	1,43	11,75	5,05	308	2,9	54,0
2	1,50	1,53	16,8	8,9	303	4,5	51,
3	1,60	1,63	25,7	16,3	294	6,7	46,6
Исходный квадрат . . .	3,36	3,57	42,0	30,25	—	14,1	39,9

Во второй калибровке вместо ожидаемого суммарного уширения  $54,0 - 42,0 = 12,0$  мм фактически получено уширение  $54,0 - 39,9 = 14,1$  мм, т. е. принятый нами  $k_{cp} = 0,4$  оказался мал, а исходный квадрат велик. Интерполяцией находим окончательно действительный средний коэффициент уширения.

$$40,8 - 40,0 = 0,8 \text{ мм};$$

$$39,9 - 42,0 = -2,1 \text{ мм}.$$

Итого разница  $0,8 - (-2,1) = 0,8 + 2,1 = 2,9$  мм.

Разница в принятых суммарных коэффициентах уширения:

$$0,50 - 0,40 = 0,10.$$

Составляем пропорцию:

$$\frac{0,10 - 2,9}{x - 0,8} \Bigg| x = \frac{0,8 \cdot 0,10}{2,9} = 0,03.$$

Действительная величина  $k_{cp} = 0,50 - 0,03 = 0,47$ .

Сторона действительного квадрата:

$$X_0 = \frac{b_0 + k_c h_0}{1 + k} = \frac{54 + 0,47 \cdot 11,75}{1 + 0,47} = \frac{54 + 5,5}{1,47} = \frac{59,5}{1,47} = 40,5 \text{ мм}.$$

Действительный суммарный коэффициент уменьшения высоты:

$$P = \frac{40,5}{11,75} = 3,45.$$

Данные окончательной калибровки с чистовым и ребровым пропусками заносим в таблицу 24.

Калибровка полосы  $50 \times 10$  мм

Таблица 24

№	Коэффициент $P$ из табл. 17	Коэффициент $P$ исправл.	$h$ (мм)	$H - h$ (мм)	$D_k$ (мм)	$Z$ (мм)	$b$ (мм)	$\varphi^\circ$	Калибры
1	—	—	10,15	2,5	310	1,6	50,75		барабан
2	—	—	49,15	4,85	270	0,9	11,75		ребров.
3	1,40	1,40	11,75	4,65	308	2,6	54,0		гл. валки
4	1,50	1,50	16,4	8,2	304	4,2	51,4		. .
5	1,50	1,64	24,6	15,9	295	6,7	47,2	1	. .
Исходный квадрат . .	—	—	40,5	—	—	—	40,5	—	—

Проверяем калибровку по максимальному углу захвата (в 5-м пропуске по расчету или в 1-м по ходу прокатки):

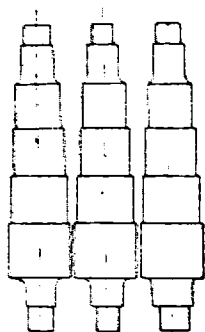
$$\cos \varphi = 1 - \frac{H - h}{D_k} = 1 - \frac{15,9}{295} = 1 - 0,054 = 0,946; \quad \varphi = 19^\circ.$$

Угол захвата показывает, что прокатку полосы  $50 \times 10$  мм по данной калибровке возможно производить в стане и с меньшим диаметром, например 250 мм. Тогда максимальный угол захвата будет:

$$\cos \varphi = 1 - \frac{15,9}{225} = 1 - 0,071 = 0,929; \quad \varphi = 22^\circ.$$

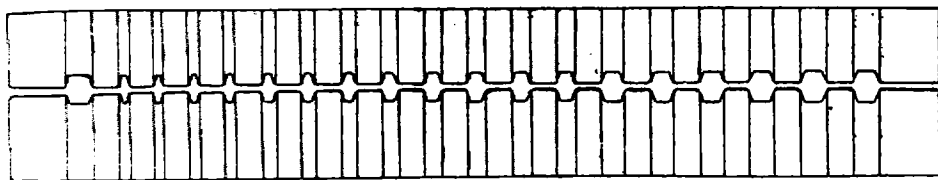


Полученная калибровка дает возможность произвести соответствующую настройку валков прокатного стана. Если прокатка производится в клетях дуо, то гладкие валки этих клетей настраиваются так, что между ними оставляется *просвет по толщине выходящей полосы*. В таком случае в одной клетке возможно произвести только 1 пропуск. В клетях трио настройка может быть произведена так, что просвет между нижним и средним валками соответствует одному пропуску, а просвет между верхним и средним валками — последующему пропуску. В таком случае в одной клетке трио возможно осуществить 2 пропуска.



Фиг. 158. Ступенчатые валки трио.

Часто, однако, желательно в одной клетке трио осуществить большее число пропусков. С этой целью весьма широко практическое применение получили „ступенчатые“ валки трио, эскиз которых изображен на фиг. 158. Прокатка производится в *нечетных пропусках на одном уровне* (например, между средним и нижним валками) и в *четных пропусках на втором уровне* (между верхним и средним валками). Диаметр ступеней валков делается с таким расчетом, чтобы *постепенное увеличение диаметра соответствовало постепенному уменьшению толщины прокатываемой полосы*. Путем регулирования валков в вертикальном направлении можно приспособить ступенчатое трио для прокатки достаточно *широкого интервала полос по толщине их*. Что касается получения нужной ширины полосы, то наряду с подбором исходного квадрата это должно быть обеспечено также применением предпоследнего ребрового калибра, в котором происходит обравнивание получивших выпуклостей



Фиг. 159. Валки с ребровыми калибрами.

в гладких валках боковых кромок и образование нужной ширины. В гладких валках возможна прокатка различных ширин до предельной для ребрового калибра ширины около 60 мм. Поэтому рационально в комплекте валков для прокатки полос иметь отдельную специальную клеть с ребровыми калибрами, размеры которых в зависимости от прокатываемых размеров полос постепенно изменяются по высоте и ширине.

На фиг. 159 представлен эскиз валков с ребровыми калибрами мелко-сортного стана, на котором происходит прокатка полос размерами ширины от 20 до 60 мм и толщины от 30 до 4 мм. Чистовой пропуск осуществляется в гладких валках (барабане) с полированной поверхностью, по мере износа которой путем соответствующей перестановки проводок и линеек используется дальше свежая часть валков.

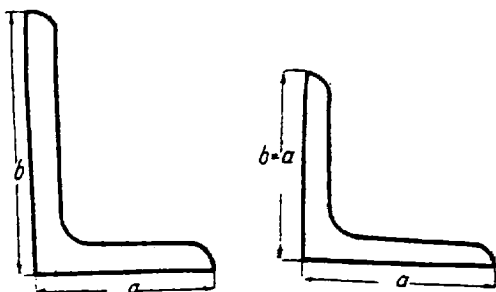
## § 36. Принципы прокатки и калибровки углового железа

Угловое железо является весьма широко распространенным прокатным изделием. Оно применяется преимущественно для разнообразных конструкций (мосты, колонны, фермы, краны и т. п.), а также в качестве строительного, машиностроительного и другого назначения профиля. В зависимости от назначения применяют *равнобокое и неравнобокое угловое железо* (фиг. 160). По общесоюзному стандарту прокатывается равнобокое железо № 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 6,5; 7,5; 8; 9; 10; 12; 13; 14

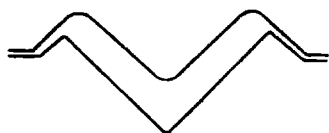
и 15 — итого 17 номеров и неравнобокое железо № 3/2; 4,5/3; 6/4; 7,5/5; 8/4; 9/6; 10/6,5; 12/8; 13/9; 15 10; 16/8; — итого 11 номеров, а всего — 28 номеров. Номер соответствует длине полки в сантиметрах; двоянный номер показывает размеры обеих полок неравнобокого уголка. Помимо того, каждый номер имеет несколько (от 2 до 4) разных толщин. Прокатка уголков осуществляется на мелкосортных, среднесортных, крупносортных и рельсобалочных станах.

Калибровка уголков производится на основе тех же принципов, что и полосового железа по методу Жеза. Уголок представляет собой согнутую под 90° полосу. Если мысленно развернуть уголок, то получим полосу, калибровка которой была разобрана выше. Следовательно, при калибровке

уголка вполне возможно идти тем же путем: *определить размеры исходного квадрата, найти суммарный коэффициент уменьшения высоты, по таблице подобрать в зависимости от режима работы ряд частных коэффициентов, определить толщины в каждом калибре и величины обжатий, далее определить уширение и ширину каждого калибра.* Существенной особенностью калибровки уголков является сгиб полок. Последний целесообразно производить постепенно, по мере уменьшения



Фиг. 160. Угловое равнобокое и неравнобокое железо.



Фиг. 161. Прямые полки угольковых калибров.



Фиг. 162. Изогнутые полки угольковых калибров.

толщины. Это рационально как с точки зрения температурного режима прокатки, так и с точки зрения минимальных напряжений от сгиба при прокатке.

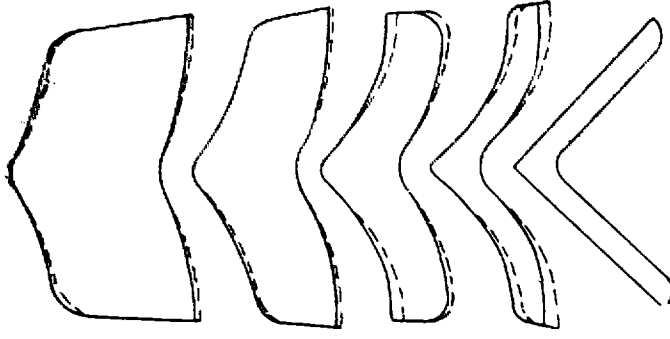
Что касается формы калибров, то практикой отвергнута находившаяся употребление раньше и рекомендуемая Жезом прямая форма полок, дающая глубокие врезы в валки (фиг. 161) и большие разности катающих диаметров. Это приводит к излишним напряжениям в металле и ослабляет прочность валков. Практическое применение поэтому получила *развернутая форма уголков в промежуточных калибрах* (фиг. 162).

Следует отметить также имеющееся отличие в определении размера исходного квадрата для уголков по сравнению с полосой. Вследствие сгиба полок, каждая из них с точки зрения уширения может быть рассматриваема как самостоятельная, и уширение при том же обжатии удваивается по сравнению с полосой. Поэтому формула для определения стороны исходного квадрата преобразуется, исходя из следующего вывода:

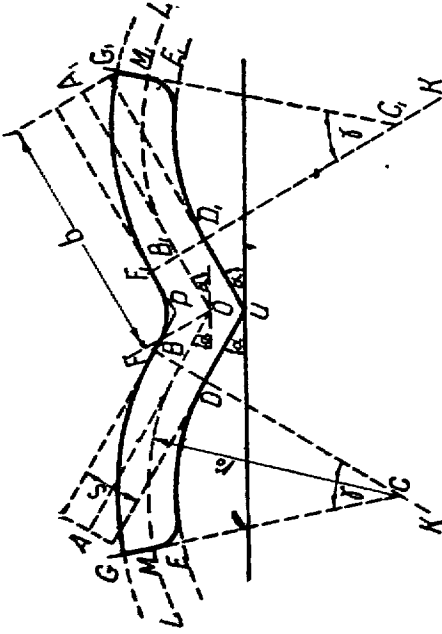
$$2 \cdot b_0 = X + (X - h_0) \cdot k_{cp} \cdot 2 = X + 2k_{cp} X - 2k_{cp} h_0;$$

$$X + 2 \cdot k_{cp} X = 2 \cdot b_0 + 2k_{cp} h_0; \quad X(1 + 2 \cdot k_{cp}) = 2 \cdot b_0 + 2k_{cp} h_0;$$

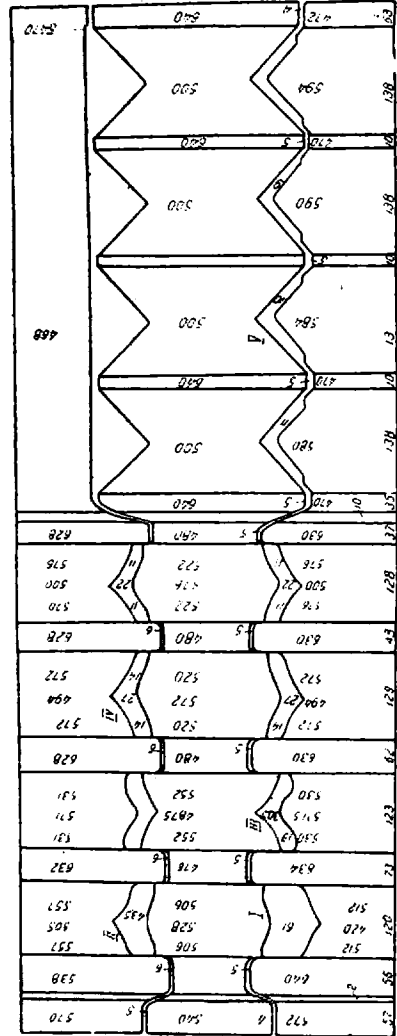
$$X = \frac{2 \cdot b_0 + 2 \cdot k_{cp} h_0}{1 + 2 \cdot k_{cp}}.$$



Фиг. 164. Последовательные калибры при прокатке уголка.



Фиг. 163. Построение изогнутой полки калибра уголка.



Фиг. 165. Эскиз валков трио для прокатки уголка  $80 \times 80 \times 11$  — 8 мм.

Здесь  $b_0$  — длина полки равнобокого уголка в горячем виде по средней линии (фиг. 161);

$X$  — сторона исходного квадрата;

$h_0$  — толщина полок уголка в горячем виде;

$k_{cp}$  — средний коэффициент уширения для одной полки.

На фиг. 163 показана схема изгиба и построения полок при вершине уголка, на фиг. 164 представлены последовательные калибры, а на фиг. 165 — эскиз валков трио для прокатки уголка  $80 \times 80 \times 11$  — 8 мм.

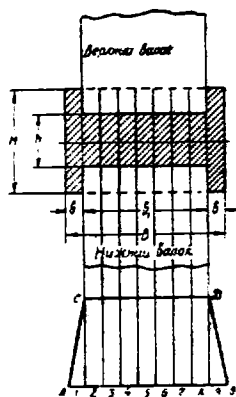
### § 37. Деформация металла при прокатке фланцевых профилей

В прокатном деле весьма распространено изготовление изделий, носящих название фланцевых, к которым относятся *двутавровые балки, швеллера, рельсы, тавровое железо* и т. п. Форма этих изделий наиболее подходит для применения их в тех или иных сооружениях. Прокатка этих изделий невозможна теми простыми приемами и в таких простых калибрах, как прокатка полос, круглого и квадратного железа.

Допустим, что нам необходимо прокатать двутавровую балку. Казалось бы, что наиболее простым и удобным для этой цели будет следующий прием, изображенный на фиг. 166. В целях получения заштрихованного двутаврового сечения возьмем заготовку, показанную пунктирными линиями, и обожжем ее для получения шейки *только посредине, пропустив между короткими валками или между ребрами валков*. Обозначим высоту заготовки и ожидаемую нами высоту полки через  $H$ , толщину шейки через  $h$ , ширину заготовки через  $B$  и ширину шейки, равную длине полотна валков, через  $b$ ; толщину полки обозначим через  $b$ .

Попытаемся разобраться в явлениях, происходящих при подобной прокатке. Для этого опять (см. § 26) по-прежнему воспользуемся методом исследования *„натуральных“ вытяжек, т. е. мысленно разобьем сечениями наш профиль на несколько слоев, например 9*. Из этих слоев 2 крайних представляют собой полки, а 7 центральных — шейку.

Представим себе на минуту, что каждый из этих мысленно выделенных слоев является самостоятельным и не связан с соседними. Тогда можно найти вытяжку каждого слоя, деля начальное сечение на конечное, или, если пренебречь уширением, деля начальную высоту слоя на его конечную высоту. Очевидно, что здесь мы имели бы вытяжку только в центральных слоях, а крайние слои, как не подвергающиеся обжатию, не имели бы самостоятельной вытяжки. Отложив коэффициенты вытяжек в каком-либо масштабе от горизонтальной линии  $AE$ , мы получим *ломаную кривую ACDE*, показывающую *натуральные вытяжки слоев профиля*. Продолжая наши рассуждения, мы приходим к выводу, что *удлиниться должны были бы только центральные слои, относящиеся к шейке, а крайние слои не получили бы никакого удлинения*. Если бы слои профиля не были связаны между собою, то по выходе из валков мы имели бы неизменившуюся длину полок и увеличившуюся длину шейки. Возможно ли это на самом деле? Естественно нет, ибо тогда неизбежно произошел бы разрыв штуки в местах перехода из слоев не вытягиваемых в слои вытягиваемые. Такой разрыв может произойти, но тогда, когда прокатка с весьма неравномерными вытяжками в отдельных слоях профиля происходит при низкой температуре, при плохом качестве металла или при твердом, малопластичном металле. Обычно же разрыва не происходит, и из валков выходит штука, имеющая *одинаковую длину во всех*



Фиг. 166. Прокатка заготовки между ребрами валков.

*своих слоях. „Натуральные“ или „естественные“ вытяжки уравниваются таким образом за счет пластичности металла, тем более высокой, чем выше температура прокатки, чем мягче металл по химическому составу и чем он лучше по качеству (хорошо приготовлен, раскислен, отлит и т. п.).*

Зададимся вопросом: какова же будет общая длина вышедшей из валков штуки? Примем, что  $H=100$  мм,  $B=180$  мм,  $h=50$  мм, начальная длина  $L=1$  м. Коэффициент вытяжки в центральных слоях  $\mu_c = \frac{100}{50} = 2$ ;

коэффициент вытяжки в крайних слоях  $\mu_k = \frac{100}{100} = 1$ . По выходе из вал-

ков центральные слои стремятся приобрести длину  $l_c = 2$  м, крайние стремятся сохранить прежнюю длину  $l_k = 1$  м. Между этими слоями будет происходить следующее взаимодействие: *вытягиваемые центральные слои тянут за собою невытягиваемые крайние слои, последние же сдерживают вытяжку центральных слоев.* В результате, вследствие пластичности металла, выходящая из валков штука получает какую-то промежуточную длину между 2 м и 1 м. Каким же образом это скажется на форме выходящей из валков штуки? Получим ли мы в действительности заштрихованное на фиг. 166 сечение?

Ответы на поставленные вопросы попытаемся дать, сделав следующие допущения. Допустим, что действие центральных слоев сказалось лишь на крайних, обратного воздействия не произошло, и длина прокатанной штуки по выходе из валков равна 2 м. Но это возможно лишь тогда, если и *крайние слои получают принудительную вытяжку до 2 м* или коэффициент вытяжки, равный 2. Для этого сечение крайних слоев должно уменьшиться вдвое, что может произойти главным образом за счет уменьшения высоты фланцев, называемого утяжкой фланцев и отчасти за счет уменьшения ширины последних. В результате по выходе из валков мы получили бы сечение, имеющее толстую шейку и весьма короткие фланцы, почти не отличающиеся по высоте от шейки. *Утянутый из фланцев металл пошел на их вытяжку.*

Допустим теперь, что действие крайних слоев сказалось на центральных, а не наоборот. Имеющие коэффициент вытяжки 2 центральные слои не могут получить своей „натуральной“ длины 2 м, и металл из них будет переходить в крайние слои, питая их и поддерживая их прежние (заштрихованные) размеры. Крайние слои при этом также получают некоторую вытяжку, но не за счет вытяжки своего металла, а за счет перетекющего металла из шейки, движение которого в длину задержано. Общую вытяжку всего профиля можно при этом случае определить как среднюю вытяжку для отдельных слоев:

$$\mu = \frac{2 \cdot 1 + 7 \cdot 2}{9} = 1,78.$$

На самом же деле, как показывает опыт, и в этом возможно убедиться теоретически, действительный коэффициент вытяжки получается промежуточным между 2 и 1,78, фланцы полной утяжки не получают, а будут также иметь какую-то промежуточную высоту между 100 и 50 мм. Произойдет взаимное уравновешивание действия обжимаемых и необжимаемых слоев сечения. Металл в центральных слоях сжат, часть его идет в вытяжку, часть истекает в крайние слои; последние не обжимаются и растягиваются от действия центральных слоев. Это растягивание ведет к некоторой утяжке фланцев, но она уменьшается за счет частичного истекания металла из шейки во фланцы. Истекающего во фланцы металла не хватает, однако, для покрытия всей утяжки, и в результате сечения фланцев, т. е. их высота и толщина, оказываются уменьшенными (фиг. 167).

Действительную высоту и утяжку фланцев можно определить, если известен действительный коэффициент вытяжки  $\mu_0$ . Наоборот, если известна действительная высота фланцев, можно определить  $\mu_0$ . Обозначим действительную высоту фланцев через  $h_0$ . Можем написать следующее равенство:

$$\mu_0 = \frac{2 \cdot \frac{H}{h_0} + 7 \frac{H}{h}}{9} = \frac{200}{h_0} + \frac{700}{50} = \frac{200}{h_0} + 14 = \frac{22,22}{h_0} + 1,55,$$

откуда

$$\mu_0 \cdot h_0 = 22,22 + 1,55 \cdot h_0; \quad \mu_0 h_0 - 1,55 \cdot h_0 = 22,22; \quad h_0(\mu_0 - 1,55) = 22,22;$$

$$h_0 = \frac{22,22}{\mu_0 - 1,55}.$$

Если известно  $\mu_0$ , определенное наблюдением на стане, например,  $\mu_0 = 1,95$ , тогда

$$h_0 = \frac{22,22}{1,95 - 1,55} = \frac{22,22}{0,4} \cong 56 \text{ мм.}$$

Утяжка  $100 - 56 = 44$  мм очень, как видим, велика.

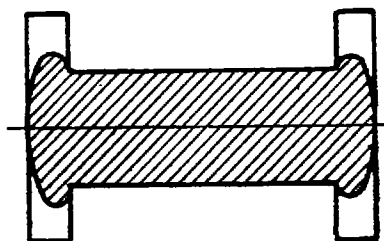
Можно  $\mu_0$  приближенно определить расчетом, если принять, что действие обжимаемых и необжимаемых слоев друг на друга пропорционально числу этих слоев. Для нашего случая тогда  $\mu_0$  определится из следующих соотношений:

$$2 - 1,78 = 0,22;$$

$$0,22 - 9 \quad \Bigg| \quad x = \frac{0,22 \cdot 2}{9} = 0,05$$

$$x - 2$$

$$\mu_0 = 2,00 - 0,05 = 1,95.$$



Фиг. 167. Утяжка фланцев после пропуска.

Из указанного ясно, что, если изменить число центральных (обжимаемых) или крайних (необжимаемых) слоев, или число одних и других с изменением их соотношения, то действительная вытяжка была бы другой, вследствие иного взаимодействия центральных и крайних слоев.

Для примера возьмем 5 слоев: 3 центральных и 2 крайних и произведем необходимый расчет для определения  $\mu_0$ , действительной высоты фланцев  $h_0$  и утяжки ( $H - h_0$ ). Выше нами были уже для предыдущего случая определены: максимальная вытяжка  $\mu_{\text{макс}} = 2$ , минимальная вытяжка  $\mu_{\text{мин}} = 1,78$  и действительная вытяжка  $\mu_0 = 1,95$ . Теперь:

$$\mu_{\text{макс}} = \frac{100}{50} = 2; \quad \mu_{\text{мин}} = \frac{2 \cdot 1 + 3 \cdot 2}{5} = 1,6;$$

$$2 - 1,6 = 0,4; \quad 0,4 - 5 \quad \Bigg| \quad x = \frac{0,4 \cdot 2}{5} \cong 0,16$$

$$x - 2$$

$$\mu_0 = 2,00 - 0,16 = 1,84$$

$$\mu_0 = \frac{2 \frac{H}{h_0} + 3 \frac{H}{h}}{5} = \frac{200}{h_0} + \frac{300}{50} = \frac{40}{h_0} + 1,2.$$

$$\mu_0 h_0 = 40 + 1,2 h_0; \quad \mu_0 \cdot h_0 - 1,2 \cdot h_0 = 40; \quad h_0(\mu_0 - 1,2) = 40;$$

$$h_a = \frac{40}{\mu_a - 1,2} = \frac{40}{1,84 - 1,2} = \frac{40}{0,64} = 63 \text{ мм.}$$

$$H - h_a = 100 - 63 = 37 \text{ мм.}$$

В этом примере утяжка получилась меньшей, так как относительно уменьшилось число центральных обжимаемых слоев. Возьмем еще пример, в котором 3 слоя: 1 центральный обжимаемый и 2 крайних необжимаемых, и произведем те же расчеты.

$$\mu_{\text{макс}} = \frac{100}{50} = 2; \quad \mu_{\text{мин}} = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 2}{3} = \frac{4}{3} = 1,33.$$

$$2 - 1,33 = 0,67.$$

$$0,67 - 3 \quad \left| \quad x = \frac{0,67 \cdot 2}{3} = 0,45.$$

$$x - 2$$

$$\mu_a = 2,00 - 0,45 = 1,55.$$

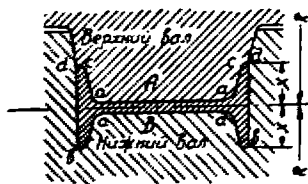
$$\mu_a = \frac{2 \frac{H}{h_a} + \frac{H}{h}}{3} = \frac{200}{h_a} + \frac{100}{50} = \frac{67}{h_a} + 0,67.$$

$$\mu_a \cdot h_a = 67 + 0,67 \cdot h_a; \quad \mu_a \cdot h_a - 0,67 \cdot h_a = 67; \quad h_a(\mu_a - 0,67) = 67.$$

$$h_a = \frac{67}{\mu_a - 0,67} = \frac{67}{1,55 - 0,67} = \frac{67}{0,88} = 76 \text{ мм.}$$

$$H - h_a = 100 - 76 = 24 \text{ мм.}$$

В этом примере утяжка наименьшая, она равна 24 мм. Это происходит потому, что обжимаемая часть здесь из всех примеров наименьшая и ее утягивающее действие на крайних слоях отразилось меньше всего. Справедлив и обратный вывод, что наибольшая утяжка будет тогда, когда относительно количество обжимаемых слоев будет наибольшим. Вспомним, что двутавровая балка и представляет собой профиль, в котором центральная часть значительно шире, чем крайние, например: в балке № 20 ширина шейки равна около 180 мм, а ширина 2 фланцев около 20 мм, отношение  $\frac{180}{20} = 9$ . В таком профиле при его прокатке ука-



Фиг. 168. Прокатка двутавровой балки.

занным выше способом неизбежна сильная утяжка фланцев. Практика уже давно показала, что получение таким путем необходимого профиля двутавровой балки с тонкой широкой шейкой и с тонкими длинными фланцами вообще невозможно, ибо фланцы будут весьма короткими, едва заметными. Мысль практиков поэтому и была направлена к осуществлению прокатки высоких и тонких фланцев, что и достигается применением специальных калибров для прокатки фланцевых профилей, в которых искусственно производится утонение фланцев и поддержание их высоты.

Разберемся в действии фланцевых калибров, воспользовавшись изложением этого вопроса, данным проф. Грум-Гржимайло. Представим себе балку, прокатываемую в калибре (фиг. 168). Верхние фланцы прокатываются между верхним и нижним вальцами, нижние фланцы заklочены в вырезы только одного нижнего вальца. Поэтому верхние фланцы в данном случае открытые, а нижние — закрытые. Примем, что прокатывается балка № 25 в вальцах диаметром 800 мм, или радиусом 400 мм.

Толщина шейки равна 9 мм, ширина калибра 250 мм, высота полок 110 мм. Радиус, катающий шейку, равен  $400 - 4,5 = 395,5$  мм. Этот радиус будет одинаков для верхнего и нижнего валков, так как калибр расположен по средней линии валков. Если 400 мм принять за 100%, то 395,5 мм составляет 99%. Это значит, что скорость валков, обрабатывающих поверхность всей шейки от  $a$  до  $a$  равна 99% от скорости по средней окружности валков. Скорость верхнего валка, обрабатывающего металл в точках  $c$ , соответствует радиусу  $400 - \frac{110}{2} = 400 - 55 = 345$  мм или в процентах она составляет  $\frac{345}{400} \cdot 100 = 86\%$ . Скорость нижнего валка, обрабатывающего соседнюю точку  $d$  металла, будет соответствовать радиусу  $400 + \frac{110}{2} = 400 + 55 = 455$  мм, или в процентах она составляет  $\frac{455}{400} \cdot 100 = 114\%$ .

Таким образом в крайних своих точках открытые фланцы обрабатываются валками, имеющими окружную разность скоростей, равную  $114 - 86 = 28\%$ . Нижние фланцы обрабатываются только нижним валком. Скорость нижнего валка в точке  $b$  соответствует радиусу  $400 - 55 = 345$  мм, или 86%. По мере перехода от крайних точек фланцев к шейке, т. е. от точек  $c$ ,  $d$  и  $b$  к точкам  $a$ , скорости обрабатывающих металл поверхностей валков приближаются к 99%.

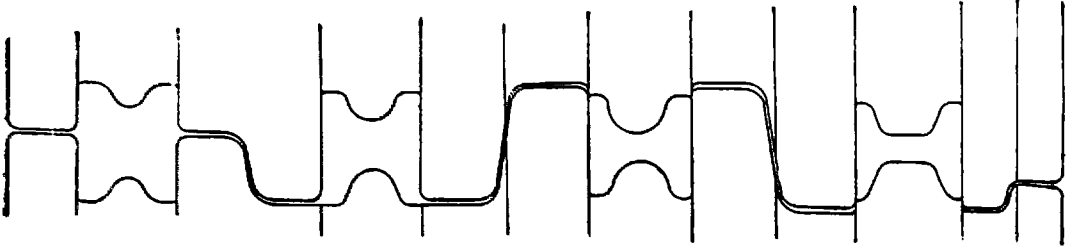
С какой же скоростью выходит из валков вся балка? Ведь скорость всех ее частей должна быть при выходе из валков одинакова, иначе разные части получат разные вытяжки и произойдет разрыв металла. Такого разрыва при прокатке доброкачественного металла мы не наблюдаем, следовательно, различные скорости отдельных частей уравниваются за счет пластичности металла. Так как наиболее широкой и притою получающей наибольшее давление в валках является шейка, то вся балка будет выходить из валков со скоростью, приближающейся к скорости шейки, именно 99%. Открытые фланцы обрабатываются с внутренней стороны поверхностью верхнего валка, скорость которой меньше скорости шейки, и с внешней стороны поверхностью нижнего валка, скорость которой больше скорости шейки. Разность скоростей возрастает от шейки к концу фланцев. Действие ее равносильно растиранию металла между навстречу движущимися поверхностями, которое приводит к уменьшению толщины (утонению) фланцев и некоторому увеличению их длины (высоты). Достаточно вспомнить похожее на это действие растирание теста между доской и скалкой, чтобы убедиться в справедливости указанного. Нижние же фланцы обрабатываются поверхностями одного и того же нижнего валка, скорость которых меньше, чем скорость шейки. Вся же балка идет со скоростью 99%.

Это значит, что поверхность калибра в закрытом фланце отстает от металла, и последний провалакивается (протягивается) в закрытой части калибра. Провалакивание создает трение на поверхности валка, наибольшее в конечных точках закрытого фланца. Благодаря провалакиванию фланец вытягивается в длину и одновременно уменьшается его сечение. Уменьшения ширины не происходит из-за возникающего большого трения; наоборот, фланец стремится к некоторому утолщению вследствие осадки; последнее нежелательно, ибо наша цель — получить тонкие фланцы, и оно устраняется приданием ширине закрытой части валка необходимых размеров.

Подведем итог сказанному о прокатке фланцевых профилей в закрытых и открытых частях калибров. Открытые калибры растирают металл, способствуют утонению и удлинению фланцев, закрытые калибры ведут к утолщению и укорочению их. Для получения из заготовки тонкого сечения балки необходимо произвести несколько пропусков, обычно 7—11.



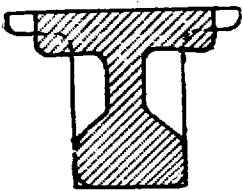
Если одни и те же фланцы катать все время только в открытых частях калибров, а противоположные фланцы — только в закрытых частях, то в результате первые окажутся длинными и тонкими, а вторые — короткими и толстыми, т. е. *профиль будет несимметричным*. Для получения симметричного профиля необходимо *чередовать открытые части калибра с закрытыми* (все фланцы обычного калибра сделать открытыми нельзя); *чередование и дает желательное нам утончение и удлинение фланцев*.



Фиг. 169. Калибры с последовательным чередованием открытых и закрытых фланцев.

Но существуют специальные *4-валковые станы*, в которых все фланцы — открытые. Эти станы целесообразно применять для прокатки балок с длинными фланцами и с фланцами, имеющими параллельные поверхности. Станы по имени изобретателя называются *станами Грея*. Обычные же балки прокатываются в станах дуо или трио с чередованием закрытых и открытых фланцев (фиг. 169).

Заканчивая на этом параграф, подчеркиваем весьма благотворное значение *метода „натуральных“ вытяжек*, разработанного наиболее полно известным немецким специалистом проф. Тафелем. Это наиболее удачный метод, дающий ясное представление о процессе прокатки и калибровки как в простых, так и в фланцевых и любых сложных калибрах. Разбивая сложный калибр на простые части и рассматривая натуральные вытяжки, мы можем сделать правильные заключения о поведении каждой части и всего сечения при прокатке в валках. Это важно не только для определения вытяжки всего профиля, но больше всего для определения величины уширения металла в калибре, весьма трудно учитываемого. Сильно обжимаемые части, стремящиеся к большой вытяжке, но сдерживаемые необжимаемыми (или слабо обжимаемыми) и поэтому невытягиваемыми частями, дают сильное уширение, называемое *„вынужденным“*. При помощи вынужденного уширения получают длинную и тонкую пятую рельса (фиг. 170). Вынужденное уширение часто применяется и должно быть учтено при прокатке сложных профилей.



Фиг. 170. Раздавливание в сильное уширение пятую рельса.

## § 38. Принципы калибровки фланцевых профилей

Калибровка фланцевых профилей впервые наиболее подробно была разработана Кирхбергом, внесшим в науку о калибровке свои методы. Калибровка фланцевых профилей по методу Кирхберга производится на основе *бокового обжатия фланцев и учета температуры прокатываемого металла*. Кирхберг принял, что *величина бокового обжатия фланцев, а также величина вертикального обжатия шейки, должны уменьшаться по мере понижения температуры металла, т. е. от пропуска к пропуску по ходу прокатки*. Этот основной и элементарный принцип всякой прокатки Кирхберг положил в основу излагаемого ниже весьма остроумного способа расчета размеров фланцев в последовательных калибрах.

На фиг. 171 представлено два наложенных друг на друга последовательных калибра при прокатке балки. В виду необходимости чередования фланцев, открытые фланцы наложены на закрытые и наоборот. Продолжив внутренние поверхности фланцев до их пересечения с наружными, получаем точки *K*. Кирхберг принял положение этих точек определенным для всех калибров. Расстояние от точки *K* до шейки калибра определяется по размерам чистового калибра и в дальнейшем для всех калибров принимается постоянным. Задача калибровки сводится к правильному определению угла  $\alpha$  наклона внутренней поверхности фланцев. Калибровку ведут от последнего по ходу прокатки чистового калибра. По ходу расчета он будет первым. Угол  $\alpha$  при переходе от калибра к калибру по ходу расчета будет увеличиваться. Увеличение угла по Кирхбергу делается по следующей параболической зависимости, увязывающей калибровку с температурой прокатываемого металла:

$$\operatorname{tg} \alpha_{x+1} = \operatorname{tg} \alpha_x (1 + \operatorname{tg} \tau_x) = \operatorname{tg} \alpha_x + \operatorname{tg}^2 \alpha_x$$

где  $\alpha_{x+1}$  — угол при точке *K* для последующего по ходу расчета калибра;

$\alpha_x$  — угол при точке *K* для предыдущего по ходу расчета калибра.

Точку *K* называют конструкционной или проекционной точкой калибра, угол  $\alpha$  является углом наклона внутренней поверхности фланца.

Постепенный переход при расчете от одного калибра к последующему приводит к все увеличивающемуся углу  $\alpha$ , при некотором значении которого происходит пересечение внутренних поверхностей фланцев на шейке калибра. Этот момент является окончанием калибровки, и полученный калибр является «разрезающим»; в него поступает прямоугольная исходная заготовка.

Второй основной величиной при фланцевых калибровках является высота фланцев. Расчет высоты фланцев производится из рассмотренных в предыдущем параграфе явлений утяжки и растирания фланцев. Определение утяжки и удлинения фланцев (от растирания) расчетом затрудняется из-за наличия ряда приводящих трудно учитываемых факторов, как то: увлекающего действия шейки, трения металла о поверхности калибра и т. п. Поэтому в данном случае прибегают к практически найденным величинам, каковые приведены в таблице 25.

Таблица 25

Утяжка и удлинение фланцев

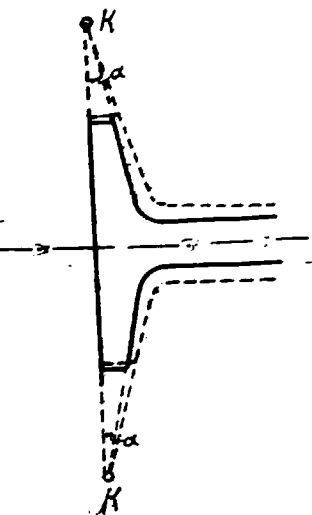
№	Номера балок	Размер профилей	Утяжка $\omega$ (м.м)	Удлинение $\lambda$ (м.м)
1	от № 18 и ниже . . . . .	мелкие	5	0,5
2	от № 20 до № 30 включительно . . . . .	средние	6	1
3	от № 32 и выше . . . . .	крупные	7	1,5

Высота любого открытого фланца определяется из выражения:

$$h_{x+1} = h'_x + \omega,$$

где  $h_{x+1}$  — высота рассматриваемого открытого фланца;

$h'_x$  — высота предыдущего по ходу расчета (т. е. последующего по ходу прокатки) закрытого фланца.



Фиг. 171. Построение фланцев последовательных калибров по правилу Кирхберга.

Высота любого закрытого фланца определяется из выражения:

$$h_{x+1}' = h_x - \lambda,$$

где  $h_{x+1}'$  — высота рассматриваемого закрытого фланца;  
 $h_x$  — высота предыдущего по ходу расчета открытого фланца.

Обозначив через

$q_k$  — сечение калибра,

$q_\phi$  — сечение фланца,

$q_{ш}$  — сечение шейки,

$x$  — расстояние между проекционной точкой и шейкой калибра,

$a$  — верхнее основание открытого фланца,

$a'$  — верхнее основание закрытого фланца,

$b$  — нижнее основание открытого фланца,

$b'$  — нижнее основание закрытого фланца,

$m$  — среднюю линию открытого фланца (как трапеции),

$m'$  — среднюю линию закрытого фланца,

$\delta$  — толщину шейки,

$B$  — высоту профиля, соответствующую ширине калибра.

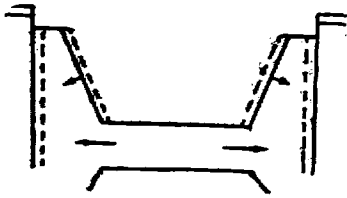
$H$  — ширину полки, соответствующую высоте калибра, — имеем следующие соотношения (фиг. 173):

$$x = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}; \quad b = x \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad a = (x - h) \operatorname{tg} \alpha; \quad m = \frac{q_\phi}{h};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{x - 0,5 \cdot h}; \quad B_{x+1} = B_x - Z_{x+1}; \quad \delta = \frac{q_{ш}}{B}.$$

Пользуясь этими, а также приведенными выше формулами, можно определить все элементы последовательных калибров, как это показано ниже на примере.

Что касается уширения шейки в калибре  $Z$ , то его можно было бы рассчитать по формуле, как для полосы. В виду того, однако, что уши-



Фиг. 172. Растягивание шейки ребрами (гребнями) валков.

рение в шейке зависит, помимо обжатия, в весьма значительной мере также от утоняющего фланца действия внедряющихся в металл реборд валков (фиг. 172), *уширение шейки в действительности будет превосходить расчетное.*

В каких пределах возможно регулировать уширение шейки во фланцевых калибрах, показывает то факт, что из общих черновых калибров прокатываются соседние номера балок и швеллеров, отличающихся по шейке на 20 мм. Из практических данных *можно при-*

*нимать следующие величины уширения шейки, начиная от чистового калибра, для соответствующих размеров балок и швеллеров (таблица 26).*

Величины уширений шейки для балок и швеллеров

Таблица 26

№	Размеры	Номера балок	Величина уширения по калибрам (мм)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Малые . .	до № 18	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
2	Средние	от № 20 до № 30	1	2	3,5	5	6,5	7	8,5	10	12
3	Большие .	от № 32 и выше	2	4	6	8	10	12	14	16	18

## § 39. Калибровка двутавровой балки в стане дуо

Произведем в качестве примера калибровку двутавровой балки № 18. Размеры готового профиля берем из сортамента. Размеры *чистового калибра* (1 по ходу расчета), т. е. горячие размеры профиля получаем умножением линейных размеров холодного профиля на 1,013. Заносим результаты в таблицу 27 (фиг. 173).

Размеры готового профиля и чистового калибра

Таблица 27

№	Элементы	Холодные размеры (мм)	Горячие размеры (мм)
Основные размеры и величины			
1	$H$	180	182,3
2	$B$	82,6	83,7
3	$\delta$	6,9	7,0
4	$\operatorname{tg} \alpha$	0,14	$\frac{b-a}{h} = \frac{12,5-9,7}{38,3} = 0,14$
5	$m$	9,6	9,7
Производные размеры и величины			
6	$h$	$\frac{B-\delta}{2} = \frac{82,6-6,9}{2} = 37,8$	$\frac{83,7-7,0}{2} = 38,4$ или $37,8 \cdot 1,013 = 38,4$
7	$x$	$\frac{h}{2} + \frac{m}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{37,8}{2} + \frac{9,6}{0,14} = 87,5$	$\frac{b}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{12,5}{0,14} = 89,3$
8	$a$	$(x-h) \cdot \operatorname{tg} \alpha = (87,5-37,8) \cdot 0,14 = 6,9$	$6,9 \cdot 1,013 = 7,0$
9	$b$	$x \cdot \operatorname{tg} \alpha = 87,5 \cdot 0,14 = 12,3$	$12,3 \cdot 1,013 = 12,5$
10	$q_{\phi}$	$\frac{a+b}{2} \cdot h$	$\frac{7,0+12,5}{2} \cdot 38,4 = 373 \text{ мм}^2$
11	$q_{\text{ш}}$	$\delta \cdot H$	$7,0 \cdot 182,3 = 1277 \text{ мм}^2$
12	$q_{\kappa}$	$4 \cdot \frac{a+b}{2} h + \delta \cdot H$	$4 \cdot 373 + 1277 = 2769 \text{ мм}^2$

II. Калибр. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре Кирхберг предлагает брать по формуле:

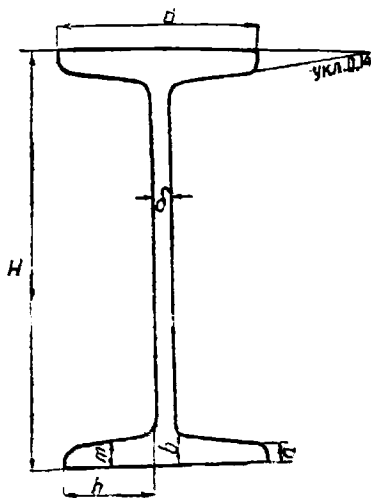
$$\mu_1 = 1 + \operatorname{tg} \alpha_1,$$

где  $\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,14$  — тангенс угла наклона в чистовом калибре. Зависимость вытяжки от угла наклона устанавливается из тех соображений, что чем меньше угол наклона, тем труднее получение точных размеров и тем меньше должна быть вытяжка. По принятой величине  $\mu_1$  находим:

$$q_{\phi_2} = q_{\phi_1} \cdot \mu_1 = q_{\phi_1} (1 + \operatorname{tg} \alpha_1) = 373 \cdot 1,14 = 427 \text{ мм}^2.$$

Далее определяем размеры открытых фланцев:  $h_2 = h_1' + \omega_1 = 38,4 + 5 = 43,4 \text{ мм}$ ,

$$m_2 = \frac{q_{\phi_2}}{h_2} = \frac{427}{43,4} = 9,8 \text{ мм}.$$



Фиг. 173. Двутавровая балка.

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{m_2}{x - 0,5 \cdot h_2} = \frac{9,8}{89,3 - 0,5 \cdot 43,4} = \frac{9,8}{89,3 - 21,7} = 0,145.$$

$$a_2 = (x - h_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = (89,3 - 43,4) \cdot 0,145 = 6,6 \text{ мм.}$$

$$b_2 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 89,3 \cdot 0,145 = 13,0 \text{ мм.}$$

Проверка площади:  $q_{\phi 2} = \frac{a_2 + b_2}{2} \cdot h_2 = \frac{6,6 + 13,0}{2} \cdot 43,4 = 426 \text{ мм}^2.$

Расхождение в  $1 \text{ мм}^2$ , составляющее около  $0,2\%$ , допустимо при подобных расчетах<sup>1</sup>.

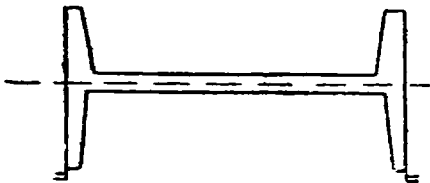
**Закрытые фланцы.**  $h_2' = h_1 - \lambda_1 = 38,4 - 0,5 = 37,9 \text{ мм.}$   $q_{\phi 2}' = q_{\phi 2} = 427 \text{ мм}^2.$  Равенство площадей принимается с целью получения одинаковых вытяжек во всех фланцах.

$$m_2' = \frac{q_{\phi 2}'}{h_2'} = \frac{427}{37,9} = 11,3 \text{ мм.}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2' = \frac{m_2'}{x - 0,5 \cdot h_2'} = \frac{11,3}{89,3 - 0,5 \cdot 37,9} = 0,160.$$

$$a_2' = (x - h_2') \cdot \operatorname{tg} \alpha_2' = (89,3 - 37,9) \cdot 0,160 = 8,3 \text{ мм.}$$

$$b_2' = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_2' = 89,3 \cdot 0,160 = 14,3 \text{ мм.}$$



Фиг. 174. Скелет калибра.



Фиг. 175. Окончательный профиль калибра.

Проверка площади;  $q_{\phi 2}' = \frac{a_2' + b_2'}{2} \cdot h_2' = \frac{8,3 + 14,3}{2} \cdot 37,9 = 428 \text{ мм}^2.$

Расхождение в  $1 \text{ мм}^2$ .

**Шейка.** Принимаем коэффициент вытяжки в шейке также  $1,14$ .

Площадь шейки  $q_{ш 2} = q_{ш 1} \cdot 1,14 = 1277 \cdot 1,14 = 1460 \text{ мм}^2.$

$$H_2 = H_1 - z_1 = 182,3 - 0,5 = 181,8 \text{ мм.}$$

$$\delta_2 = \frac{1460}{181,8} = 8,04 \text{ мм.}$$

Этим заканчивается определение всех расчетных размеров калибра, по которым строим расчетный контур (скелет) калибра (фиг. 174). Окончательно форма и размеры калибра получаются после нанесения закруглений (фиг. 175). Закругления острых частей для чистового калибра производятся согласно сортаменту, в остальных калибрах радиусы закруглений выбираются из практических данных по следующему правилу:

$k = t$  — радиус закругления между открытым фланцем и шейкой;

$k' = t'$  — радиус закругления между закрытым фланцем и шейкой;

$r = 0,5 \cdot t$  — радиус закругления в вершине закрытых и открытых фланцев с внутренней стороны;

$r' = 0,25 \cdot t$  — радиус закругления в вершине закрытого фланца с внешней стороны.

<sup>1</sup> Расчеты калибровки следует вести с точностью до  $0,5\%$  для профилей и до  $1\%$  для заготовок.

**III калибр. Открытые фланцы.** По методу Кирхберга вначале определяются размеры открытых фланцев по размерам предыдущих закрытых.

$$h_3 = h'_2 + \omega'_2 = 37,9 + 5 = 42,9 \text{ мм} \cong 43 \text{ мм.}$$

При определении размеров открытых фланцев II калибра необходимо было задаться коэффициентом вытяжки в чистовом калибре. При определении размеров всех остальных калибров Кирхберг предлагает начинать с определения угла наклона открытых фланцев по указанной выше формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{x+1} = \operatorname{tg} \alpha'_x + (\operatorname{tg} \alpha'_x)^2 = \operatorname{tg} \alpha'_x (1 + \operatorname{tg} \alpha'_x);$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \operatorname{tg} \alpha'_2 (1 + \operatorname{tg} \alpha'_2) = 0,160 \cdot 1,160 = 0,186;$$

$$\alpha_3 = (x - h_3) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 = (89,3 - 43,0) \cdot 0,186 = 8,5 \text{ мм};$$

$$b_3 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 = 89,3 \cdot 0,186 = 16,7 \text{ мм.}$$

После определения размеров открытого фланца определяем его площадь.

$$q_{\phi 3} = h_3 \frac{a_3 + b_3}{2} = 43,0 \frac{8,5 + 16,7}{2} = 537 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки 3-го открытого фланца во 2-м закрытом:

$$\mu'_2 = \frac{q_{\phi 3}}{q_{\phi 2}} = \frac{537}{427} = 1,26.$$

*Закрытые фланцы.* По Кирхбергу площадь закрытого фланца равна площади открытого фланца, т. е.

$$q_{\phi 3} = q_{\phi 2} = 537 \text{ мм}^2.$$

$h'_3 = h_3 - 0,5 = 43,4 - 0,5 = 42,9 \text{ мм} \cong 43,0 \text{ мм.}$  Все размеры закрытых фланцев равны размерам открытых фланцев.

Шейка.  $\mu_{ш2} = 1,26; \quad q_{ш3} = 1460 \cdot 1,26 = 1840 \text{ мм}^2;$

$$H_3 = H_2 - 1 = 181,8 - 1 = 180,8; \quad \delta_3 = \frac{1840}{180,8} = 10,2 \text{ мм.}$$

Аналогично производим расчет последующих калибров, занося полученные данные в таблицу калибровки.

**IV калибр. Открытые фланцы.**

$$h_4 = h'_3 + \omega'_3 = 43,0 + 5,0 = 48,0 \text{ мм}; \quad \operatorname{tg} \alpha_4 = \operatorname{tg} \alpha'_3 (1 + \operatorname{tg} \alpha'_3) = 0,186 \cdot 1,186 = 0,221.$$

$$a_4 = (x - h_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 = (89,3 - 48) \cdot 0,221 = 9,2 \text{ мм.}$$

$$b_4 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 = 89,3 \cdot 0,221 = 20,0 \text{ мм.}$$

$$q_{\phi 4} = h_4 \frac{a_4 + b_4}{2} = 48,0 \frac{9,2 + 20,0}{2} = 48,0 \cdot 14,6 = 700 \text{ мм}^2.$$

$$\mu'_3 = \frac{q_{\phi 4}}{q_{\phi 3}} = \frac{700}{537} = 1,30.$$

*Закрытые фланцы.*  $q_{\phi 4} = 700 \text{ мм}^2; \quad h'_4 = h_4 - \lambda'_3 = 43,0 - 0,5 = 42,5 \text{ мм.}$

$$m'_4 = \frac{q_{\phi 4}}{h'_4} = \frac{700}{42,5} = 16,5 \text{ мм}; \quad \operatorname{tg} \alpha'_4 = \frac{m'_4}{x - 0,5 \cdot h'_4} = \frac{15,5}{89,3 - 0,5 \cdot 42,5} = 0,242.$$

$$a'_4 = (x - h'_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha'_4 = (89,3 - 42,5) \cdot 0,242 = 11,3 \text{ мм};$$

$$b'_4 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha'_4 = 89,3 \cdot 0,242 = 21,6 \text{ мм.}$$

Проверка:  $q_{\phi 4} = h_4 \cdot \frac{a_4' + b_4'}{2} = 42,5 \cdot \frac{11,3 + 21,6}{2} = 42,5 \cdot 16,4 = 697 \approx 700 \text{ мм}^2$ .

Шейка.  $q_{ш 4} = q_{ш 3} \cdot \mu_3 = 1840 \cdot 1,30 = 2400 \text{ мм}^2$ ;  $H_4 = H_3 - Z_3 = 180,8 - 2,0 = 178,8 \approx 179 \text{ мм}$ ;  $\delta_4 = \frac{q_{ш 4}}{H_4} = \frac{2400}{179} = 13,4 \text{ мм}$ .

**V калибр. Открытые фланцы.**  $h_5 = h_4' + \omega_4 = 42,5 + 5 = 47,5 \text{ мм}$ .

$$\text{tg } \alpha_5 = \text{tg } \alpha_4' (1 + \text{tg } \alpha_4') = 0,242 \cdot 1,242 = 0,301.$$

$$a_5 = (x - h_5) \cdot \text{tg } \alpha_5 = (89,3 - 47,5) \cdot 0,301 = 12,6 \text{ мм}.$$

$$b_5 = x \cdot \text{tg } \alpha_5 = 89,3 \cdot 0,301 = 26,9 \text{ мм}.$$

$$q_{\phi 5} = h_5 \cdot \frac{a_5 + b_5}{2} = 47,5 \cdot \frac{12,6 + 26,9}{2} = 47,5 \cdot 19,7 = 935 \text{ мм}^2.$$

$$\mu_4' = \frac{q_{\phi 5}}{q_{\phi 4}} = \frac{935}{700} = 1,34.$$

**Закрытые фланцы.**  $q_{\phi 5}' = 935 \text{ мм}^2$ ;  $h_5' = h_4 - \lambda_4 = 48,0 - 0,5 = 47,5 \text{ мм}$ .

Размеры закрытых фланцев равны размерам открытых фланцев.

Шейка.  $q_{ш 5} = q_{ш 4} \cdot \mu_4 = 2400 \cdot 1,34 = 3200 \text{ мм}^2$ ;  $H_5 = H_4 - Z_4 = 179 - 3 = 176 \text{ мм}$ ;  $\delta_5 = \frac{q_{ш 5}}{H_5} = \frac{3200}{176} = 18,2 \text{ мм}$ .

**VI калибр. Открытые фланцы.**  $h_6 = 47,5 + 5 = 52,5 \text{ мм}$ ;  $\text{tg } \alpha_6 = 0,301 \cdot 1,301 = 0,395$ ;  $a_6 = (89,3 - 52,5) \cdot 0,395 = 14,5 \text{ мм}^2$ ;  $b_6 = 89,3 \cdot 0,395 = 35,2 \text{ мм}$ ;  $q_{\phi 6} = 52,5 \cdot \frac{14,5 + 35,2}{2} = 52,5 \cdot 24,8 = 1300 \text{ мм}^2$ .

$$\mu_5' = \frac{1300}{935} = 1,40.$$

**Закрытые фланцы.**  $q_{\phi 6}' = 1300 \text{ мм}^2$ ;  $h_6' = 47,5 + 0,5 = 47,0 \text{ мм}$ ;  $t_6' = \frac{1300}{47,0} = 27,7 \text{ мм}$ ;  $\text{tg } \alpha_6' = \frac{27,7}{89,3 - 0,5 - 47,0} = 0,421$ ;  $a_6' = (89,3 - 47,0) \cdot 0,421 = 17,7 \text{ мм}$ ;  $b_6' = 89,3 \cdot 0,421 = 37,6 \text{ мм}$ .

Проверка:  $q_{\phi 6}' = 47,0 \cdot \frac{17,7 + 37,6}{2} = 47,0 \cdot 27,6 = 1300 \text{ мм}^2$ .

Шейка.  $q_{ш 6} = 3200 \cdot 1,40 = 4470 \text{ мм}^2$ ;  $H_6 = H_5 - Z_5 = 176 - 4 = 172 \text{ мм}$ ;  $\delta_6 = \frac{4470}{172} = 26,0 \text{ мм}$ .

**VII калибр. Открытые фланцы.**  $h_7 = 47,0 + 5 = 52,0 \text{ мм}$ ;  $\text{tg } \alpha_7 = 0,421 \cdot 1,421 = 0,600$ ;  $a_7 = (89,3 - 52,0) \cdot 0,600 = 22,4 \text{ мм}$ ;  $b_7 = 89,3 \cdot 0,600 = 53,6 \text{ мм}$ ;  $q_{\phi 7} = 52,0 \cdot \frac{22,4 + 53,6}{2} = 52,0 \cdot 38,0 = 1980 \text{ мм}^2$ .

$$\mu_6' = \frac{1980}{1300} = 1,52.$$

Полученный нами коэффициент вытяжки 1,52 слишком велик для фланцевых профилей, ибо в металле возникнут большие напряжения, потребуются большая мощность двигателя, что небезопасно с точки зрения прочности валков. Кирхберг рекомендует для уменьшения коэффициента вытяжки изменить расстояние  $x$ , беря его 0,90 ÷ 0,95 от предыдущего.

Примем для расчета VII калибра  $x_7 = 0,95 \cdot 89,3 = 84,5 \text{ мм}$ . Тогда  $a_7 = (84,5 - 52,0) \cdot 0,600 = 19,5 \text{ мм}$ ;  $b_7 = 84,5 \cdot 0,600 = 50,8 \text{ мм}$ ;  $q_7 = 52,0 \cdot \frac{19,5 + 50,8}{2} = 52,0 \cdot 35,1 = 1825 \text{ мм}^2$ ;  $\mu_6' = \frac{1825}{1300} = 1,41$ .

**Закрытые фланцы.**  $q_7' = 1825 \text{ мм}^2$ ;  $h_7' = 52,5 - 0,5 = 52,0 \text{ мм}$ .

Размеры закрытых фланцев равны размерам открытых фланцев.

Шейка.  $q_{шт} = 4470 \cdot 1,41 = 6300 \text{ мм}^2$ ,  $H_7 = 172 - 5 = 167 \text{ мм}$ .

$$\delta_7 = \frac{6300}{167} = 37,7 \text{ мм}.$$

Окончание калибровки соответствует моменту пересечения внутренних наклонных граней полок. Иногда, впрочем, не достигают этого пересечения или, при больших номерах балок, после этого делают еще I калибр. На фиг. 176 изображен скелет VII калибра. Так как  $b_7' + b_7 = 50,8 + 50,8 = 101,6 < 167 \text{ мм}$ , то пересечения нет и калибровку следует продолжать.

VIII калибр. Открытые фланцы.  $h_8 = 52,0 + 5 = 57,0 \text{ мм}$ ;

$$\text{tg } \alpha_8 = 0,600 \cdot 1,600 \cong 1,0 \text{ мм}; \quad x_8 = 84,5 \cdot 0,92 = 78,0 \text{ мм};$$

$$a_8 = (78,0 - 57,0) \cdot 1 = 21,0 \text{ мм}; \quad b_8 = 78,0 \text{ мм};$$

$$q_{\phi 8} = 57,0 \frac{21,0 + 78,0}{2} = 57,0 + 49,5 = 2820 \text{ мм}^2; \quad \mu_7' = \frac{2820}{1825} = 1,55.$$

Вытяжка слишком велика. Примем  $x_8 = 84,5 \cdot 0,90 \cong 76,0 \text{ мм}$ ;  $a_8 = (76,0 - 57,0) \cdot 1 = 19,0 \text{ мм}$ ;  $b_8 = 76,0 \text{ мм}$ ;

$$q_{\phi 8} = 57,0 \frac{19,0 + 76,0}{2} = 57,0 \cdot 47,5 = 2700 \text{ мм}^2;$$

$$\mu_7' = \frac{2700}{1825} = 1,48.$$

Уменьшать далее величину  $x$  не представляется возможным, ибо это поведет к тому, что  $a_8$  станет меньше  $a_7$ , что практически невыполнимо.

Закрытые фланцы.  $h_8' = 52,0 - 0,5 = 51,5 \text{ мм}$ ;  $t_8' = \frac{2700}{51,5} = 52,5$ ;

$$\text{tg } \alpha_8' = \frac{52,5}{76,0 - 0,5 \cdot 51,5} = 1,04; \quad a_8' = (76,0 - 51,5) \cdot 1,04 = 25,5 \text{ мм};$$

$$b_8' = 76,0 \cdot 1,04 = 80 \text{ мм}.$$

$$\text{Проверка: } q_{\phi 8}' = 51,5 \frac{25,5 + 80}{2} = 2700 \text{ мм}^2,$$

Шейка.  $q_{шт} = 6300 \cdot 1,48 = 9300 \text{ мм}^2$ ;  $H_8 = 167 - 6 = 161 \text{ мм}$ .

$$\delta_8 = \frac{9300}{161} = 58,0 \text{ мм}.$$

На фиг. 177 изображен скелет VIII калибра.

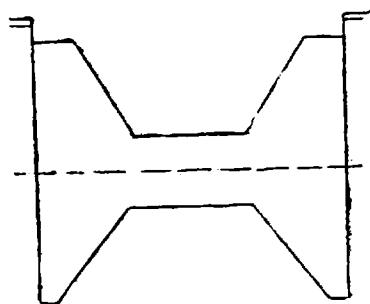
$$2 \cdot b_8 = 2 \cdot 76,0 = 152,0 \text{ мм}; \quad 2 \cdot b_8' = 2 \cdot 80 = 160 \text{ мм}; \quad H_8 = 161 \text{ мм}.$$

Пересечение внутренних граней фланцев почти достигнуто как для закрытых, так и открытых фланцев. Это означает, что VIII калибр можно принять за *разрезной* (разрезающий). На фиг. 178 изображена окончательная форма VIII калибра с закруглениями углов, наклоном внешних граней фланцев и расположением „замка“ валков.

Исходная заготовка. Дальнейшая задача заключается в определении поперечных размеров исходной прямоугольной заготовки. Ширина заготовки определяется следующим образом:

$$H_0 = H_8 - Z_8 = 161 - 7 = 154 \text{ мм}.$$

Для определения высоты заготовки воспользуемся методом Тафеля, состоящем в нижеследующем подборе высоты заготовки  $\Delta_0$  (фиг. 179).

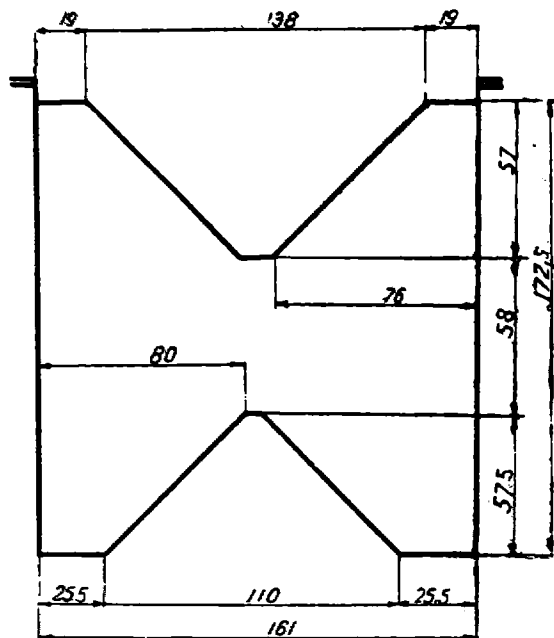


Фиг. 176. Скелет VII калибра.



Разобьем сечение заготовки вертикальными плоскостями на несколько слоев с одинаковой шириной, например, 7 слоев. Этими же плоскостями сечение калибра также разбито на 7 слоев, высота которых такова: 165, 140, 110, 100, 110, 140 и 165 мм. Средняя высота калибра:

$$h_{cp} = \frac{\sum_1^7 h}{7} = \frac{2 \cdot 165 + 2 \cdot 140 + 2 \cdot 110 + 100}{7} = 133 \text{ мм.}$$



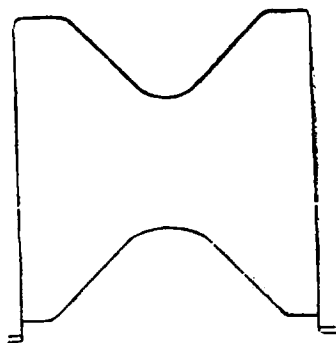
Фиг. 177. Скелет VIII калибра (расчетный контур).

Если задаться высотой заготовки  $\Delta_0'$ , то

$$h_{cp}' = \frac{\Delta_0'}{\mu_8},$$

где  $\mu_8$  — коэффициент вытяжки в VIII калибре.

Задаваясь  $\Delta_0'$ , находим коэффициенты вытяжек отдельных слоев от 1 до 7, определяем  $\mu_{cp} = \mu_8$  и вычисляем  $h_{cp}'$ . Если  $h_{cp}'$  не равно



Фиг. 178. Окончательный профиль VIII калибра (открытые фланцы вниз).

133 мм, то задаемся другой величиной  $\Delta_0''$  и снова таким же образом находим  $h_{cp}$ . Далее интерполяцией или экстраполяцией находим действительную величину.

Для первого раза рекомендуется задаться высотой  $\Delta_0$ , близкой к высоте разрезного калибра, которая в нашем случае равна:

$$\delta_8 + h_8 + h_8' = 58,0 + 57,0 + 51,5 = 166,5 \text{ мм,}$$

Примем высоту заготовки  $\Delta_0' = 170$  мм (фиг. 179).

Так как в разрезном калибре прежде всего происходит соприкосновение гребня валков с серединой заготовки, то под влиянием обжатия средней части происходит утяжка по высоте металла во фланцах. Поэтому Тафель рекомендует высоту слоев задаваемой заготовки брать между линиями  $aa'$  и  $bb'$ , а не между линиями  $AA$  и  $BB$ . Пренебрегая уширением слоев, вытяжки в них равны:

$$\frac{170}{100} = 1,70; \quad \frac{168}{110} = 1,53; \quad \frac{167}{140} = 1,20; \quad \frac{166}{165} = 1,00.$$

Средняя вытяжка

$$\mu_{cp}' = \mu_8' = \frac{\sum_1^7 \mu}{7} = \frac{1,70 + 2 \cdot 1,53 + 2 \cdot 1,20 + 2 \cdot 1,00}{7} = 1,31.$$

$$h_{cp}' = \frac{170}{1,31} = 130 \text{ мм} < 133 \text{ мм.}$$

Полученная высота  $h_{cp}'$  меньше 133 мм, поэтому высота заготовки, принятая нами, мала. Примем большую высоту  $\Delta_0'' = 190$  мм. Тогда:

$$\frac{190}{100} = 1,90; \quad \frac{184}{110} = 1,67; \quad \frac{176}{140} = 1,26; \quad \frac{170}{165} = 1,03.$$

$$\mu_{cp}'' = \mu_8'' = \frac{1,90 + 2 \cdot 1,67 + 2 \cdot 1,26 + 2 \cdot 1,03}{7} = 1,40.$$

$$h_{cp}'' = \frac{190}{1,40} = 136 \text{ мм} > 133 \text{ мм},$$

Полученная теперь величина  $h_{cp}''$  велика. Интерполируем.

$$\begin{array}{l|l} 170 - 130 & 136 - 133 = 3 \text{ мм.} \\ 190 - 136 & 20 - 6 \\ \hline 20 & 6 \end{array} \left| \begin{array}{l} x - 3 \\ x - 3 \end{array} \right| x = \frac{20 \cdot 3}{6} = 10 \text{ мм.}$$

$$h_{cp} = 190 - 10 = 180 \text{ мм.}$$

$$\text{Сечение заготовки } Q_0 = H_0 \cdot \Delta_0 = 154 \cdot 180 = 27770 \text{ мм}^2.$$

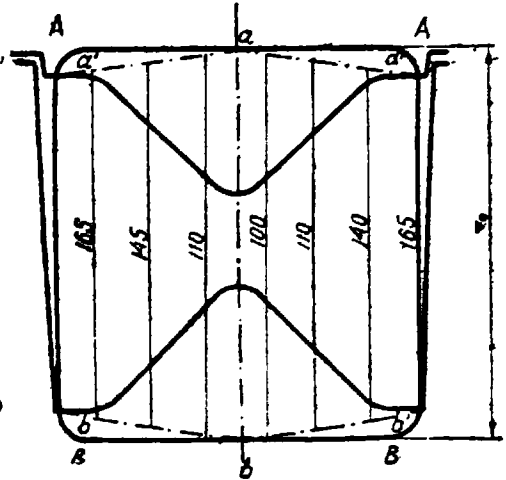
Сечение VIII калибра равно (фиг. 178)

$$Q_8 = 4 \cdot q_{\phi 3} + q_{\text{шс}} + q^I + q^{II} - 4 \cdot q^{III} - 2 \cdot q^{IV} = 4 \cdot 2830 + 9,300 + 550 + 600 - 4 \cdot 15 - 2 \cdot 40 = 21630 \text{ мм}^2.$$

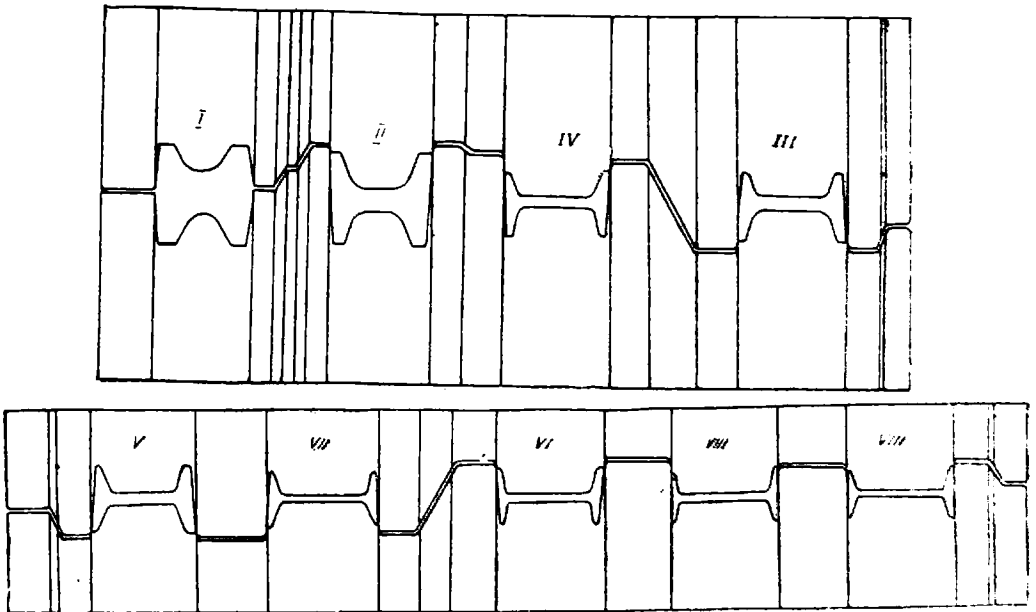
(Здесь площади закруглений в местах соединения шейки с фланцами и во фланцах  $q^I$ ,  $q^{II}$ ,  $q^{III}$  и  $q^{IV}$  определяются планиметрированием).

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре:

$$\mu_8 = \frac{Q_0}{q_8} = \frac{27700}{21630} = 1,28.$$



Фиг. 179. Подбор исходной заготовки по методу Тафеля.



Фиг. 180. Эскизы валков для прокатки балки № 18.

В первом (разрезном) калибре „замок“ (зазор валков) часто делают посредине.

В разрезном калибре рекомендуется брать небольшой коэффициент вытяжки (1,25÷1,35), так как большая работа затрачивается на „разрезание“ металла, раздачу его в стороны без большой вытяжки.

На этом заканчиваем расчет формы и размеров калибров для прокатки двутавровой балки № 18 в стане дуо. Данные сведены в таблицу 28. Последней задачей калибровщика является монтаж валков. На фиг. 180 изображены эскизы валков для прокатки балки № 18.

Таблица 28

Калибровка балки № 18 по Кирхбергу в стане дуо

№ вал. по расч.	r	q <sub>ф</sub> (мм)	Верхние фланцы						Нижние фланцы					Шейка				
			Часть калибра	h (мм)	t (мм)	tg α	a (мм)	b (мм)	Часть калибра	r (мм)	t (мм)	tg α	a (мм)	b (мм)	q <sub>ш</sub> (мм <sup>2</sup> )	Z (мм)	H (мм)	δ (мм)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1,14	373	откр.	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	закр.	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	1277	0,5	182,3	7,0
2	1,26	427	закр.	37,9	11,3	0,160	8,3	14,3	откр.	43,4	9,8	0,145	6,6	13,0	1460	1,0	181,8	8,0
3	1,30	537	откр.	43,0	12,6	0,186	8,5	16,7	закр.	43,0	12,6	0,186	8,5	16,7	1840	1,8	180,8	10,2
4	1,34	700	закр.	42,5	16,5	0,242	11,3	21,6	откр.	48,0	14,6	0,221	9,2	20,0	2400	3,0	179,0	13,4
5	1,40	935	откр.	47,5	19,7	0,301	12,6	26,9	закр.	47,5	19,7	0,301	12,6	26,9	3200	4,0	176,0	18,2
6	1,41	1300	закр.	47,0	27,7	0,421	17,7	37,6	откр.	52,5	24,8	0,395	14,5	35,2	4470	5,0	172,0	26,0
7	1,48	1825	откр.	52,0	35,1	0,600	19,5	50,8	закр.	52,0	35,1	0,600	19,5	50,8	6300	6,0	167,0	37,7
8	1,28	2700	закр.	51,5	52,5	1,04	25,5	80	откр.	57,0	47,5	1,0	19,0	76,0	9300	7,0	161,0	58,0

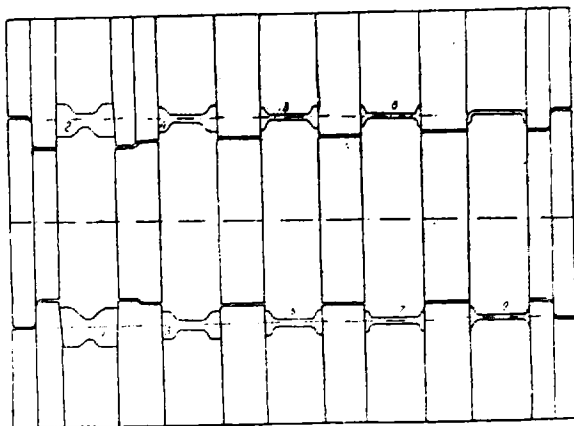
9 Исходная заготовка сечения  $H_0 \cdot \Delta_0 = 154 \cdot 180 = 27700 \text{ мм}^2$

## § 40. Калибровка двутавровой балки в стане трио

При прокатке балок в станах трио, т. е. преимущественно балок малых и средних, весьма выгодно, для более полного использования полотна валков, разместить калибры так, чтобы не было нерабочих (холостых) мест на теле среднего валка, т. е. катать в сопряженных калибрах. На фиг. 181 изображен эскиз валков трио для прокатки балки в сопряженных калибрах. Благодаря применению сопряженных калибров удается разместить все или почти все калибры в одной клетке, что сокращает перевалки и удобно для станов с малым числом клетей. Как видно из фигуры, ручьи среднего валка образуют калибры, как с ручьями верхнего валка, так и с ручьями нижнего валка. Таким образом, например, 3 и 4 калибры имеют одни и те же открытые фланцы, образуемые от среднего валка (все открытые фланцы верхнего и нижнего уровней прокатки образуются средним валком). Закрытые фланцы этих калибров не одинаковы. В чистовом же калибре открытые и закрытые фланцы должны быть равны друг другу и соответствовать размерам сортамента.

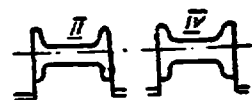
Кирхбергом предложена следующая схема (фиг. 182) прокатки и калибровки фланцевых профилей в станах трио. В чистовом (I) калибре, как указано выше, закрытые и открытые фланцы равны между собою. Во II калибре по ходу расчета (предпоследнем по ходу прокатки) закрытые фланцы равны фланцам I калибра, а открытые фланцы соответствуют II калибру. В III калибре открытые фланцы равны открытым фланцам II калибра (как это ясно из фиг. 182), а закрытые соответствуют III

калибру. В IV калибре закрытые фланцы равны закрытым III калибра, а открытые соответствуют IV калибру. V калибр состоит из открытых фланцев IV калибра и закрытых фланцев своего V калибра и т. д. Таким образом, каждый, за исключением I, калибр состоит из двух неравных



Фиг. 181. Эскиз валков трио для прокатки двутавровой балки в сопряженных калибрах.

частей, из которых одна соответствует номеру этого калибра, а другая номеру предыдущего (по ходу расчета) калибра. Вследствие этого фланцы при прокатке все время (за исключением чистового калибра) при чередовании закрытой и открытой частей калибров испытывают уменьшение сечения, хотя вытяжки в открытых и закрытых фланцах калибра, как увидим ниже, неодинаковы. Но этим жертвуют ради экономии полотна валков. Вытяжку шейки берут средней от вытяжки фланцев.



Фиг. 182. Схема прокатки в сопряженных калибрах.

Произведем для примера расчет нескольких калибров в стане трио для прокатки той же балки № 18. Размеры чистового калибра (горячие размеры профиля) остаются такими же (стр. 147). Открытые фланцы II калибра вычисляются так же, как и в стане дуо, а закрытые фланцы равны фланцам I калибра. Вытяжка в шейке равна:

$$\mu_{ш1} = \frac{\mu_1' + \mu_1}{2} = \frac{1,14}{2} = 1,07.$$

$$q_{ш2} = 1277 \cdot 1,07 = 1370 \text{ мм}^2; \quad \delta_2 = \frac{1370}{181,8} = 7,5 \text{ мм.}$$

**III калибр.** Открытые фланцы равны открытым фланцам II калибра. Для определения размеров закрытого фланца по Кирхбергу необходимо знать его площадь, принимаемую равной площади открытого фланца того же калибра. В целях нахождения необходимой площади Кирхберг предложил для калибровки в сопряженных калибрах трио следующий способ. Допуская, что открытые фланцы II калибра являются как бы закрытыми, строим по ним вспомогательные открытые фланцы III калибра для нахождения их площади. Найденную площадь принимаем как площадь закрытых фланцев и по площади определяем их размеры. Что касается утяжки фланцев, удлинения фланцев и уширения шейки, то их величины такие же, как и для калибровки в дуо.

*Вспомогательные открытые фланцы.*  $h_3'' = h_2 + \omega_2 = 43,4 + 5 = 48,4$  мм.

$$\operatorname{tg} \alpha_3'' = \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + \operatorname{tg} \alpha_2) = 0,145 \cdot 1,145 = 0,166.$$

$$\alpha_3'' = (x - h_3'') \cdot \operatorname{tg} \alpha_3'' = (89,3 - 48,4) \cdot 0,166 = 6,6 \text{ мм.}$$

$$b_3'' = x \operatorname{tg} \alpha_3'' = 89,3 \cdot 0,166 = 15,0 \text{ мм.}$$

$$q_{\phi 3} = h_3'' \frac{\alpha_3'' + b_3''}{2} = 48,4 \frac{6,6 + 15,0}{2} = 48,4 \cdot 10,8 = 523 \text{ мм}^2.$$

**Закрытые фланцы III и IV калибров.**

$$h_3' = h_2 - \lambda_2 = 43,4 - 0,5 \cong 43,0 \text{ мм.}$$

$$q_{\phi 3}' = 523 \text{ мм}; \quad m_3' = \frac{523}{43,0} = 12,2 \text{ мм.}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3' = \frac{12,2}{89,3 - 0,5 \cdot 43,0} = 0,182.$$

$$\alpha_3' = (89,3 - 43,0) \cdot 0,182 = 8,3 \text{ мм}; \quad b_3' = 89,3 \cdot 0,182 = 16,2 \text{ мм.}$$

**Коэффициент вытяжки открытых фланцев III калибра в закрытых фланцах II калибра:**

$$\mu_2' = \frac{427}{373} = 1,14.$$

**Коэффициент вытяжки закрытых фланцев III калибра в открытых фланцах II калибра:**

$$\mu_2 = \frac{523}{427} = 1,226.$$

$$\text{Средний коэффициент вытяжки } \mu_{\text{ср}} = \frac{\mu_2' + \mu_2}{2} = \frac{1,14 + 1,226}{2} = 1,183;$$

$$Q_{\text{ш3}} = Q_{\text{ш2}} \cdot \mu_2 = 1370 \cdot 1,183 = 1620 \text{ мм}^2;$$

$$H_3 = H_2 - Z_3 = 181,8 - 1 \cong 181 \text{ мм}; \quad \delta_3 = \frac{1620}{181} = 9,0 \text{ мм.}$$

Открытые фланцы IV калибра определяем по закрытым фланцам III калибра. Таковы же будут и открытые фланцы V калибра. Для определения закрытых фланцев V калибра поступаем так же, как и для III калибра, т. е., принимая открытые фланцы IV калибра как бы закрытыми, строим на них вспомогательные открытые фланцы V калибра для нахождения их площади. Последнюю принимаем как площадь закрытых фланцев и по площади определяем их размеры.

Остальные калибры рассчитываются подобным же образом. Вследствие несимметричности калибров относительно шейки, в разрезном калибре разрезывание металла делается неодинаковым с обеих сторон. Возможно разрезывание произвести в 2 разрезных калибрах (для больших номеров балок) поочередно с каждой стороны. Подбор исходной заготовки производится таким же образом по методу Тафеля, как и для стана дуо. Данные расчета сведены в таблицу 29.

Калибровка балки № 18 по Кирхбергу в стане трио

№ кал. по расч.	Верхние фланцы								Нижние фланцы								Шейка				
	Часть калибра	$\mu$	$q_{\phi}$ (мм <sup>2</sup> )	$h$ (мм)	$t$ (мм)	$\text{tg } \alpha$	$a$ (мм)	$b$ (мм)	Часть калибра	$\mu$	$q_{\phi}$ (мм <sup>2</sup> )	$h$ (мм)	$t$ (мм)	$\text{tg } \alpha$	$a$ (мм)	$b$ (мм)	$\nu$	$q_{ш}$ (мм <sup>2</sup> )	$Z$ (мм)	$l$ (мм)	$v$ (мм)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	откр.	1,0	373	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	закр.	1,14	373	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	1,07	1277	0,5	182,3	7,0
2	закр.	1,14	373	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	откр.	1,226	427	43,4	9,8	0,145	6,6	13,0	1,183	1370	0,8	181,8	7,5
3	откр.	1,226	427	43,4	9,8	0,145	6,6	13,0	закр.	1,27	523	43,0	12,2	0,182	8,3	16,2	1,25	1620	2,0	181,0	9,0
4	закр.	1,27	523	43,0	12,2	0,182	8,3	16,2	откр.	1,30	665	48,0	13,9	0,217	8,7	19,1	1,285	2020	3,0	179,0	11,3
5	откр.	1,30	665	48,0	13,9	0,217	8,7	19,1	закр.	1,37	870	47,5	18,3	0,230	11,6	25,0	1,335	2600	4,0	176,0	14,8
6	закр.	1,37	870	47,5	18,3	0,280	11,6	25,0	откр.	1,44	1190	52,5	27,7	0,336	13,2	32,3	1,405	3480	5,0	172,0	20,2
7	откр.	1,44	1190	52,5	27,7	0,336	13,2	32,3	закр.	1,65	1710	52,0	33,0	0,520	19,4	46,6	1,54	4900	6,0	167,0	29,3
8	закр.	1,65	1710	52,0	33,0	0,520	19,4	46,6	откр.	1,33	2770	57,0	48,7	0,80	25,8	71,5	1,50	7550	7,0	161,0	47,0
9	откр.	—	2770	57,0	48,7	0,80	25,8	71,5	закр.	—	3800	56,5	67,5	1,1	35,0	100	—	11300	8,0	154,0	73,0

### § 41. Калибровка фланцевых профилей по методу Торкара

Недостатком калибровки фланцевых профилей по методу Кирхберга является невозможность приспособления калибровки и числа пропусков к конкретным условиям, ибо величины вытяжек и число пропусков не подвергаются выбору, а определяются самим ходом расчета. С целью приспособления калибровки к конкретным условиям данного става Торкар предложил способ калибровки в дуо, основывающийся на выборе вытяжек и числа пропусков. Приведем в качестве примера калибровку балки № 18.

Вытяжку в чистовом калибре из соображений низкой температуры металла и получения точного профиля Торкар предлагает брать небольшой и вычислять по методу Кирхберга, т. е.  $\mu_1 = 1 + \text{tg } \alpha_1$ .

Поэтому II калибр имеет такие же размеры, какие были получены нами при расчете в дуо по способу Кирхберга.

Далее, Торкар предлагает на основе учета температуры и качества металла, а также мощности двигателя и желательного числа пропусков, задаться коэффициентами вытяжек по отдельным пропускам, предварительно задавшись средним коэффициентом вытяжки.

Размеры исходной заготовки с достаточной для практических надобностей точностью Торкар предлагает определять так:

$$\text{ширина заготовки } H_0 = H_1 - \sum_1^n z,$$

$$\text{высота заготовки } \Delta_0 \cong 2 \cdot B_1,$$

где  $H_1$  — ширина шейки в I калибре,

$\sum_1^n h$  — сумма величин уширения во всех пропусках,

$B_1$  — ширина профиля (фиг. 173).

Высоту заготовки точно определить заранее (до калибровки) не представляется возможным. В дальнейшем она может быть уточнена без вреда для расчета калибровки, лишь с некоторым изменением вытяжки в разрезном калибре. Уширения в калибрах принимаем согласно величинам таблицы 26.

Для нашего примера имеем, задаваясь 7 калибрами<sup>1</sup>:

$$H_0 = 182,3 - (0,5 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) = 161 \text{ мм.}$$

$$\Delta_0 = 2 \cdot 83,7 \cong 170 \text{ мм.}$$

Сечение исходной заготовки  $H_0 \cdot \Delta_0 = 161 \cdot 170 = 27\,300 \text{ мм}^2$ .

Сечение II калибра (по скелету):

$$Q_2 = 4 \cdot q_{\text{фл}} + q_{\text{ш}} = 4 \cdot 427 + 1460 = 3168 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент суммарной вытяжки от заготовки до II калибра равен:

$$\sum \mu = \frac{27\,300}{3168} = 8,6.$$

При принятом нами числе пропусков средний коэффициент вытяжки равен:

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[n-1]{\sum \mu} = \sqrt[6]{8,6} = 1,422.$$

Этот коэффициент принадлежит к числу вышесредних, но приемлем для нормального качества мягкой стали с начальной температурой нагрева около 1200°. Допуская гибкость в решении этого вопроса, в случае непригодности  $\mu_{\text{ср}}$  следует задаться другим количеством пропусков и вновь определить  $\mu_{\text{ср}}$ .

Примем  $\mu_{\text{ср}} = 1,422$ . Целесообразно вытяжки понижать по ходу прокатки. Возьмем следующий ряд коэффициентов: 1,36 · 1,55 · 1,52 · 1,47 · 1,40 · 1,30 = 8,6.

В разрезном калибре следует принять коэффициент 1,36, меньше, чем в последующих калибрах, из соображений учета больших усилий, затрачиваемых на разрезание металла.

Дальнейшую калибровку удобно производить, сразу заполняя таблицу 30. Заносим величины  $\mu$  и определяем площади сечения фланцев и шейки, принимая для всех элементов профиля одинаковые  $\mu$ .

Таблица 30

Калибровка балки № 18 по способу Торкара

№ кал. по расч.	$\mu$	$q_{\text{ф}}$ (мм <sup>2</sup> )	Верхние фланцы						Нижние фланцы						Шейка			
			Часть калибра	$h$ (мм)	$t$ (мм)	$tg \alpha$	$a$ (мм)	$b$ (мм)	Часть калибра	$h$ (мм)	$t$ (мм)	$tg \alpha$	$a$ (мм)	$b$ (мм)	$q_{\text{ш}}$ (мм <sup>2</sup> )	$Z$ (мм)	$H$ (мм)	$\delta$ (мм)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1,14	373	откр.	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	закр.	38,4	9,7	0,14	7,0	12,5	1277	0,5	182,3	7,0
2	1,30	427	закр.	38,0	11,3	0,160	8,3	14,3	откр.	43,4	9,8	0,145	6,6	13,0	1460	1	182	8,0
3	1,40	555	откр.	43,0	12,9	0,190	8,7	17,2	закр.	43,0	12,9	0,190	8,7	17,2	1900	2	181	10,5
4	1,47	777	закр.	42,5	18,3	0,270	12,4	24,2	откр.	48,0	16,2	0,250	10,0	22,4	2660	3	179	14,7
5	1,52	1140	откр.	47,5	24,0	0,370	14,9	32,9	закр.	47,5	24,0	0,370	14,9	32,9	3920	4	176	22,2
6	1,55	1735	закр.	47,0	37,0	0,570	23,3	50,7	откр.	52,5	33,0	0,525	18,7	47,2	5960	5	172	34,6
7	1,36	2690	откр.	52,0	51,5	0,820	29,6	73,6	закр.	52,0	51,5	0,820	29,6	73,6	9250	6	167	55
0	Исходная заготовка сечением 161 × 170 = 27 300 мм <sup>2</sup>																161	170

<sup>1</sup> Прокатка в четное число пропусков согласуется с расположением клеток в одну линию.

Высоты фланцев  $h$  и  $h'$  определяем аналогично предыдущим приемам по методу Кирхберга, идя против хода прокатки. Далее, совершенно аналогично для всех калибров, производим следующие определения и заносим в таблицу.

$$m = \frac{q\phi}{h}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{x - 0,5 \cdot h};$$

$$a = (x - h) \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad b = x \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Размеры шейки определяются аналогично предыдущему. Так как  $2b_7 = 2 \cdot 73,6 = 147,2 \cong 161$  мм и  $2b_7' = 2 \cdot 73,6 = 147,2 \cong 161$  мм, то мы почти достигли пересечения внутренних граней фланцев на шейке, получив разрезной калибр. Площадь скелета VII калибра

$$Q_7 = 4 \cdot 2690 + 9250 = 20\,210 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки:

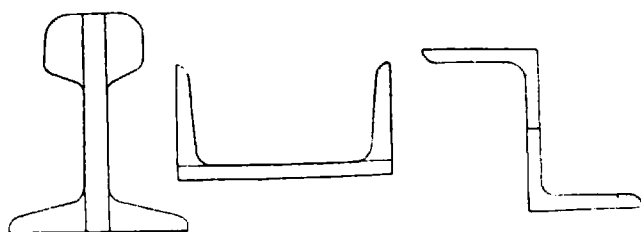
$$\mu_7 = \frac{27\,300}{20\,210} = 1,36.$$

Если учитывать закругления, площадь несколько увеличится. С другой стороны, подбор высоты заготовки по методу Тафеля может дать несколько другую величину, чем 170 мм. Однако эти отступления, подробности которых предлагается разобрать самому учащемуся, приводят обычно к приемлемому коэффициенту вытяжки в VII калибре.

## § 42. Прокатка и калибровка прочих профилей

Рассмотренные нами способы прокатки и калибровки простых профилей и двутавровой балки дают возможность наметить схему прокатки и калибровки других профилей, как фланцевых, так и прочих фасонных.

Основным условием калибровки любого сложного профиля является правильная разбивка профиля на простые элементы, калибровку которых



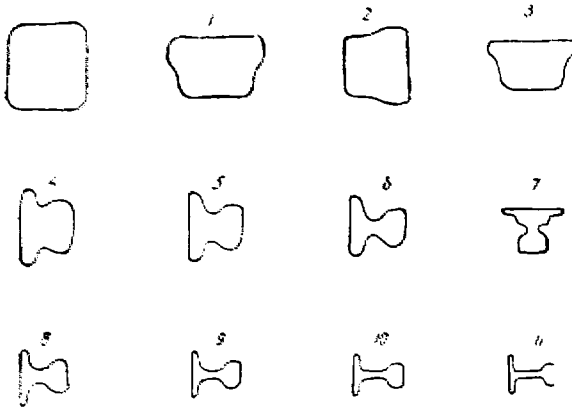
Фиг. 183. Разбивка сложных профилей на простые элементы.

можно производить по одному из рассмотренных выше способов. На фиг. 183 представлена разбивка ряда профилей на простые элементы: рельса на шейку (полосу) и фланцы, два из которых (пяты)—длинные и тонкие, а другие два (головка)—толстые и короткие; швеллера на шейку и фланцы; зетового железа на два уголка. Калибровку этих профилей можно свести: первых двух к калибровке балки, третьего—к калибровке уголка.

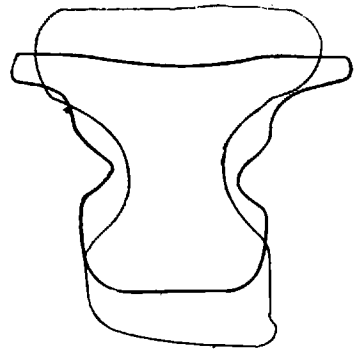
Наряду с этим калибровка этих профилей, из коих рельсы и швеллера являются массовой продукцией, имеет некоторые особенности. На



фиг. 184 изображена схема прокатки рельса, из которой видно, что наряду с калибрами, напоминающими по виду калибры двутавровой балки, имеется еще калибры Т-образной формы, так называемые тавровые или



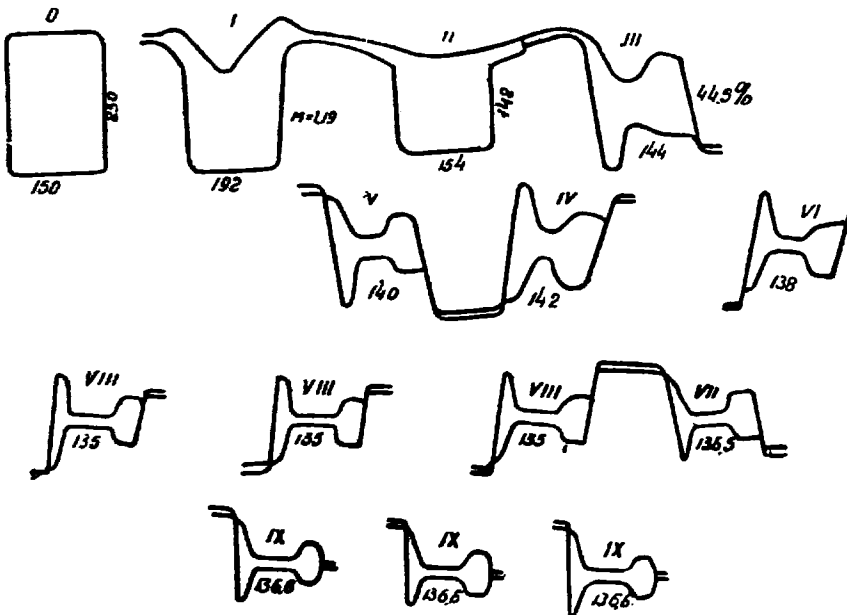
Фиг. 184. Схема прокатки рельса.



Фиг. 185. Деформация рельсовой полосы в тавровом калибре.

ребровые. Назначением их является регулирование (осадка) высоты рельса и утонение (раздавливание) его пяты. При этом головка мало деформируется (фиг. 185).

Подходя к рассмотрению деформации в тавровом рельсовом калибре с точки зрения натуральных вытяжек, мы можем сказать, что весь профиль имеет вытяжку меньше, чем его крайние части, подвергающиеся



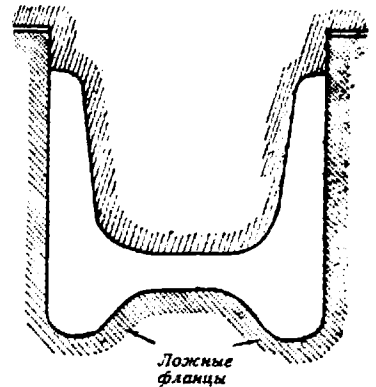
Фиг. 186. Косое расположение калибров для прокатки рельсов.

раздавливанию. Вытяжке их препятствует малая вытяжка остальной большей части профиля, поэтому металл в обжатых частях пяты сильно устремляется в ширину, создавая тонкую пяту, что и является целью таврового калибра, применение которого возможно благодаря несимметричности рельсового профиля. Вместе с этим тавровый калибр, вызывая

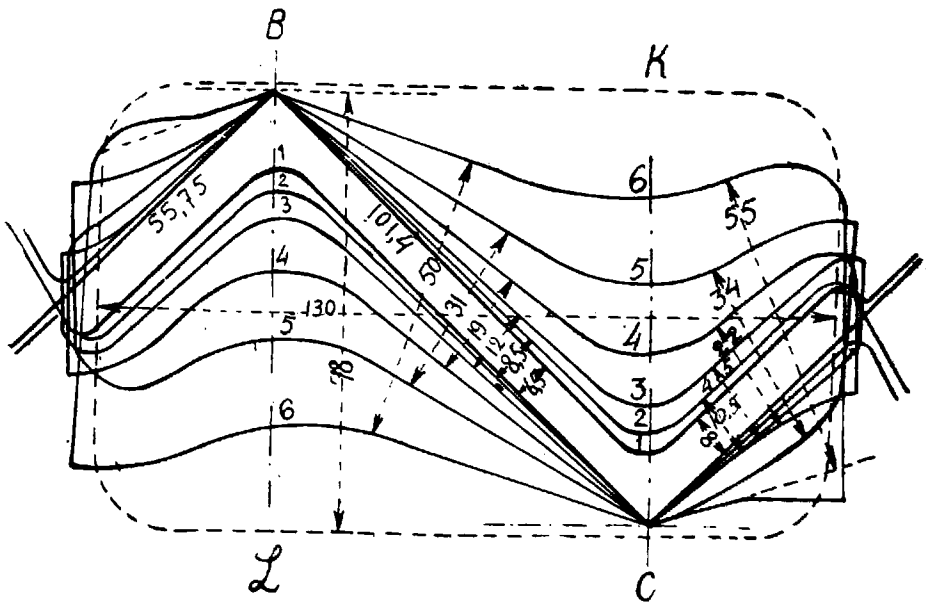
большие напряжения в металле, является для качества его вредным калибром, ведущим при плохом качестве металла к надрывам перьев, к остаточным напряжениям, проявляющимся при дальнейшей прокатке, остывании и холодной отделке рельсов. Вот почему стремятся избежать таврового калибра, применяя для утонения пяты косо расположенные калибры в валках (фиг. 185), что позволяет иметь, помимо бокового, также небольшое вертикальное давление (прямое давление) валков на фланцы для обжатия пяты и регулирования высоты рельса. Косая калибровка рельсов нашла себе применение на многих заграничных заводах и в виду ее преимуществ вводится на некоторых заводах СССР.

Что касается калибровки швеллеров, то казавшийся с первого взгляда наиболее простой способ, заключающийся в одностороннем разрезывании заготовки и последующем боковом обжатии фланцев и прямом обжатии шейки не получил применения, ибо при этом металл в углах благодаря слабой деформации сильно остывает, что затрудняет прокатку и препятствует получению точного и ненапряженного профиля. С целью достаточной деформации металла в углах калибровка швеллера ведется с применением противофланцев или ложных фланцев (фиг. 187). Полученные в разрезном калибре ложные фланцы в дальнейшем подвергаются энергичному прямому обжатию, в результате которого ложные фланцы постепенно уменьшаются по высоте до полного их уничтожения в чистовом или в предотделочном калибре.

Насколько энергично может быть произведено обжатие ложных фланцев, указывает тот факт, что на многих заводах для прокатки швеллеров и двутавровых балок одного и того же номера (той же высоты) употребляются те же черновые валки и лишь чистовые валки, в которых делается 4—5 пропусков, самостоятельны для швеллеров и балок.



Фиг. 187. Калибры с ложными фланцами для прокатки швеллера.

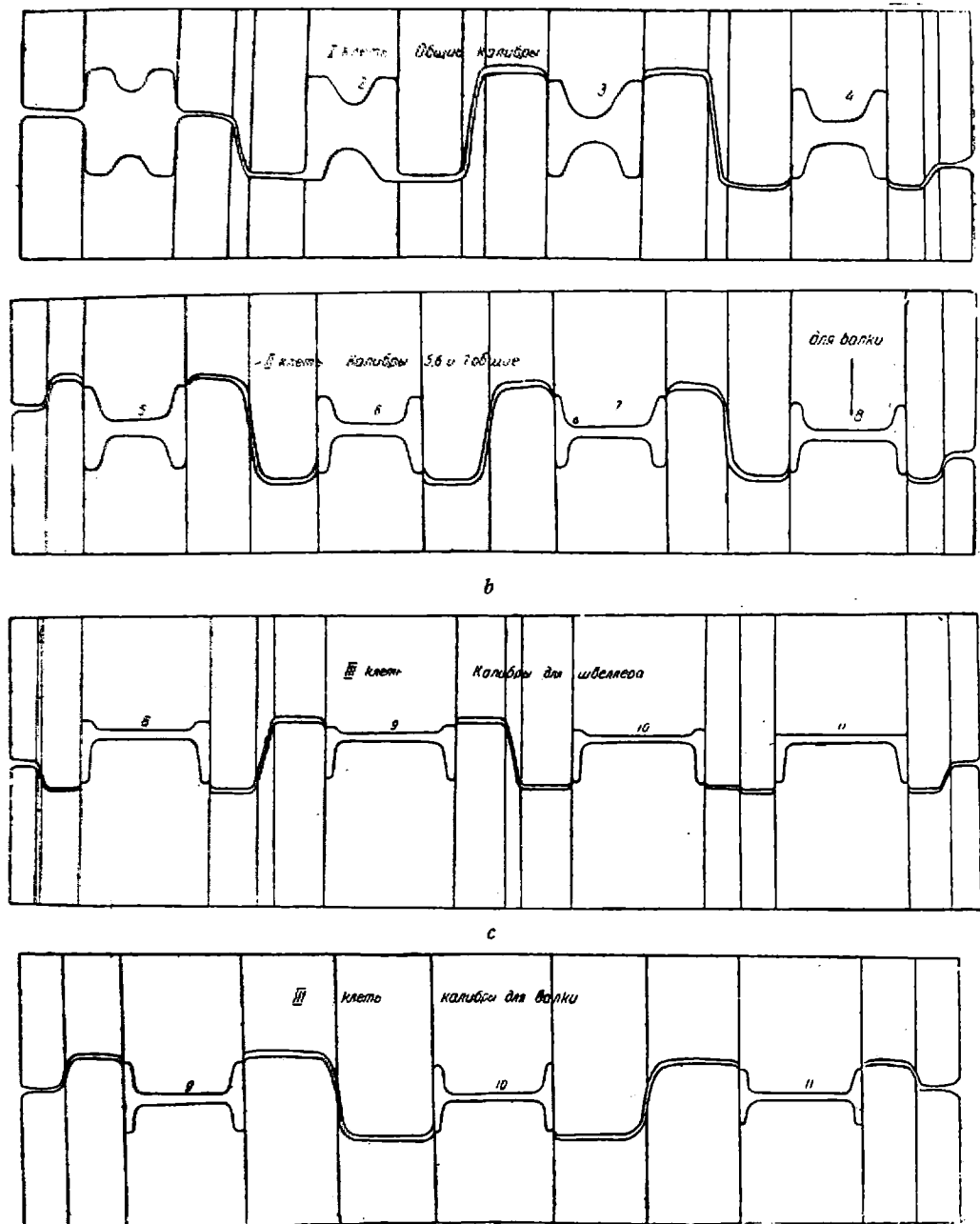


Фиг. 188. Наложённые калибры для прокатки зетового железа.

На фиг. 188 представлены наложенные друг на друга калибры для прокатки зетового железа с постепенным утонением и сгибом полок в двух местах.

На фиг. 189 приведены эскизы валков трех клеток рельсо-балочного стана для прокатки балок и швеллеров № 30; первые 6 калибров являются общими, а остальные—самостоятельными.

Необходимо указать, что мы еще не имеем достаточных теоретических данных о деформации металла при прокатке, что затруд-



Фиг. 189. Валки для прокатки швеллера и балки № 30.

няет расчет и обоснование калибровки. Для прокатки многих профилей практикой найдено более или менее удачное решение вопроса, и поэтому в этом деле весьма часто приходится прибегать к опыту мастеров-калибровщиков, в руках которых до сего времени в значительной мере сосредоточено дело калибровки.

## РАБОТА, ЗАТРАЧИВАЕМАЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

### § 43. Хронометраж и графическое изображение процесса прокатки

Весьма существенное значение имеет изучение процесса прокатки во времени, т. е. нахождение продолжительности отдельных пропусков и пауз и их сочетания. Наблюдение продолжительности и последовательности пропусков и пауз на работающих прокатных станах производится с помощью хронометража. Последний может быть с успехом применен также и для исследования работы любого другого агрегата.

Конечной целью хронометражных наблюдений может быть: 1) выявление "узких" мест с целью их ликвидации для повышения производительности, 2) получение данных, пригодных для расчета и проектирования работы новых или реконструируемых агрегатов, в частности прокатных станов.

Вторая задача более сложна и требует обобщения данных по ряду аналогичных наблюдаемых агрегатов. Результирующие данные, полученные при этом, пригодны для проектирования работы таких же агрегатов; они могут быть перенесены на агрегаты другого типа лишь с известными поправками. Поэтому для вновь устанавливаемых агрегатов новых типов приходится пользоваться ориентировочными данными, которые затем проверяются наблюдениями над действительной работой этих агрегатов. Особенно большое значение имеет исследование работы вновь установленных и устанавливаемых новейших мощных прокатных станов: советских блумингов, непрерывных и полунепрерывных станов, вспомогательного прокатного оборудования. Данные исследования послужат базой для проектирования работы этих агрегатов и для дальнейшего их усовершенствования.

Хронометраж осуществляется с помощью секундомеров. В последнее время для этой цели применяются более усовершенствованные самозаписывающие приборы—*хронометры*. Не останавливаясь здесь на способах проведения хронометража прокатных станов приведем лишь результаты хронометража одного из рельсобалочных станов, представленные в таблице 31. Данные таблицы показывают различную по времени длительность одних и тех же операций.

Отклонения от нормального хода при хорошо налаженном производстве сравнительно редки. Обязанность хронометражиста—обратить на них внимание и отметить в наблюдательной карточке причины необычных по продолжительности наблюдений. При плохо налаженном производстве такие отклонения могут часто повторяться; все соответствующие записи должны быть снабжены примечаниями хронометражиста. Эти примечания необходимы для правильной обработки наблюдаемых хронометражных данных.

Возвращаясь к нашему примеру хронометража дуо-реверсивного рельсо-балочного стана и рассматривая продолжительность отдельных пропусков и пауз по всем наблюдениям, мы замечаем следующее. В 1-м пропуске наряду с непомерно большой величиной 17 секунд стоит непомерно малая величина 5 секунд. При этом нужно учесть, что в наблюдениях нет даже соседних указанным величин, т. е. 16, 15, 14 и 13 секунд, а также нет 6 секунд. Естественно, что цифры 17 и 5 получены при каких-то необычных условиях прокатки, относительно которых в наблюдательной карточке хронометражиста должно быть сделано соответствующее примечание.

Паузы между 1-ым и 2-ым пропусками дают большее расхождение, однако и здесь имеются отдельные отклонения, которые обязаны своим происхождением необычным условиям работы и относительно которых в наблюдательной карточке также должны быть хронометражистом сделаны соответствующие примечания. К числу таких цифр относятся 24, 58, 6, 23, 7, 8. Они здесь составляют большой процент по отношению к общему числу наблюдений, чем при пропусках, да и при этом остальные величины дают большие отклонения друг от друга, чем в предыдущем случае. Это показывает на отсутствие автоматизации и плохо установившийся процесс работы.

Рассматривая величины последующих пропусков и пауз, мы также наблюдаем подобные отклонения. В таблице 31 эти отклоняющиеся от нормальных величины выделены черным. Остальные величины по каждой операции суммированы и делением на их число определены средние величины длительности операций. Эти величины служат для установления возможной производительности стана.

Данные хронометража рельсобалочного стана<sup>1</sup>

№ ст.	Наименование операций	Часы																	Среднее время															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	1 пропуск . . . . .	17	7	10	12	5	8	9	8	7	9	8	8	8	7	10	8	11	7	10	12	9	8	7	7	7	8	7	8	7	9	7	607	8,5
2	пауза 1—2 . . . . .	17	13	12	8	12	24	18	11	10	11	11	10	10	17	13	17	11	15	12	16	58	15	13	12	6	15	23	15	7	21	16	653	13,0
3	2 пропуск . . . . .	9	9	10	7	18	9	8	9	9	11	10	9	26	8	9	11	8	9	10	11	7	8	9	8	24	10	10	7	8	9	265	9,9	
4	пауза 2—3 . . . . .	5	10	10	8	13	9	8	11	11	10	9	10	12	9	10	15	8	9	16	18	13	12	8	9	23	15	15	9	8	12	10	314	0,7
5	3 пропуск . . . . .	10	9	8	8	8	16	8	8	6	10	8	8	8	9	8	9	9	10	10	9	10	8	9	9	10	10	10	9	11	7	269	9,1	
6	пауза 3—4 . . . . .	15	15	12	10	13	12	13	12	12	14	10	13	13	14	16	24	13	10	12	14	10	8	14	10	12	10	11	20	19	21	16	322	12,4
7	4 пропуск . . . . .	12	11	10	11	7	9	9	10	14	11	11	10	23	9	10	11	11	10	11	11	9	13	11	10	8	11	12	9	10	7	13	281	12,3
8	пауза 4—5 . . . . .	9	8	9	9	12	11	10	10	9	8	8	8	9	9	10	9	7	6	9	9	16	11	8	4	10	9	7	8	11	9	334	9,3	
9	5 пропуск . . . . .	12	12	11	10	10	23	9	10	10	12	11	11	14	8	10	10	12	13	11	10	10	11	11	8	8	10	12	11	11	11	11	307	10,6
10	пауза 5—6 . . . . .	13	11	11	13	15	12	11	11	11	11	13	11	13	15	11	11	9	9	15	9	12	11	13	13	11	12	13	9	21	13	4	289	12,2
11	6 пропуск . . . . .	13	12	14	11	11	11	11	14	12	14	12	11	11	10	11	12	13	11	11	19	11	12	12	13	9	9	12	12	12	14	12	319	11,8
12	пауза 6—7 . . . . .	9	10	9	10	8	16	9	8	10	9	9	11	10	12	9	8	9	9	9	15	10	10	9	7	11	12	9	7	13	9	11	379	9,9
13	7 пропуск . . . . .	15	17	16	13	14	10	13	13	13	15	13	14	13	11	14	13	14	11	16	12	10	13	14	17	11	12	13	14	12	18	13	366	13,4
14	пауза 7—8 . . . . .	14	9	11	11	13	18	10	10	9	10	12	11	12	11	8	10	9	12	9	17	11	10	10	9	11	10	10	10	15	10	11	307	10,8
15	8 пропуск . . . . .	17	20	12	15	13	10	15	15	15	18	17	13	16	14	16	16	17	15	19	18	14	14	15	16	12	17	17	11	17	16	14	417	15,3
16	пауза 8—9 . . . . .	10	9	14	10	11	18	18	10	8	10	10	11	9	10	12	9	8	10	9	34	10	10	9	9	11	9	9	10	10	10	12	344	10,5
17	9 пропуск . . . . .	23	26	19	16	15	15	14	20	18	22	21	16	19	18	28	20	19	16	18	19	16	43	17	23	15	21	8	20	40	22	17	540	18,0
	Итого продолж. прэл.	92	85	88	79	95	123	98	83	81	83	84	85	88	97	90	103	74	80	91	132	140	95	84	73	95	92	97	88	104	105	99	2654	88,8
	Итого продолж. пауз	128	123	110	103	101	111	96	107	100	127	111	100	139	92	117	110	115	102	115	116	94	132	105	111	104	108	101	100	128	113	105	3238	108,9

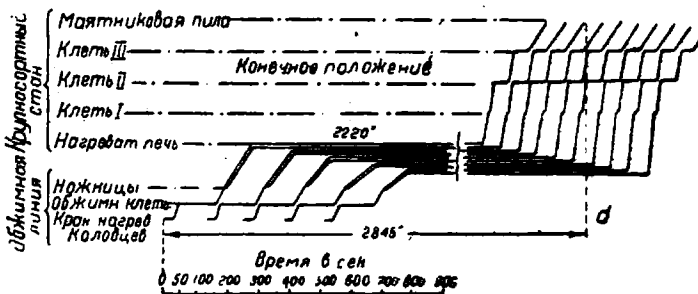
<sup>1</sup> Числа, выделенные черным, в средне-арифм. вычисление не вошли.

Для рассматриваемого нами рельсо-балочного стана продолжительность всех 9 пропусков составляет 88,8 сек, продолжительность 8 пауз—108,9 сек, а продолжительность прокатки 1 болванки поэтому  $88,8 + 108,9 = 197,7$  сек. Учитывая, что от конца прокатки в последнем пропуске одной болванки до начала прокатки в первом пропуске следующей болванки необходим некоторый промежуток времени, установленный хронометражем для данного случая в 10 сек., получаем задоленную става на прокате 1 болванки, равную  $197,7 + 10 = 207,7 \approx 208$  сек. Возможная производительность стана в час фактической работы (т. е. в час работы без остановок и каких-либо задержек) составляет:

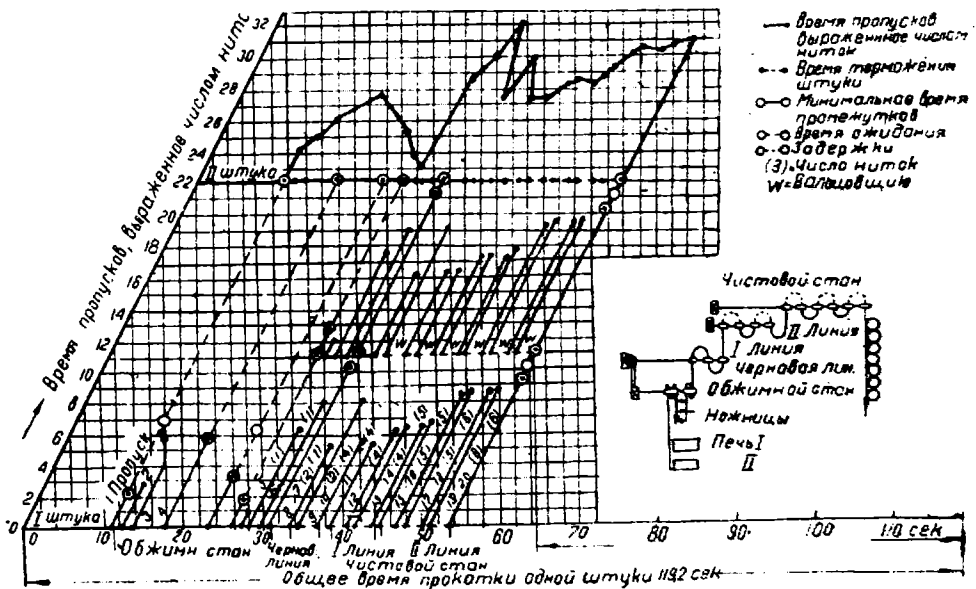
$$\frac{3600}{208} = 17,3 \text{ слитка, или при весе слитка } 2,8 \text{ т}$$

$$17,3 \cdot 2,8 = 484 \text{ т.}$$

Вследствие различных мелких случайных остановок и задержек стана действительная (практическая) производительность его обычно ниже теоретически возможной, полученной расчетом. Чем лучше налажена работа стана, тем больше его действительная производительность приближается к теоретической.



Фиг. 190. График Адамцекого.



Фиг. 191. Косой график Руммеля.

Весьма удобно представлять хронометражные данные работы стана наглядно в виде графиков. Наибольшее применение получили графики Адамцекого (фиг. 190) и Руммеля (фиг. 191).

График Адамцекого построен следующим образом. По оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат—необходимые операции,

которыми здесь являются выдача краном слитков из колодцев, прокатка в блуминге, разрезка на ноже, подогрев заготовок в печах, прокатка последовательно в 1, 2 и 3 клетях и разрезка на пилах. Откладывая начало и конец каждой операции, получаем горизонтальные отрезки против соответствующих наименований операций; соединив горизонтальные отрезки наклонными прямыми, получаем ломаную линию, отражающую передвижение прокатываемых штук и производимые над ними операции.

В косом графике Руммеля по оси абсцисс отложено время в секундах от начала процесса, а по наклонному направлению — длительность отдельных операций в секундах. Начало каждой операции по текущему времени откладывается от оси абсцисс, длительность же операции читается по наклонному направлению. Если принять горизонтальный и вертикальный масштабы одинаковыми или если вертикальный больше (как на фиг. 191), то, увеличивая наклон линий (жирных), мы тем самым увеличиваем их длину, делая график более наглядным. Но при слишком большом наклоне линий, наглядность теряется, и график получается растянутым.

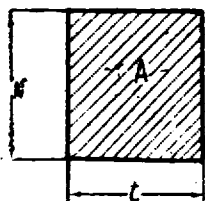
На фиг. 191 представлен косой график прокатки в проволочном стане с нумерацией наклонных линий соответственно порядковым номерам пропусков. В скобках указано число одновременно прокатываемых ниток, т. е. наклонная линия дает среднюю задолженность на 1 штуку всех участвующих в работе калибров. График показывает, что наиболее задолжен 7-й пропуск; отложив от конца последнего необходимый интервал до начала прокатки следующей штуки, получаем задолженность стана на прокатке одной штуки. Проведя горизонтальную линию, аналогично наносим график прокатки второй половины болванки. Далее строим график прокатки второй болванки по обеим ее половинам. Соединив конечные точки наклонных линий, получаем ломаную линию, показывающую степень равномерности в задолженности отдельных клетей и вспомогательных агрегатов стана. По времени, прошедшему от момента задачи в стан первой болванки до задачи второй болванки, можно определить производительность стана.

## § 44. Работа прокатки и ее графическое изображение

Графический метод весьма удобен и нагляден и для изображения работы прокатки. Из выражения

$$A = N \cdot t,$$

где  $A$  — работа,  
 $N$  — мощность,  
 $t$  — время,



Фиг. 192. Графическое выражение работы прокатки.

находим, что *графическое выражение работы прокатки представляет площадь прямоугольника (фиг. 192), одна сторона которого равна затрачиваемой мощности, а другая — продолжительности ее действия.* Отложив по оси абсцисс время в секундах, а по оси ординат мощность в лошадиных силах или киловаттах, и откладывая время пропусков и пауз и соответствующие

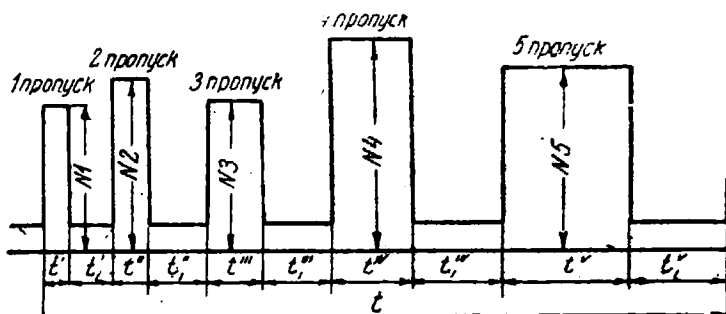
величины мощностей, получим *диаграмму работы прокатки.* Если вместо мощностей по оси абсцисс отложим моменты прокатки, то получим *диаграмму моментов прокатки.* От мощностей к моментам перейти весьма нетрудно, зная, что

$$M = P \cdot R = \frac{N \cdot 60 \cdot R}{2\pi R n} = 9,55 \frac{N}{n} \quad \text{или} \quad M = 716 \frac{N}{n},$$

если  $N$  взято в лошадиных силах. Здесь  $R$  — радиус,  $P$  — сила,  $n$  — число оборотов.

На фиг. 193 представлена диаграмма работы прокатки среднесортного *нереверсивного стана*, число оборотов валков которого близко к постоянному. Отличие диаграмм работы прокатки *нереверсивного* и *реверсивного* станов заключается в том, что для первого, валки которого вращаются во время пауз, в течение последних на вращение валков вхолостую затрачивается известная работа, выражаемая низкой площадью. Для *реверсивного* стана, валки которого во время пауз не вращаются, в течение последних работа не производится.

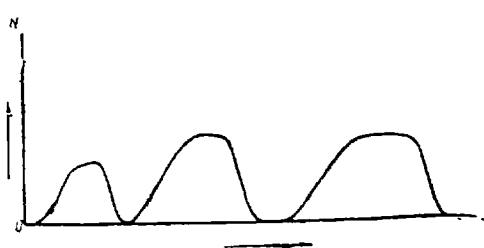
Диаграмма работы прокатки *реверсивного стана* представлена на фиг. 194. Затрачиваемая мощность изменяется с изменением числа оборотов.



Фиг. 193. Диаграмма прокатки среднесортного *нереверсивного* прокатного стана.

Диаграмма работы прокатки может быть заснята при исследовании прокатного стана, если электродвигатель последнего соединить с самопишущим ваттметром. С другой стороны, если работу прокатки определить расчетом, то на основании полученных величин можно построить диаграмму работы прокатки с целью выбора соответствующего двигателя для проектируемой работы стана. Решение последней задачи весьма часто бывает необходимо как при строительстве новых станов, так и при реконструкции действующих.

С целью изучения и определения работы прокатки последнюю *подразделяют на составляющие, обусловленные самим процессом прокатки*. Назначение прокатки заключается в придании металлу нужных формы и размеров, т. е. в деформации металла, требующей для своего осуществления больших усилий. Отсюда возникает основной элемент работы прокатки — *работа на деформацию металла* или на сдвиг частиц металла. Эта деформация производится давящими, тянущими и уширяющими вращающимися валками, вызывающими уширение, опережение и попятное движение, т. е. связана со скольжением металла по валкам, требующим на свое преодоление расхода энергии. Помимо того, скольжение возникает на боковых поверхностях калибров, где металл соприкасается с валками. Отсюда неизбежно возникает второй элемент работы прокатки — *работа на преодоление трения металла о валки*.



Фиг. 194. Диаграмма прокатки *реверсивного* стана.

Собственный вес валков и всех передаточных частей также ложится усилием на вкладыши, создавая в них трение, вследствие чего для вращения самого стана вхолостую требуется также затрата работы. В моменты же пропусков к собственному весу валков и передачи стана



добавляется еще давящее действие металла на валки. Это добавочное усилие создает добавочные силы трения в шейках и вкладышах, для преодоления которых требуется затрата энергии. Отсюда возникает третий элемент работы прокатки—*работа на преодоление дополнительного трения в шейках валков*.

Четвертым же элементом является работа на собственное вращение стана, т. е. *работа холостого хода стана*. Наконец, пятым элементом является *работа ускорения или замедления вращающихся масс стана*, обусловленная переменным, вообще говоря, числом оборотов стана.

Эта работа имеет тем большее значение, чем больше колебание числа оборотов и чем тяжелее вращающиеся массы стана.

Таким образом,  $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$ ,

где  $A$ —*полная работа прокатки*,

$A_1$ —*работа на деформацию металла*,

$A_2$ —*работа на преодоление трения металла о валки*,

$A_3$ —*работа на преодоление дополнительного трения в шейках валков*,

$A_4$ —*работа на холостой ход стана*,

$A_5$ —*работа ускорения или замедления*.

Работа  $A_4$  присуща всякому вращению стана, как во время пропусков, так и во время пауз. Это работа, связанная с собственным вращением стана.

Работы  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  возникают только во время пропусков. Сумму их  $A_1 + A_2 + A_3$  называют *чистой работой прокатки*.

В дальнейшем излагаются способы определения работ  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  и  $A_5$  и необходимых для их определения величин.

## § 45. Работа деформации металла

Работа, необходимая для деформации металла, тем больше, чем больше величина этой деформации, измеряемой количеством сдвигаемых частиц и путем их сдвига. С другой стороны, работа деформации зависит от рода и температуры деформируемого металла, увеличиваясь с понижением последней. Деформация осуществляется через посредство деформирующих поверхностей, которыми являются или поверхности бойка молота и наковальни молота, или штампы, или валки прокатного стана и т. п. Усилие, приводящее в действие обрабатывающие поверхности, от последних передается металлу.

Для определения работы деформации прежде всего необходимо знать это усилие. Последнее зависит от рода деформации металла и температуры его и от величины поверхности соприкосновения обрабатывающих поверхностей с деформируемым металлом. Для удобства пользуются величиной силы, приходящейся на единицу поверхности соприкосновения, обычно на  $1 \text{ мм}^2$ , называя ее *удельным давлением*. Так как под действием силы происходит пластическая деформация металла, т. е. последний „течет“, то эту силу называют также *давлением истечения*. Если действие силы продолжается в течение значительного промежутка времени, то имеет место *статическое давление истечения*, при кратковременном действии силы—*динамическое давление истечения*. Горячая обработка металлов связана преимущественно с кратковременным и поэтому динамическим действием силы (ковка, прокатка). При прессовании условия действия силы приближаются к статическим.

Величина удельного давления определена опытным путем. Удельное давление при прокатке выше давления истечения в статическом состоянии и достигает величины временного сопротивления разрыву при той же температуре. Несмотря на условность и известную приближенность этого допущения, большинство авторов, разрабатывающих вопрос о

величине удельного давления при прокатке, опытно определили временное сопротивление разрыву, принимая последнее в качестве удельного давления; экспериментирование же при горячей прокатке связано с большими затруднениями.

Наибольшую достоверность и практическое применение имеют ниже следующие эмпирические формулы для определения удельного давления: формула Кольмана для мягкой стали и сварочного железа ( $R \approx 30 \text{ кг/мм}^2$ )

$$p = 15 - \sqrt{0,283(t - 600)} \text{ кг/мм}^2,$$

где  $t$  — температура.

В применении к мягкой стали другой крепости проф. Виноградов рекомендует пользоваться измененной формулой Кольмана:

$$p = \frac{R}{R_0} \left[ 15 - \sqrt{0,283(t - 600)} \right] \text{ кг/мм}^2,$$

где  $R$  — временное сопротивление исследуемой стали,

$R_0 = 30 \text{ кг/мм}^2$  — временное сопротивление стали в опытах Кольмана<sup>1</sup>.

Пользоваться этой измененной формулой следует при  $R$  не выше  $50-60 \text{ кг/мм}^2$ . Для стали средней твердости (рельсовой) можно рекомендовать пользоваться формулой Верещагина:

$$p = 23 - \sqrt{0,5(t - 600)} \text{ кг/мм}^2.$$

Более обобщающей является формула Гинцбурга:

$$p = a - b \cdot t + c \cdot t^2,$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  — коэффициенты, выбираемые в зависимости от твердости стали.

На основании обработки ряда данных для углеродистой стали Гинцбург предложил представленный в таблице 32 ряд коэффициентов в зависимости от содержания углерода. Температура подставляется в тысячных долях.

Таблица 32

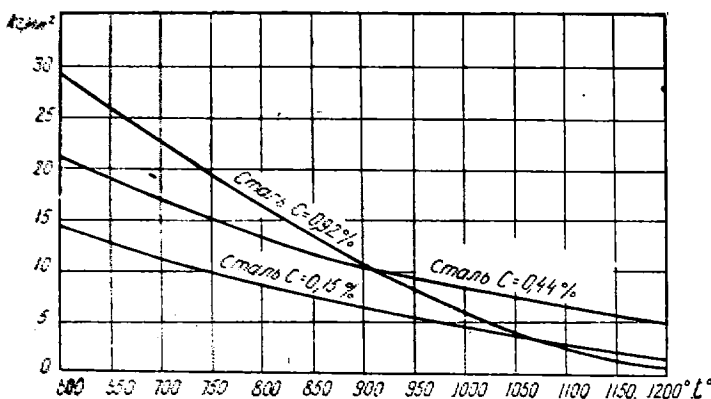
Коэффициенты к формуле Гинцбурга

N	C	a	b	c
1	0,15	40	53,6	17,9
2	0,44	60	79,2	26,3
3	0,55	90	127,6	44,9
4	0,92	100	152,1	57,7
5	1,23	106	156,8	58,4

При промежуточном содержании углерода можно находить коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  интерполяцией. В целях удобства составлен график величин удельного давления для стали с разным содержанием углерода (Фиг. 195). Характерно, что при высоком содержании углерода и высокой температуре удельное давление меньше, чем для мягкой стали. Это должно объясняться тем, что твердая сталь имеет более низкую температуру плавления. При низких температурах удельное давление (и временное сопротивление) твердой стали значительно больше, чем мягкой.

<sup>1</sup> Цифра  $30 \text{ кг/мм}^2$  принята приближенно.

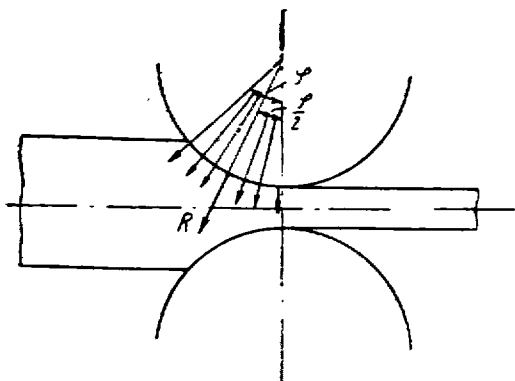
Определенное по вышеприведенным формулам удельное давление не точное, а при нынешнем состоянии этого вопроса является лишь приближенным. При этом удельное давление, так же как и временное сопротивление, претерпевает скачкообразное изменение в критическом температурном интервале, что установлено произведенными опытами. Но горячая обработка металла заканчивается обычно несколько выше температуры начала превращений железа. Опытами обнаружено, что удельное давление зависит и от площади соприкосновения металла с обрабатывающими поверхностями, в частности с прокатными валками. При увеличении поверхности удельное давление увеличивается, ибо благодаря большему трению



Фиг. 195. График для нахождения удельного давления.

о поверхность увеличивается сопротивление скольжению частиц металла.

Опытное исследование распределения давления при прокатке в очаге деформации, проведенное Зибелем и Луегом<sup>1</sup>, показало, что всегда давление наиболее сильно в центре очага деформации и уменьшается к крайним точкам по длине и ширине очага деформации (фиг. 196).



Фиг. 196. Распределение давлений в очаге деформации при прокатке.

Опытами также найдено, что давление изменяется с изменением шероховатости поверхности валков, а именно увеличивается при большей шероховатости. И в том и в другом сказывается роль трения металла о поверхности валков, и можно сделать общее заключение, что увеличение трения, как в результате увеличения поверхности трения, так и по причине увеличения коэффициента трения, влечет за собой увеличение сопротивления для истечения металла в очаге деформации и, как след-

ствие, увеличение сопротивления деформации (удельного давления при прокатке).

В последнее время Экелундом<sup>2</sup> на основании экспериментальных данных Пуппе была сделана попытка составить формулу для определения давления при прокатке, в которой были бы отражены основные факторы

<sup>1</sup> Зибель и Луег. Исследование распределения давления в очаге деформации при прокатке. реферат в „Домезе“, 1933 г., № 10.

<sup>2</sup> Роликовые подшипники в прокатных станах, перевод под редакцией проф. П. Истомина.

прокатки. Эта формула имеет следующий вид:

$$P = b_{cp} \sqrt{R(H-h)} \cdot \left\{ \left[ 1 + \frac{1,6 \cdot f \cdot \sqrt{R(H-h)} - 1,2(H-h)}{H+h} \right] \cdot \left[ T + \frac{2\varepsilon \cdot v \cdot \sqrt{\frac{H-h}{R}}}{H+h} \right] \right\}.$$

Здесь:  $P$  — давление прокатки (кг),  
 $b_{cp}$  — средняя ширина прокатываемого сечения (мм),  
 $R$  — радиус валка в основании калибра (мм),  
 $H$  — высота штуки до пропуска (мм),  
 $h$  — высота штуки после пропуска (мм),  
 $f$  — коэффициент трения между валками и металлом,  
 $T$  — сопротивление железа сжатию (раздавливанию) (кг/мм<sup>2</sup>),  
 $\varepsilon$  — вязкость железа (кг/сек/мм<sup>2</sup>),  
 $v$  — окружная скорость для основания калибра (мм/сек).

Величины  $f$ ,  $T$  и  $\varepsilon$  определяются по уравнениям:

$$f = 1,05 - 0,0005 \cdot t,$$

$$\varepsilon = 0,01 (14 - 0,01 \cdot t),$$

$$T = (14 - 0,01 \cdot t) \cdot (1,4 + C + Mn),$$

где  $t$  — температура прокатываемого металла (°C),

$C$ ,  $Mn$  — процентное содержание углерода и марганца в металле.

Для чугунных валков  $f=0,8$  от величины, определяемой из написанного выше уравнения. Уравнения эти пригодны для температур не ниже 800° и содержания  $Mn$  не выше 1%.

Рассматривая довольно сложное уравнение для определения давления, видим, что оно состоит из двух сомножителей, из которых первый

$$b_{cp} \sqrt{R(H-h)} = F$$

представляет собой поверхность соприкосновения металла с валком, так как  $\sqrt{R(H-h)}$  есть хорда дуги захвата (для упрощения вместо дуги взята хорда).

Второй сомножитель

$$\left\{ \left[ 1 + \frac{1,6 \cdot f \cdot \sqrt{R(H-h)} - 1,2(H-h)}{H+h} \right] \cdot \left[ T + \frac{2\varepsilon \cdot v \cdot \sqrt{\frac{H-h}{R}}}{H+h} \right] \right\}.$$

не что иное, как удельное давление металла при прокатке, величина которого зависит от коэффициента трения, радиуса валков, обжатия, толщины штуки до и после пропуска, сопротивления металла сжатию, вязкости металла, окружной скорости валков, т. е. от основных (хотя и не всех) факторов прокатки.

Формула Экелунда была проверена другими исследователями прокатки и дала достаточно удовлетворительные результаты для калибров простой формы; фасонные калибры еще достаточно не проверены. Вообще же пока трудно сказать, насколько эта формула пригодна для расчетов. Вследствие того, что она учитывает ряд факторов прокатки, особенно фактор трения металла о поверхности валков, удельное давление получается большим, чем определенное по вышеприведенным формулам Кольмана и Гинцбурга. Но неучет факторов прокатки по последним формулам отчасти компенсируется дополнительным определением работы трения металла в валках, о чем речь будет идти ниже. Некоторая сложность формулы Экелунда затрудняет пользование ею, особенно при беглых с целью ориентировки расчетах, а также при расчетах давления в сложных калибрах.

Перейдем теперь к рассмотрению формул, служащих для определения работы деформации металла.

**Формула Гавриленко.** Представим себе зажатый в момент прокатки металл (слиток, штуку, болванку, полосу)<sup>1</sup> между двумя вращающимися по направлению стрелок валками (фиг. 197). В зоне деформации  $ABB_1A_1$  выделим бесконечно малой толщины поперечную пластинку  $NMDC$ .

Давление на дугу  $NM$  равно

$$dP_p = R \cdot da \cdot B \cdot p,$$

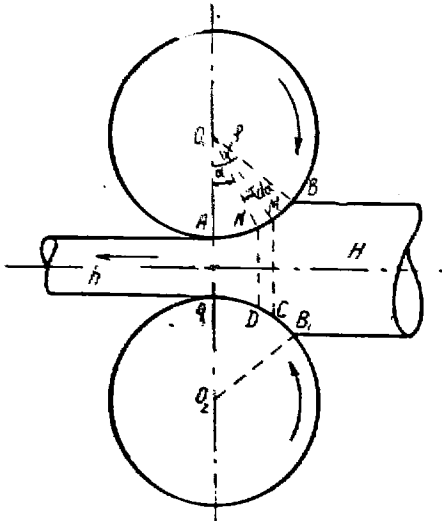
где  $dP_p$  — элементарное радиальное давление металла на валок,

$R$  — радиус валка,

$\alpha$  — переменный угол рассматриваемой пластинки,

$B$  — ширина пластинки, принятая равной начальной ширине болванки,

$p$  — удельное давление металла на валок.



Фиг. 197.

Полагая уширение отсутствующим (Гавриленко работой на уширение металла пренебрегает), найдем работу вытяжки.

Рассмотрим действие продольных сил, идущих по направлению прокатки, т. е. по направлению выхода полосы из валков. Проекция элементарного радиального давления  $dP_p$  на горизонтальное направление равна

$$dP_z = dP_p \cdot \sin \alpha = R \cdot da \cdot B \cdot p \cdot \sin \alpha.$$

Интегрируя по всей дуге в пределах от  $A$  до  $B$  имеем горизонтальную силу тяги валка:

$$P_z = \int_0^\varphi R \cdot da \cdot B \cdot p \cdot \sin \alpha = R \cdot B \cdot p \cdot \int_0^\varphi \sin \alpha \cdot da = R \cdot B \cdot p \cdot (1 - \cos \varphi).$$

Такую же силу тяги будем иметь и на поверхности соприкосновения металла с нижним валком. Полная сила тяги равна:

$$2 \cdot P_z = 2 \cdot R \cdot B \cdot p \cdot (1 - \cos \varphi) \quad (1)$$

Путь, на котором найденная сила совершает работу, принят Гавриленко равным пути выходящей из валков полосы, т. е.

$$l = L \cdot \mu,$$

где  $l$  — длина полосы после пропуска,

$L$  — длина полосы до пропуска,

$\mu$  — коэффициент вытяжки, равный

$$\frac{Q}{q} = \frac{\text{начальное сечение}}{\text{конечное сечение}}.$$

Умножая путь на силу (1), находим работу деформации:

$$A_1 = 2 \cdot P_z \cdot l = 2 \cdot R \cdot B \cdot p \cdot (1 - \cos \varphi) \cdot L \cdot \mu. \quad (2)$$

Помня, что  $H - h = 2 \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi)$  (выражение для обжатия) и подставляя вместо  $2 \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi)$  в выражение (2)  $H - h$ , имеем:

$$A_1 = p \cdot B \cdot (H - h) \cdot L \cdot \mu \text{ — формула Гавриленко.} \quad (3)$$

<sup>1</sup> Все эти термины могут быть равнозначно употребляемы для обозначения прокатываемого в валках металла независимо от его формы.

Если в полученном выражении принять  $p$  в  $\text{кг}/\text{мм}^2$ ,  $B$  и  $(H-h)$  в  $\text{мм}$ ,  $L$  в  $\text{м}$ , то работу получим в  $\text{кгм}$ .

Преобразуем полученную формулу Гавриленко на основании понятия о смещенном объеме, как это рекомендует проф. А. Виноградов.

Смещенный объем при прокатке есть объем металла, смещаемый в любых направлениях под деформирующим действием валков. Для прямоугольного сечения (фиг. 198) смещенный объем, как это ясно из фигуры, равен:

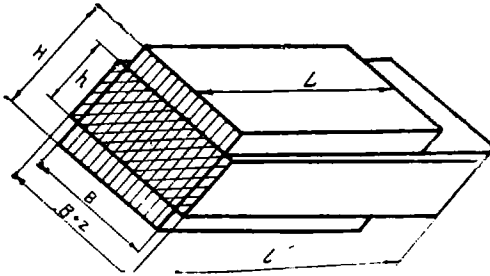
$$V_c = B(H-h)L = (B \cdot H - B \cdot h)L = L\{B \cdot H - [b \cdot h - z \cdot h]\} = L(Q - q + Q_2). \quad (4)$$

Здесь  $z$  — уширение металла, равное  $b - B$ ,

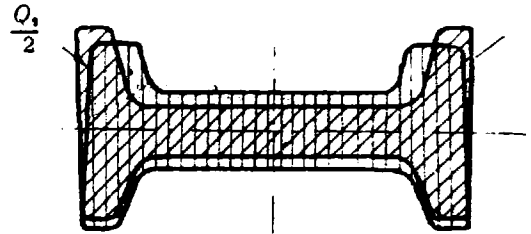
$Q$  — начальное поперечное сечение металла (до пропуска),

$q$  — конечное поперечное сечение металла (после пропуска),

$Q_2$  — поперечное сечение, полученное за счет уширения металла.



Фиг. 198.



Фиг. 199.

Очевидно, что для всякого профиля (фиг. 199) смещенный объем будет равен:  $V_c = L(Q - q + Q_2)$ . В качестве величины  $Q_2$  необходимо принимать площадки контура, вышедшего за пределы контура начального сечения и заштрихованные на фигурах наклоненными влево штрихами. Вертикальными штрихами показано начальное сечение, двойными, перекрещивающимися штрихами — конечное сечение без площадок, полученных за счет уширения.

Подставляя в формулу Гавриленко

$$V_c = B \cdot (H - h) \cdot L,$$

где  $B$  и  $(H - h)$  в  $\text{мм}$ ,  $L$  — в  $\text{м}$ , имеем:

$$A_1 = p \cdot V_c \cdot \mu \text{ — формула Гавриленко-Виноградова.} \quad (5)$$

Для определения работы деформации по указанной формуле необходимо знать удельное давление металла на валок, т. е. химический состав и температуру последнего, а также калибровку для определения  $V_c$  и  $\mu$ . Здесь  $p$  в  $\text{кг}/\text{мм}^2$ ,  $V_c$  в  $\text{см}^3$ .

**Пример 1.** Определить работу деформации по формуле Гавриленко при прокатке начального прямоугольного (квадратного) сечения  $H \times B = 100 \times 100$   $\text{мм}$ , длиной  $L = 1500$   $\text{мм}$  в конечное прямоугольное сечение высотой  $h = 70$   $\text{мм}$ . Диаметр валков  $D_k = 500$   $\text{мм}$ . Металл мягкий,  $C = 0,15\%$ , температура  $1125^\circ$ .

*Решение.* Найдем уширение:

$$z = 0,35 \sqrt{R_k (H - h)} \frac{H - h}{H} = 0,35 \sqrt{250 \cdot 30} \frac{30}{100} = 9,1 \text{ мм.}$$

$$b = B + z = 100 + 9,1 = 109,1 \text{ мм.}$$

Далее:  $Q = B \cdot H = 100 \cdot 100 = 10\,000$   $\text{мм}^2$ ;

$$q = b \cdot h = 109,1 \cdot 70 = 7637 \text{ мм}^2; \quad \mu = \frac{Q}{q} = \frac{10\,000}{7637} = 1,31$$

Смещенный объем  $V_c = B(H - h)L = 100 \cdot 30 \cdot 1,5 = 4500$   $\text{см}^3$ .

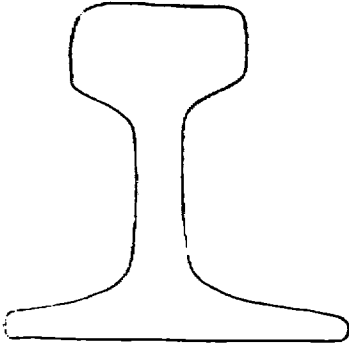
Удельное давление по формуле Гинзбурга:  $p = a - b \cdot t + c \cdot t^2 = 40 - 53,6 \cdot 1,125 + 17,9 \cdot 1,125^2 = -2,3 \text{ кг/мм}^2$ .

Работа деформации:  $A_1 = p \cdot V_c \cdot \mu = 2,3 \cdot 4500 \cdot 1,31 = 13\,600 \text{ кгм}$ .

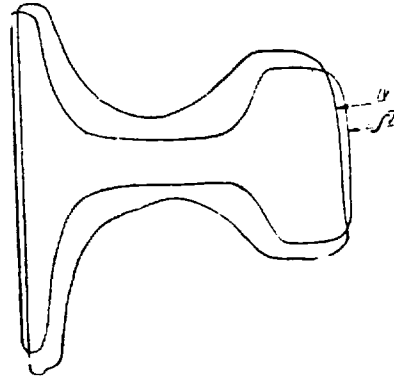
**Пример 2.** Определить работу деформации при прокатке рудничного рельса 14,78 кг/пог. м в V калибре (фиг. 200). Вес штуки 500 кг, температура прокатки 1020°, катающий диаметр в калибре 470 мм (определен как средний из катающих диаметров в различных точках калибра). На фиг. 201 представлено сечение штуки, вышедшей из IV калибра и наложенным IV и V калибрами.

**Решение.** Смешанное сечение  $Q_2$  определяем планиметрированием по наложенным контурам. Планиметрированием определяем также  $Q$  и  $q$ . Для определения начальной длины пользуемся заданным весом штуки  $G = 500 \text{ кг}$  и принимаем удельный вес  $\gamma = 7,8$ .

$$L = \frac{G}{\gamma \cdot Q} = \frac{500}{7,8 \cdot 4,83} = 13,3 \text{ м.}$$



Фиг. 200. Сечение штуки в V калибре для прокатки рудничного рельса 14,78 кг/пог. м



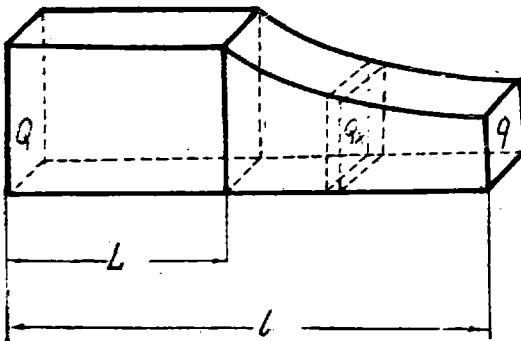
Фиг. 201. IV калибр, наложенный на V калибр.

Смешанный объем:  $V_c = L(Q - q + Q_2) = 13,3(4830 - 3800 + 170) = 16\,000 \text{ см}^3$

Удельное давление:  $p = a - b \cdot t + c \cdot t^2 = 90 - 127,6 \cdot 1,08 + 44,9 \cdot 1,08^2 = 4,3 \text{ кг/мм}^2$  (для стали,  $S = 0,55\%$ ).

$\mu = \frac{4830}{3800} = 1,27$ . Работа деформации  $A_1 = p \cdot V_c \cdot \mu = 4,3 \cdot 16\,000 \cdot 1,27 = 87\,300 \text{ кгм}$ .

**Формула Киссельбаха.** Вывод весьма распространенной формулы Киссельбаха для определения работы деформации покоится на следующем.



Фиг. 220.

Пусть начальная форма тела подвергается деформации (фиг. 202). Представим себе наше тело закрепленным неподвижно по левой боковой плоскости и *растягиваемым действующей вправо и приложенной к правой боковой плоскости силой P*. Конечная форма тела после деформации при неизменном объеме его помещена внизу фигуры. Очевидно, при деформации увеличивается длина. Допустим, что увеличивается и ширина, предполагая, что деформация происходит путем прокатки. Имея в виду постепенное изменение поперечного сечения, для определения работы деформации прибегаем к дифференциальному методу:

$$dA_1 = p \cdot Q_x \cdot dx,$$

где  $p \cdot Q_x = P_x$  — сила производящая работу.

Работу на пути  $l - L$  определяем интегрируя в пределах от  $L$  до  $l$ :

$$\begin{aligned} A_1 &= \int_L^l p \cdot Q_x \cdot dx = \int_L^l p \cdot C_x \cdot L_x \cdot \frac{dL}{dx} = \int_L^l p \cdot V \cdot \frac{dL}{L_x} \\ &= p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} = p \cdot V \cdot \ln \mu \text{ кгм} \text{— формула Киссельбаха.} \end{aligned}$$

В формуле Киссельбаха, как и в формуле Гавриленко, не учтена работа на уширение металла, ибо не фигур руют пути силы в поперечном направлении. Между тем вследствие

уширения уменьшается конечная длина  $l$  по сравнению с тем, когда уширение отсутствует (весь металл смещается в длину). Чем больше уширение, тем короче конечная длина  $l$  и меньше полученная по формуле Киссельбаха и Гавриленко работа деформации, т. е. тем больше ошибка по сравнению с истинной работой деформации.

**Формула Финка.** Финк дополнил формулу Киссельбаха, добавив работу на уширение металла. Найдем работу уширения  $A_2 = p \cdot V \cdot \ln \frac{b}{B}$  по аналогии с формулой для работы вытяжки, где  $b$  — конечная ширина,  $B$  — начальная ширина. Работа на вытяжку и уширение равна

$$A_1 = p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} + p \cdot V \cdot \ln \frac{b}{B} = p \cdot V \cdot \ln \frac{l \cdot b}{L \cdot B}$$

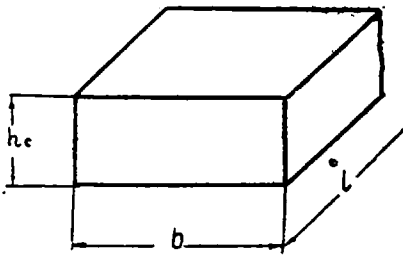
Но

$$l \cdot b \cdot h = L \cdot B \cdot H = V,$$

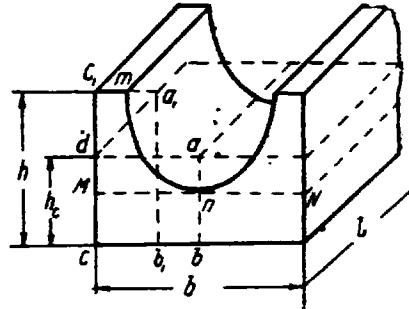
откуда  $\frac{l \cdot b}{L \cdot B} = \frac{H}{h}$ , и формула Финка принимает вид:  $A_1 = p \cdot V \cdot \ln \frac{H}{h}$ .

Формула Финка дает возможность определить работу деформации в двух направлениях, т. е. при прокатке простого профиля. Она не может учесть работу, затрачиваемую на смещение металла в третьем перпендикулярном (вертикальном) направлении, т. е. работу на штампование.

**Формула Прейслера.** Прейслер дополнил формулу Финка, добавив работу на штампование. Пусть тело подвергается еложной деформации, т. е. вытяжке, уширению и формоизменению. Например, деформируем металл из прямоугольной простой формы в фланцевую — фасонную, что имеет место при прокатке в 1-м фасонном — разрезающем калибре. Допустим, что процесс деформации, т. е. сдвига частиц, происходит одновременно и последовательно: в длину, в ширину и в высоту. Тогда после вытяжки тело получит конечную



Фиг. 203. Тело после вытяжки и уширения.



Фиг. 204. Тело после вытяжки, уширения и выштампования.

длину  $l$  при той же ширине и какой-то, уменьшенной против начальной, высоте. После уширения тело получит при той же конечной длине (она теперь уже не изменяется) конечную ширину  $b$  и какую-то высоту, соответствующую высоте простого прямоугольного тела при размерах  $l$  и  $b$  и неизменяемом объеме  $V$ .

Далее мы производим изменение размеров в третьем вертикальном направлении, не изменяя длину и ширину, что возможно лишь при изменении формы тела из простой в фасонную. Тело после вытяжки и уширения представлено на фиг. 203. Высота этого тела обозначена через  $h_c$ , ибо действительно для профиля любой формы при неизменных объеме, длине и ширине будет неизменная средняя высота. Изменение формы производим путем выштамповывания (выдавливания) части металла в вертикальном направлении с приданием окончатальной формы, изображенной на фиг. 204. Здесь заштрихованные частицы металла переместились из середины во фланцы, на что потребовалась определенная работа.

Для наглядности представим профиль разбитым симметрично на 2 части и одну из них отдельно повернем на  $90^\circ$ . По аналогии с выводом формул Киссельбаха и Финка можем сказать, что штампование может быть представлено как работа вытяжки от длины  $h_c$  до длины  $h$  при неизменной ширине, в качестве которой служит размер  $l$ . Работа штампования (формоизменения), или вытяжки в высоту, равна:

$$A_\phi = p \cdot V \cdot \ln \frac{h}{h_c}$$

Преобразуем полученное выражение:

$$A_\phi = p \cdot V \cdot \ln \frac{h}{h_c} = p \cdot V \cdot \ln \frac{h \cdot b \cdot l}{h_c \cdot b \cdot l} = p \cdot V \cdot \ln \frac{V_{\text{оп}}}{V}$$

Здесь через  $h \cdot b \cdot l = V_{\text{оп}}$  обозначен объем, описанный вокруг тела, имеющего размеры  $h$ ,  $b$  и  $l$ , т. е. вокруг конечного профиля. Этот описанный объем включает в себя объем



металла и объем входящих в описанную призму пустот между фланцами. Поэтому  $V_{on} > V$ , где:  $V$  — объем металла — равный  $h_c \cdot b \cdot l$ .

Работа деформации равна сумме работ на вытяжку, уширение и формоизменение:

$$A_1 = A_s + A_u + A_f = p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} + p \cdot V \ln \frac{b}{B} + p \cdot V \cdot \ln \frac{V_{on}}{V} =$$

$$= p \cdot V \left( \ln \frac{l}{L} + \ln \frac{b}{B} + \ln \frac{V_{on}}{V} \right) = p \cdot V \cdot \ln \frac{l \cdot b \cdot V_{on}}{L \cdot B \cdot V} \quad (2)$$

Нетрудно убедиться, что полученная формула преобразуется в формулу Финка, когда  $V_{on} = V$ , т. е. формоизменения не происходит; тогда  $\frac{l \cdot b}{L \cdot B} = \frac{H}{h}$ . Когда нет уширения, тогда

выражение под логарифмом преобразуется в  $\frac{l}{L}$ , и мы получаем формулу Киссельбаха.

Таким образом все три формулы, базирующиеся на общем выводе, по существу представляют лишь видоизменение друг друга. Формулой общего вида является формула Прейслера (2). Если исходное тело не прямоугольной, а какой-либо фасонной формы, то необходимо рассматривать деформацию фасонного профиля также в фасонный. Но мы можем эту деформацию рассматривать как происходящую от какого-то начального простого профиля. Если взять работу деформации этого условного начального простого профиля (I) в конечный фасонный профиль (III), которую мы можем найти по формуле (2)  $A_I^{III}$  и вычесть отсюда работу деформации этого же условного начального простого профиля (I) в начальный (исходный) фасонный профиль (II), определенную по формуле (2)  $A_I^{II}$ , то разность и будет представлять работу деформации из начального фасонного профиля (II) в конечный фасонный профиль (III) —  $A_{II}^{III}$ . Итак:

$$A_{II}^{III} = A_I^{III} - A_I^{II} = p \cdot V \cdot \ln \frac{l \cdot b \cdot V_{on}^{(III)}}{L_0 \cdot B_0 \cdot V} - p \cdot V \cdot \ln \frac{L \cdot B \cdot V_{on}^{(II)}}{L_0 \cdot B_0 \cdot V} =$$

$$= p \cdot V \cdot \ln \frac{l \cdot b \cdot V_{on}^{(III)} \cdot L_0 \cdot B_0 \cdot V}{L_0 \cdot B_0 \cdot V \cdot L \cdot B \cdot V_{on}^{(II)}} = p \cdot V \cdot \ln \frac{l \cdot b \cdot V_{on}^{(III)}}{L \cdot B \cdot V_{on}^{(II)}} \quad (3)$$

Здесь  $V_{on}^{(III)}$  — объем, описанный вокруг конечного (III) фасонного профиля,

$V_{on}^{(II)}$  — объем, описанный вокруг начального (II) фасонного профиля,

$L_0, B_0$  — длина и ширина условного начального простого профиля (I),

$L, B$  — длина и ширина начального фасонного профиля (II),

$l, b$  — длина и ширина конечного фасонного профиля (I).

Формула (3) может быть представлена в следующем виде:

$$A_{n-1}^n = p \cdot V \cdot \ln \frac{l_n \cdot b_n \cdot V_{on}^{(n)}}{L_n \cdot B_n \cdot V_{on}^{(n-1)}} \quad \text{или} \quad A_{n-1}^n = p \cdot V \cdot \ln \frac{l_n \cdot b_n \cdot V_{on}^{(n)}}{l_{n-1} \cdot b_{n-1} \cdot V_{on}^{(n-1)}} \quad (4)$$

Здесь малые буквы относятся к конечным размерам, большие к начальным.

Это и есть формула Прейслера в ее общем виде. Определенная по этой формуле работа включает работу сдвига частиц металла во всех трех направлениях. Недостатком этой формулы является, однако, то, что ею не может быть определена работа сдвига частиц металла, происходящего внутри описанного контура, как это представлено, например, на фиг. 205.



Фиг. 205. Формоизменение внутри описанного контура.

Здесь работа на перемещение частиц металла а не может быть учтена по формуле Прейслера. Она дает справедливые результаты для случаев, когда внутри контура не происходит формоизменения, что мы имеем при прокатке таких ходовых профилей, как балки, швеллера, рельсы и др. Здесь внутри контура происходит лишь изменение тол-

щины шейки, равномерное по всей ее ширине, и эта работа учитывается, как работа вытяжки и уширения. Работа формоизменения учитывается через изменение высоты фланцев, что дает изменение описанных объемов.

Работа деформации любых сложных сечений может быть определена по формуле Гавриленко-Виноградова, так как смещенный объем для любых профилей определяется нетрудно. Важно лишь правильно наложить один профиль на другой так, как в действительности в валках. Но, с другой стороны, по формуле Гавриленко не учитывается работа уширения (что учитывается в формуле Прейслера); следовательно, этой формулой нельзя пользоваться,

когда уширение значительно. Поэтому в зависимости от относительного значения уширения или сложного (внутри описанного контура) перемещения частиц необходимо пользоваться той или другой формулой.

**Пример 3.** Определить работу деформации при прокатке рудничного рельса в V калибре, согласно предыдущим условиям (стр. 173).

*Решение.* Объем металла  $V = \frac{Q}{\gamma} = \frac{500}{7,8} = 64 \text{ дм}^3 = 64\,000 \text{ см}^3$ ;  $l_{n-1} = 13,3 \text{ м}$ ,  $l_n = 13,3 \cdot 1,27 = 16,9 \text{ м}$ . Согласно фиг. 200 ширина калибров:  $b_{n-1} = 88,5 \text{ мм}$ ,  $b_n = 90,5 \text{ мм}$ . Описанные сечения, определенные планиметрированием, равны:  $Q_{он}^{(n-1)} = 7700 \text{ мм}^2$ ,  $Q_{он}^{(n)} = 7050 \text{ мм}^2$ .

Описанные объемы:

$$V_{он}^{(n-1)} = 7700 \cdot 13,3 = 102\,000 \text{ см}^3;$$

$$V_{он}^{(n)} = 7050 \cdot 16,9 = 119\,000 \text{ см}^3;$$

$$A_{n-1}^n = p \cdot V \cdot \ln \frac{l_n \cdot b_n \cdot V_{он}^{(n)}}{l_{n-1} \cdot b_{n-1} \cdot V_{он}^{(n-1)}} = 4,3 \cdot 64\,000 \cdot \ln \frac{16,9 \cdot 90,5 \cdot 119\,000}{13,3 \cdot 88,5 \cdot 102\,000} =$$

$$= 4,3 \cdot 64\,000 \cdot \ln 1,51 = 4,3 \cdot 64\,000 \cdot 0,412 = 114\,000 \text{ кгм}.$$

## § 46. Работа трения металла в валках ( $A_2$ )

В главе о деформации металла при горячей обработке нами подробно было выяснено, что процесс деформации неизбежно связан со скольжением частиц металла друг относительно друга и относительно обрабатываемых поверхностей. При прокатке скольжение обуславливается опережением, попятным движением и уширением металла в валках. Процесс прокатки нельзя уподобить катанию валков по металлу без скольжения. В гладких валках скольжение происходит на цилиндрической поверхности валков, в калиброванных валках, помимо того, еще и на боковой поверхности калибров. Возникающее при скольжении трение требует для своего преодоления значительной затраты работы, носящей название *работы трения металла в валках* и обозначаемой нами  $A_2$ . Определение этой работы связано с большими затруднениями, ибо выделение этой работы отдельно при опытах невозможно, теоретическое же определение затруднено из-за приближенности определения коэффициента трения.

В виду указанных затруднений до настоящего времени работу трения металла в валках определяют приближенно на основании нижеследующих рассуждений и опытных данных. Определим *величину поверхности соприкосновения металла с валками*, на которой происходит трение. Длина дуги поверхности соприкосновения из предыдущего (стр. 61) равна:

$$l_0 = R_k \cdot \varphi \cong \sqrt{R_k(H-h)} \text{ — длина хорды.}$$

Принимая ширину поверхности равной  $\frac{B+b}{2}$ , находим *цилиндрическую поверхность соприкосновения*:

$$F_u = \frac{B+b}{2} \sqrt{R_k(H-h)}.$$

Имея в виду, что  $R_k \cdot \varphi > \sqrt{R_k(H-h)}$ , а  $b > \frac{B+b}{2}$  и вследствие малой разницы в этих величинах, обычно для определения  $F_u$  пользуются выражением:

$$F_u = b \cdot \sqrt{R_k(H-h)}, \quad (1)$$

где  $b$  — ширина калибра или ширина выходящей из валков штуки.

В *плоском калибре простой формы* (фиг. 206) к цилиндрической поверхности соприкосновения добавляется *боковая поверхность*. Обозначим периметр через  $S$ , тогда боковой периметр  $S_\sigma = S - 2 \cdot b$ , а для одного

валка  $0,5 \cdot S_6 = 0,5 \cdot S - b$ . При длине дуги  $\sqrt{R_k(H-h)}$  имеем боковую поверхность соприкосновения:

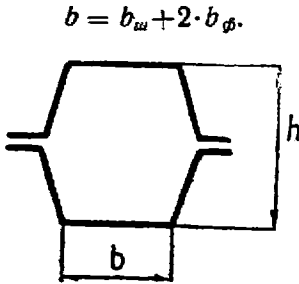
$$F_6 = (0,5 \cdot S - b) \cdot \sqrt{R_k(H-h)}.$$

Зная, что  $F_u = b \sqrt{R_k(H-h)}$  и  $\sqrt{R_k(H-h)} = \frac{F_u}{b}$ , производя подстановку, получаем:

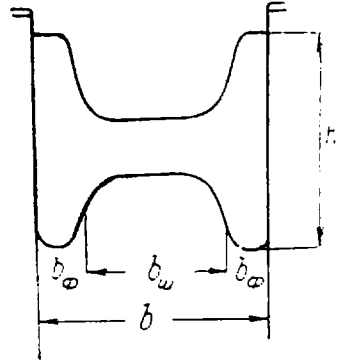
$$F_6 = (0,5 \cdot S - b) \cdot \frac{F_u}{b}. \quad (2)$$

Полная поверхность трения равна сумме  $F_u + F_6$ .

В фасонном калибре (фиг. 207) можно для определения полной поверхности трения (соприкосновения) воспользоваться также выражением (2). Здесь ширина калибра:



Фиг. 206. Плоский прямоугольный калибр.



Фиг. 207. Фасонный калибр.

Радиус калибра должен быть взят средний для всех точек калибра. Проф. Верещагин в своем выводе формулы для определения работы трения металла в валках воспользовался данными опытов Блясса, согласно которым сила трения о цилиндрические поверхности пропорциональна  $\sqrt{p}$ :

$$P_u = m \cdot \sqrt{p}, \quad (3)$$

где  $P_u$  — сила трения ( $\text{кг/мм}^2$ ),

$m$  — коэффициент пропорциональности от 1 до 1,5,

$p$  — удельное давление металла на валок ( $\text{кг/мм}^2$ ).

Далее, проф. Верещагин принял, что сила трения металла в валках пропорциональна величине поверхности соприкосновения металла и валков, т. е.

$$P_u = m \cdot F_u \cdot \sqrt{p} \text{ кг}. \quad (4)$$

По аналогии сила трения на боковой поверхности соприкосновения металла и валков равна:

$$P_6 = \beta \cdot m \cdot F_6 \cdot \sqrt{p} \text{ кг}, \quad (5)$$

где  $\beta$  — коэффициент пропорциональности, показывающий, во сколько раз сила трения на боковой поверхности больше силы трения на цилиндрической поверхности. Величина коэффициента  $\beta$  колеблется в пределах от 0 до 3 и даже выше в зависимости от формы и „тесноты“ калибра, т. е. связана с калибровкой и довольно трудно поддается учету.

Сила трения на цилиндрической и боковой поверхностях двух валков равна:

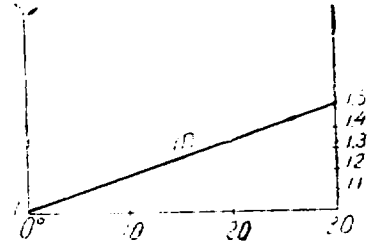
$$\begin{aligned} 2 \cdot P_m &= 2(P_u + P_6) = 2(m \cdot F_u \cdot \sqrt{p} + \beta \cdot m \cdot F_6 \cdot \sqrt{p}) = 2 \cdot m \cdot \sqrt{p} (F_u + \beta \cdot F_6) = \\ &= 2 \cdot m \cdot \sqrt{p} \left[ F_u + \beta (0,5 \cdot S - b) \frac{F_u}{b} \right] = 2 \cdot m \cdot F_u \cdot \sqrt{p} \left( 1 + \beta \frac{0,5 \cdot S - b}{b} \right) \text{ кг}. \quad (6) \end{aligned}$$

Найденная сила трения совершает в валках путь, равный удлинению металла за пропуск  $\lambda=l-L$ . Отсюда работа трения металла в валках равна:

$$A_2 = 2 \cdot P_m \cdot \lambda = 2 \cdot m \cdot (l-L) \cdot F_c \cdot \sqrt{p} \left( 1 + \beta \frac{0,5 \cdot S - b}{b} \right) \text{ кгм.} \quad (7)$$

Это и есть формула Верещагина. Если в формуле (7) выразить  $(l-L)$  в м,  $F_c$  в мм<sup>2</sup>,  $p$  в кг/мм<sup>2</sup>, то работа будет выражена в кгм.

Коэффициент  $m$ , колеблющийся в пределах от 1 до 1,5, может быть выбран<sup>1</sup> в зависимости от величины угла захвата. Чем больше угол захвата, тем больше скольжение металла по валкам в виду большего опережения и попятного движения и тем больше коэффициент  $m$ . Для выбора  $m$  можно пользоваться диаграммой, представленной на фиг. 208.



Фиг. 208. Диаграмма для определения коэффициента  $m$ .

Что касается коэффициента  $\beta$ , то он может быть приближенно выбран лишь для нормальных калибровок, т. е. не для излишне тесных (тесные—сильно защемляющие) или излишне просторных (т. е. не выполненных металлом). На основании обработки данных опытов Блясса и др. можно пользоваться следующими значениями коэффициента  $\beta$ , представленными в таблице 33.

Таблица 33

Значение коэффициента  $\beta$

№	К а л и б р ы	$\beta$
1	Плохо заполняемые уширением . . . . .	0,5
2	Для плоских тонких полос . . . . .	0,5
3	Для плоских толстых полос без вынужденного уширения . . . . .	1
4	То же с вынужденным уширением (угловое железо) . . . . .	2
5	С наклонными гранями в зависимости от толщины и распределения давления . . . . .	1—2
6	Фланцевые в зависимости от толщины и распределения давления . . . . .	2—3

Пример 4. Определить работу трения металла в валках для примера 2 (стр. 174)

$$A_2 = 2 \cdot m \cdot (l-L) F_c \sqrt{p} \left( 1 + \beta \frac{0,5 \cdot S - b}{b} \right) \text{ кгм, где } F_c = b \sqrt{R_k} (H-h). \text{ Средний диаметр}$$

$$\text{валков } D_0 = 550 \text{ мм. Средняя высота задаваемого в валки профиля } H = \frac{Q}{B} = \frac{4830}{88,5} = 54,6 \text{ мм.}$$

Средняя высота выходящего из валков профиля (калибра):

$$h = \frac{q}{b} = \frac{3800}{90,5} = 42,0 \text{ мм.}$$

Среднее по ширине обжатие в калибре  $H-h=54,6-42,0=12,6$  мм.

Средний катающий диаметр валков в калибре

$$D_k = D_0 - h = 550 - 42 = 508 \text{ мм.}$$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{H-h}{D_k} = 1 - \frac{12,6}{508} = 0,9752; \quad \varphi = 13^\circ.$$

По фиг. 208 находим  $m=1,21$ .

<sup>1</sup> По нашему мнению.

Периметр калибра находим, суммируя длины отдельных участков профиля  $S=420$  мм. Коэффициент  $\beta$  выбираем 2,5.

$$A_1 = 2 \cdot 1,21 (16,9 - 13,3) \cdot 90,5 \sqrt{\frac{508}{2}} \cdot 12,6 \cdot \sqrt{4,3} \cdot \left(1 + 2,5 \frac{0,5 \cdot 420 - 90,5}{90,5}\right) =$$

$$= 2 \cdot 1,21 \cdot 3,6 \cdot 5100 \cdot 2,07 \cdot 4,3 = 396\,000 \text{ кгм.}$$

**Пример 5.** Определить работу трения металла при прокатке в гладких валках для примера 1, (стр. 173). Средний диаметр валков  $D_0=570$  мм,  $D_k=500$  мм.

Формула, в виду отсутствия боковых поверхностей соприкосновения металла с валками, приобретает следующий вид:

$$A_2 = 2 \cdot m (l - L) F_n \cdot \sqrt{p} \text{ кгм.}$$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{100 - 70}{570 - 70} = 0,94, \quad \varphi = 20^\circ; \quad m = 1,33.$$

$$F_n = b \cdot \sqrt{R_k(H-h)} = 109,1 \cdot \sqrt{250(100 - 70)} = 109,1 \cdot 86,5 = 9450 \text{ мм}^2;$$

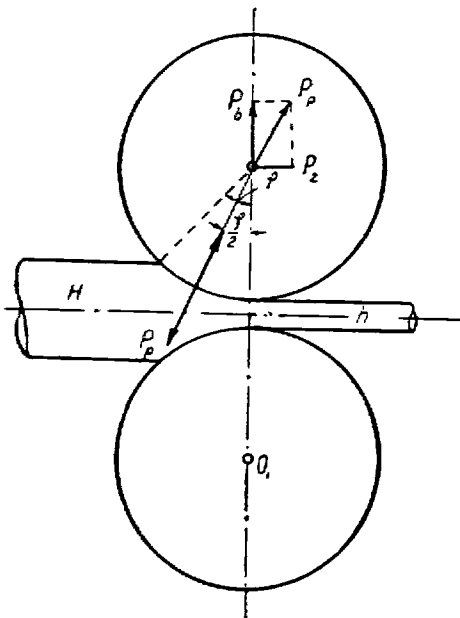
$$L = 1,5 \text{ мм}, \quad \mu = 1,31; \quad l = 1,5 \cdot 1,31 = 1,97 \text{ м}; \quad p = 2,3 \text{ кг/мм}^2;$$

$$A_2 = 2 \cdot 1,33 (1,97 - 1,50) \cdot 9450 \cdot \sqrt{2,3} = 2 \cdot 1,33 \cdot 0,47 \cdot 9450 \cdot 1,52 = 18\,000 \text{ кгм.}$$

## § 47. Дополнительная работа трения вращающихся частей стана (трение в шейках $A_3$ )

В момент пропуска штуки между валками, помимо веса валков и передаточных частей, вкладыши прокатного стана воспринимают также весьма большие давления со стороны прокатываемого металла, которые

во много раз превышают давления от собственного веса вращающихся частей стана. Равнодействующая радиальных давлений металла на валок проходит под углом, равным половине угла захвата (фиг. 209). Это давление воспринимается вертикальным и боковым со стороны выхода металла вкладышами двух шеек валка, по направлению которых и разложим радиальное усилие  $P_r$ .



$$P_b = P_r \cdot \cos \frac{\varphi}{2}; \quad P_2 = P_r \sin \frac{\varphi}{2}.$$

В данном случае не имеет значения распределение давления между одной и другой шейками валка, зависящее от положения калибра в валках, ибо мы принимаем, что коэффициент трения не зависит от величины давления в пределах давлений, возникающих на прилегающих поверхностях шеек и вкладышей.

Фиг. 209. Давление в шейках и вкладышах валков.

Давление, передаваемое металлом во вкладыши, равно для одного валка:

$$P_{вкл} = P_b + P_2 = P_r \left( \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right). \quad (1)$$

Такое же давление передается со стороны металла на нижний валок. Полное давление, передаваемое от прокатываемой штуки во вкладыши, равно:

$$P_0 = 2P_r \left( \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2)$$

При вращении валков между поверхностью шеек и вкладышей происходит скольжение, и сила давления вызывает силу трения:

$$P_m = f \cdot P_0, \quad (3)$$

где  $f$  — коэффициент трения. Последний для подшипников прокатных станов колеблется в широких пределах в зависимости от материала трущихся шеек и вкладышей, от состояния трущихся поверхностей, от рода и качества смазки, от интенсивности смазывания, температуры шеек и др. Опытами установлено, что коэффициент трения при наилучших условиях достигает величины 0,07—0,075. Обычно же он находится в пределах 0,1—0,12. Нередки случаи ненормальной работы стана, когда  $f > 0,12$ .

Путь найденной силы трения есть *путь окружности шейки, пройденный за время пропуска*. Наличие опережения и попятного движения металла в валках затрудняет определение времени прохождения штуки за пропуск и сделанного за это время числа оборотов валков. С достаточной приближенностью можно считать число оборотов или по вышедшей длине  $l$  или по средней арифметической длине штуки до и после пропуска  $\frac{L+l}{2}$ ; тогда *путь трения*:

$$s = l \frac{d_w}{D_k}, \quad \text{или} \quad s = \frac{l+l}{2} \cdot \frac{d_w}{D_k}. \quad (4)$$

С другой стороны, путь трения можно определить, зная время пребывания металла в калибре  $t$ :

$$s = t \cdot \frac{\pi D_k \cdot n}{60}.$$

Работа трения:

$$A_3 = f \cdot P_0 \cdot s = 2 \cdot f \cdot P_p \left( \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right) l \frac{d_w}{D_k}. \quad (5)$$

В виду приближенности в определении дополнительной работы трения в шейках часто принимают

$$\left( \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right) = 1,$$

и тогда выражение (5) упрощается:

$$A_3 = 2 \cdot f \cdot P_p \cdot l \frac{d_w}{D_k}, \quad (6)$$

или

$$A_3 = 2 \cdot f \cdot P_p \cdot \mu \cdot L \cdot \frac{d_w}{D_k}, \quad (6')$$

где  $d_w$  — диаметр шейки,

$D_k$  — катающий диаметр калибра.

Если известен коэффициент опережения  $x$ , тогда выражение (6) принимает вид:

$$A_3 = 2 \cdot f \cdot P_p \cdot \frac{l}{x} \cdot \frac{d_w}{D_k}. \quad (7)$$

Но правильнее тогда было бы пользоваться неупрощенным выражением (5), которое приняло бы вид:

$$A_3 = 2 \cdot f \cdot P_p \left( \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right) \frac{l}{x} \cdot \frac{d_w}{D_k}. \quad (8)$$

**Пример 6.** Определить дополнительную работу трения в шейках валков для примера 2 (стр. 174).

$$A_3 = 2 \cdot f \cdot P_p \cdot l \frac{d_{ш}}{D_k}, \text{ кгм.}$$

Коэффициент трения принимаем  $f = 0,12$ .

$$P_0 \cong P_p = F_{ii} \cdot p = 5100 \cdot 4,3 = 21\,900 \text{ кг; } l = 16,9 \text{ м.}$$

Опережением пренебрегаем.  $\frac{d_{ш}}{D_0}$  для крупносортного стана  $D_0 = 550 \text{ мм}$  принимаем около 0,6 м. Тогда  $d_{ш}^m = 0,6 \cdot 550 = 330 \text{ мм}$  и  $\frac{d_{ш}}{D_k} = \frac{330}{508} = 0,65$ ;  $A_3 = 2 \cdot 0,12 \cdot 21\,900 \cdot 16,9 \cdot 0,65 = 57\,800 \text{ кгм.}$

**Чистая работа прокатки.**

$$A_ч = A_1 + A_2 + A_3. \quad (1)$$

Эта работа получена в рабочих клетях стана без учета шестеренной клетки. Коэффициент полезного действия последней равен 0,95—0,98, в среднем 0,965  $\eta_{ш}$ . Чистая работа прокатки на коренной муфте равна:

$$A_ч = \frac{1}{\eta_{ш}} (A_1 + A_2 + A_3). \quad (2)$$

В наших примерах мы получим:

**Пример 7.**

$$A_ч = \frac{1}{0,965} (114\,000 + 396\,000 + 57\,800) = \frac{1}{0,965} \cdot 567\,800 = 588\,000 \text{ кгм} = 7850 \text{ л. с.} = 5800 \text{ квт-ч.}$$

При 97 об/мин. находим скорость прокатки (пренебрегая опережением):

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,508 \cdot 97}{60} = 2,57 \text{ м/сек.}$$

Продолжительность пропуска

$$t_s = \frac{16,9}{2,57} = 6,6 \text{ сек.}$$

Мощность чистой работы прокатки:

$$N_ч = \frac{A_ч}{t_s} = \frac{588\,000}{6,6} = 89\,000 \text{ кгм} = 1190 \text{ л. с.} = 880 \text{ квт.}$$

## § 48. Работа холостого хода стана

Работа холостого хода связана с преодолением трения, возникающего во вкладышах от *собственного веса вращающихся частей стана*, к которым относятся рабочие и шестеренные валки, соединительные муфты, коренная муфта, соединительные валки, коренной вал, маховик. Помимо того, во вкладыши передается *вес верхних частей подушек стана*. Далее следует учесть, что шейки валков не лежат свободно во вкладышах, а несколько зажаты последними для устранения излишней и мешающей работе стана *игры*. Сила зажима колеблется в весьма широких пределах в зависимости от типа и конструкции стана, веса и числа оборотов валков, уравновешенности последних и других причин, иногда чисто местного характера. Принято эту *силу зажима* учитывать с помощью дополнительного коэффициента  $\mathcal{J}$ , на который умножается сила давления в шейках. Значение коэффициента  $\mathcal{J}$  дано ниже.

Удобнее определить *мощность холостого хода*, ибо работа на холостой ход, т. е. на собственное вращение стана, затрачивается как при пропусках, так и при паузах (если при паузах стан вращается).

Определим *мощность холостого хода рабочих клеток стана*. Суммарный вес всех валков и передаточных частей, давящий на вкладышах, обозначим через  $W_1$ , кг; тогда

$$N_{x \cdot x \cdot k} = \mathcal{K} \cdot W_1 \cdot f_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_{ш} \cdot n}{60}, \quad (1)$$

где  $n$  — число оборотов стана в минуту,  
 $f_1$  — коэффициент трения в шейках рабочих валков.

Чем меньше число оборотов стана и чем больше вес валков, тем относительно меньше будет сила зажима и коэффициента  $\mathcal{K}$ .

Можно принять следующие величины коэффициента  $\mathcal{K}$  в зависимости от типа стана (таблица 34).

Далее определим *мощность холостого хода шестеренных клеток стана*. По аналогии с (1) она равна:

$$N_{x \cdot x \cdot ш} = W_2 \cdot f_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{ш \cdot ш} \cdot n}{60}, \quad (2)$$

где  $W_2$  — суммарный вес частей, давящих на вкладыши шестеренных валков (кг),

$f_2$  — коэффициент трения в шейках шестерен.

Таблица 34

Коэффициент  $\mathcal{K}$  для разных станов

№	Типы станов	Коэффициент $\mathcal{K}$
1	Блуминги . . . . .	1,1 — 1,2
2	Рельсо-балочные станы . . . . .	1,2 — 1,3
3	Крупносортовые станы и заготовочные . . . . .	1,25 — 1,4
4	Среднесортовые станы . . . . .	1,3 — 1,45
5	Мелкосортные станы $\varnothing$ свыше 300 мм . . . . .	1,5 — 1,7
6	„ „ $\varnothing$ меньше 300 мм . . . . .	1,6 — 1,8
7	Проволочные станы . . . . .	1,7 — 2,0
8	Толстолистовые станы . . . . .	1,1 — 1,2
9	Тонколистовые . . . . .	1,2 — 1,25

В виду лучшей смазки шеек шестерни сравнительно с шейками рабочих валков и обычно лучшему состоянию шеек первых, следует принимать  $f_2$  от 0,07 до 0,1.

$d_{ш \cdot ш}$  — диаметр шеек шестерен, который часто равен  $d_{ш}$ . Коэффициент зажима  $\mathcal{K}$  здесь отсутствует.

*Мощность холостого хода маховика* должна быть подсчитана с учетом потерь от трения о воздух, достигающих при высоких скоростях на ободе значительных величин.

Потери на трение в подшипниках маховика равны:

$$N' = W_3 \cdot f_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_{ц} \cdot n}{60}, \quad (3)$$

где  $W_3$  — вес маховика с валом, лежащий на подшипники (кг),

$f_3$  — коэффициент трения в подшипниках маховика, принимаемый 0,02 — 0,03,

$d_{ц}$  — диаметр цапфы вала маховика в м.



Потери на трение маховика о воздух определяются на основании опытов Беккера по формуле:

$$N^* = 0,763 \cdot v^{2,5} \cdot D_m^2 (1 + 5 \cdot b^2) 10^{-5} \text{ кат}, \quad (4)$$

где  $v$  — окружная скорость на ободу в м/сек в пределах 50 — 150 м/сек,  
 $D_m$  — диаметр маховика в м,  
 $b$  — ширина обода в м.

Выраженная в кгм величина потери на трение о воздух равна

$$N^* = 75 \cdot v^{2,5} \cdot D_m^2 (1 + 5 \cdot b^2) \cdot 10^{-5} \text{ кгм}. \quad (5)$$

Итого мощность холостого хода маховика:

$$N'_4 = N_{x \cdot x \cdot m} = W_3 \cdot f_3 \frac{\pi \cdot d_{ш} \cdot u \cdot n}{60} + 75 \cdot v^{2,5} \cdot D_m^2 (1 + 5 \cdot b^2) 10^{-5}. \quad (6)$$

При малых скоростях на окружности маховика (меньше 50 м/сек) величиной (5) можно пренебрегать.

Таким образом, мощность холостого хода всего стана:

$$N_4 = N_{x \cdot x} = \frac{\pi \cdot n}{60} (\varepsilon \cdot W_1 \cdot f_1 \cdot d_{ш} + W_2 \cdot f_2 \cdot d_{ш} \cdot u + W_3 \cdot f_3 \cdot d_u) + 75 \cdot v^{2,5} \cdot D_m^2 (1 + 5 \cdot b^2) \cdot 10^{-5} \text{ кгм}. \quad (7)$$

**Пример 8.** Определим мощность холостого хода для крупносортного стана  $D_0=550$  мм. Стан расположен в одну линию и имеет 1 обжимную клеть трио, 2 черновых клетки трио, 1 чистую клеть дуо.

Веса, размеры и количество вращающихся частей стана таковы.

1 маховик  $D=7,5$  м, вес 62 т, вес коренного вала 5 т;

1 коренная муфта весом 2,6 т;

1 корень и шпindelь весом 0,48 т;

2 соединительных муфты к нему весом по 0,28 т;

3 шестеренных валка весом по 1,4 т;

11 соединительных валков весом по 0,36 т;

22 соединительных муфты весом по 0,28 т;

3 рабочих вала обжимной клетки весом по 5,45 т;

6 рабочих валков черновых клеток весом по 3,78 т;

2 рабочих вала чистой клетки весом по 1,65 т;

14 верхних подушек среднего и верхнего валков клеток весом по 0,24 т.

Диаметр шеек коренного вала рабочих и шестеренных валков равен 330 мм.

Коэффициенты трения принимаем: в шейках рабочих валков  $f_1=0,12$ , в шейках шестеренных валков  $f_2=0,03$  в шейках коренного вала  $f_3=0,025$ .

Коэффициент зажима рабочих валков принимаем  $\varepsilon=1,3$ .

Ширина обода маховика  $b=0,5$ .

Число оборотов валков 97 об/мин.

$$\text{Окружная скорость на ободу маховика } v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 7,5 \cdot 97}{60} = 38 \text{ м/сек}.$$

Выраженная в тонно-метрах мощность холостого хода равна:

$$\begin{aligned} N_{x \cdot x} = & \frac{\pi \cdot n}{60} (\varepsilon \cdot W_1 \cdot f_1 \cdot d_{ш} + W_2 \cdot f_2 \cdot d_{ш} \cdot u + W_3 \cdot f_3 \cdot d_u) + \\ & + 75 \cdot v^{2,5} \cdot D_m^2 (1 + 5 \cdot b^2) \cdot 10^{-5} = \frac{3,14 \cdot 97}{60} \left[ 1,3 \cdot (9,5 \cdot 0,36 + 19 \cdot 0,28 + \right. \\ & + 14 \cdot 0,24 + 3 \cdot 5,45 + 6 \cdot 3,78 + 2 \cdot 1,65) \cdot 0,12 \cdot 0,33 + (0,5 \cdot 0,48 + 0,28 \cdot 4 + 1,5 \cdot 0,36 + \\ & + 3 \cdot 1,84) \cdot 0,08 \cdot 0,33 + (62 + 5 + 2,6 + 0,5 \cdot 0,48 + 0,28) \cdot 0,025 \cdot 0,33 \left. \right] + \\ & + 75 \cdot 38^{2,5} \cdot 7,5^2 (1 + 5 \cdot 0,6^2) \cdot 10^{-5} = 5,03 (1,3 \cdot 54,5 \cdot 0,12 \cdot 0,33 + 7,4 \cdot 0,03 \cdot 0,33 + \\ & + 93,5 \cdot 0,025 \cdot 0,33) + 75 \cdot 8920 \cdot 56 \cdot 2,8 \cdot 10^{-5} = 5,03 (2,81 + 0,19 + 0,77) + 1,05 \text{ т-м}. \end{aligned}$$

Выразим мощность в кгм.

$$\begin{aligned} N_{x \cdot x} = & 5,03 (2810 + 190 + 770) + 1050 = 14100 + 1950 + 3870 + 1050 = \\ & = 20970 \text{ кгм} = 280 \text{ л. с.} \approx 200 \text{ квт}. \end{aligned}$$

Работа на ускорение (торможение) вращающихся частей стана ( $A_3$ ) может быть определена:

$$A_3 = M \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right), \quad (1)$$

где  $M$  — масса вращающихся частей стана,  
 $v_1$  — скорость в начале рассматриваемого периода времени,  
 $v_2$  — скорость в конце рассматриваемого периода времени.

Для реверсивных станков, не имеющих маховиков, вес всех вращающихся частей стана можно привести к диаметру валков. Если учесть реверсирование, работа ускорения (или торможения) равна:

$$A_3 = M \frac{v_2^2}{2}. \quad (2)$$

Для станков с маховиками работа их ускорения и торможения является весьма существенным фактором в работе станкового двигателя.

## § 49. Статистические методы определения работы прокатки

**Метод Пуппе.** Как ясно из вышеизложенного, путь теоретического определения работы прокатки недостаточно надежен, ибо, необходимые для расчета работы по формулам величины и коэффициенты недостаточно изучены, несмотря на богатый эмпирический материал. Вот почему в вопросе о работе прокатки весьма целесообразно воспользоваться накопленным длительным опытом данными по расходу энергии при прокатке. Соответствующая обработка этих данных дает возможность пользоваться полученными опытными величинами и коэффициентами для определения работы прокатки.

Впервые наиболее многочисленные и содержательные опыты исследования работы прокатки были произведены на германских заводах в конце прошлого и начале нынешнего столетия. Эти опыты опубликованы инж. Пуппе<sup>1</sup>. Собранный обширный опытный материал был им обработан с целью нахождения величин удельного смещенного объема:

$$V_{y.c} = \frac{V_s}{A_c} \text{ м.м}^2,$$

где  $V_{y.c}$  — удельный смещенный объем металла за пропуск (т. е. смещенный объем металла на 1 кгм затраченной чистой работы прокатки),

$V_s$  — смещенный объем за пропуск (м.м<sup>3</sup>),

$A_c$  — чистая работа прокатки, затраченная за пропуск (кгм).

Опытами Пуппе установлено, что величина удельного смещенного объема зависит от температуры металла и формы калибра. Она уменьшается с понижением температуры и для фасонных калибров.

Всего в опытах Пуппе было исследовано 29 различных профилей, из них 8 типов рудничных рельс, 3 типа балок, далее полосовое железо, швеллера, заготовки и др. — сортамент, хотя и обширный, но далеко не полный.

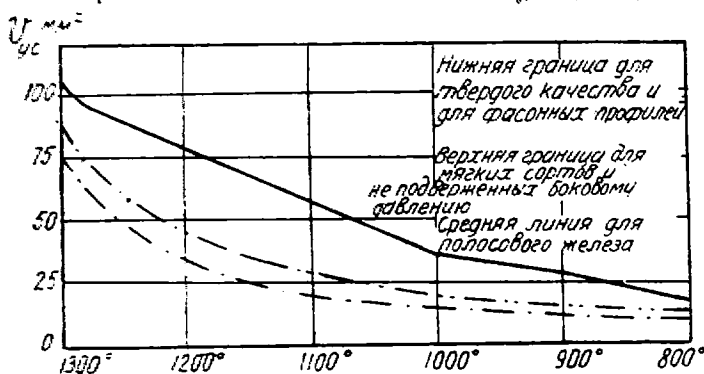
Пуппе, находя зависимость между смещенным объемом металла и чистой работой прокатки, допустил, что эти величины прямо пропорциональны друг другу. На самом же деле смещенный объем пропорционален работе деформации, но не всей чистой работе прокатки, которая помимо работы деформации, включает работу трения металла в валках и преодоление дополнительного трения в шейках валков. Последние две работы

<sup>1</sup> Пуппе, Определение расхода энергии на прокатных станах, изд. „Сталь“, 1932 г.

можно принять пропорциональными работе деформации лишь при прокатке в гладких валках и в калибрах простой формы. В сложных калибрах весьма значительно возрастает работа трения металла в валках; она не будет пропорциональна работе деформации. Вот почему в опытах Пуппе величины удельного смещенного объема получились весьма колеблющимися в зависимости от формы калибров. Эти величины могут быть приняты для расчета работы в калибрах аналогичной опытам Пуппе формы. Это ограничивает пользование величинами удельных смещенных объемов Пуппе.

Результаты опытов Пуппе в сводном виде представлены на фиг. 210<sup>1</sup>. Весьма большой диапазон полученных величин подтверждает сказанное выше. По ординате отложены величины удельного смещенного объема, по абсциссе — температура металла в пропусках. Верхняя линия может быть принята для простых калибров и мягкого металла, нижняя — для фасонных калибров и твердого металла, средняя — для полосового железа.

Для определения чистой работы прокатки по методу Пуппе нужно по калибровке определить смещенный объем  $V_s$ , и для данного профиля



Фиг. 210. Сводные данные опытов Пуппе.

и данной температуры найти по опытным диаграммам<sup>2</sup> величину  $V_{y...}$

Чистая работа прокатки  $T = \frac{V_s}{V_{y...}}$  кг.м.

Следует отметить допущенную Пуппе ошибку в определении  $V_s$ . Он определял смещенный объем  $V_s = L(Q - q)$ , между тем, как  $V_s = L(Q - q + Q_s)$ , (см. стр. 173). Ошибка, состоящая в том, что не учтено  $Q_s$ , фактически полученное за счет смещения металла тем больше, чем больше  $Q_s$ , т. е. чем больше уширение. При большом уширении (для полос, уголков) ошибка достигает 25—30, иногда 40%. Но при пользовании данными удельного смещенного объема Пуппе следует принимать также  $V_s = L(Q - q)$ .

Все же, несмотря на эти недостатки, опыты Пуппе до сих пор являются непревзойденными, как в отношении количества собранных опытных данных, так и по тщательности проведения опытов. Опытные данные Пуппе послужили канвой для дальнейшей разработки ряда вопросов по расходу энергии при прокатке; наиболее существенные выводы из них были сделаны Лиссом<sup>3</sup>, предложившим определять работу в зависимости от выпускаемого валками объема металла. Однако метод Лисса не получил широкого практического применения, поэтому мы на нем подробно не останавливаемся.

**Метод Тиме.** Отличительной чертой описанного выше метода Пуппе является определение чистой работы прокатки для каждого отдельного

<sup>1</sup> В обработке проф. А. Виноградова.

<sup>2</sup> В тексте книги Пуппе.

<sup>3</sup> Лисс, Работа прокатки, Реферат в ЖРМО, 1926 г. № 1, ч. II.

пропуска. Работа прокатки за все необходимые для получения из слитка изделия конечного сечения пропуска определяется как сумма работ отдельных пропусков. Иногда, впрочем, нет нужды знать работу отдельных пропусков, а требуется знать *полную работу за все пропуска*, т. е., вернее говоря, *работу для прокатки 1 слитка или 1 т металла*. Тогда, зная программу прокатки (количество и сортамент изделий), нетрудно определить *потребность в энергии для двигателя стана*, и, как увидим ниже, вполне возможно с достаточной приближенностью наметить *мощность потребного для стана двигателя*.

Опыты в направлении определения расхода энергии для прокатки различных профилей были произведены в конце прошлого столетия проф. Тиме. Приняв, что

$$A_1^n = G (\mu_n - 1) \cdot \Delta, \quad (1)$$

где  $A_1^n$  — полная работа прокатки за все  $n$  пропусков,

$G$  — вес прокатываемого слитка,

$\mu_n$  — полная вытяжка при прокатке за все пропуска,

$\Delta$  — коэффициент прокатки, выраженный в единицах работы.

При  $G=1$  и  $\mu_n-1=1$  коэффициент  $\Delta=A_1^n$ , т. е.  $\Delta$  есть работа, необходимая для прокатки единицы веса на вытяжку  $\mu_n=2$ .

Тиме определял на прокатных станах  $A$ ,  $G$ ,  $\mu_n$ , находя

$$\Delta = \frac{A_1^n}{G (\mu_n - 1)}. \quad (2)$$

Опыты были произведены на блумингах, рельсо-балочных, крупно-сортных, среднесортных, мелкосортных, проволочных и листовых станах.

Собранные Тиме данные были обработаны и приведены в удобный для пользования вид проф. А. Виноградовым, который дополнил таковые результатами более поздних исследований, в частности — опытов Пуппе.

Коэффициент  $\Delta$  зависит от температуры и химического состава прокатываемого металла, от калибровки, а также от конструкции работы стана, ибо в полную работу прокатки  $A_1^n$  входит и работа холостого хода стана. Следовательно, величина коэффициента  $\Delta$  в применении к различным станам является лишь приближенной, но с достаточной для практических целей точностью.

Проф. Виноградовым формула Тиме представлена в следующем виде:

$$A_1^n = G (\mu_n - 1) \cdot \Delta_0 \cdot K \text{ квт-ч}; \quad (3)$$

где  $A_1^n$  — полная работа прокатки в квт-ч на прокатку 1 литка,

$G$  — вес слитка ( $m$ ),

$\Delta_0$  — коэффициент прокатки (квт-ч/ $m$ ),

$K$  — поправочный коэффициент на температуру конца прокатки.

На основании обработки опытных данных коэффициент  $\Delta_0$  равен:

$$\text{при } \mu_n \leq 32 \quad \Delta_0 = \frac{10}{\mu_n} + 0,500; \quad (4)$$

$$\text{при } \mu_n = 32 \div 80 \quad \Delta_0 = \frac{23}{\mu_n} + 0,090; \quad (5)$$

$$\text{при } \mu_n > 80 \quad \Delta_0 = 0,400 - 0,00044 (\mu_n - 80). \quad (6)$$

Коэффициент  $K$  изменяется в зависимости от температуры конца прокатки и от прокатываемого профиля, увеличиваясь для фасонных профилей. Значения коэффициента  $K$  также получены из опытных данных и представлены на фиг. 211. График, изображенный на фиг. 211, имеет несколько интервалов (участков), в которых наблюдаются перегибы ломаных линий. По оси абсцисс отложена температура конца прокатки,

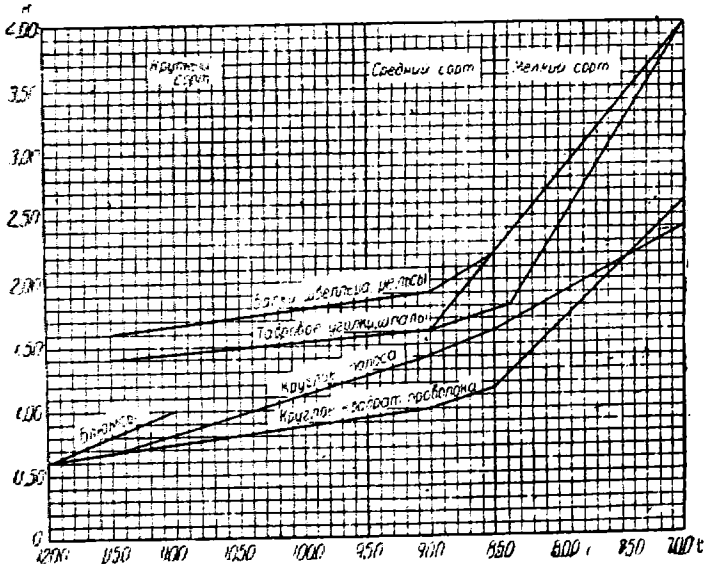
по оси ординат — величина коэффициента  $K$ . Данные графика удобно представить в таблице (табл. 35).

Таблица 35

Поправочный коэффициент  $K$  в зависимости от температуры конца прокатки и профиля

№	Профиль	1-й интервал			2-й интервал			3-й интервал		
		Темп. конца прокатки	Изменение $K$ от — до	Изменение $K$ на $10^\circ$	Темп. конца прокатки	Изменение $K$ от — до	Изменение $K$ на $10^\circ$	Темп. конца прокатки	Изменение $K$ от — до	Изменение $K$ на $10^\circ$
1	Блаумсы . .	1200—1000	0,60—1,00	0,040	—	—	—	—	—	—
2	Круг, квадрат, проволока . . .	1200—900	0,60—1,00	0,013	900—850	1,0—1,2	0,040	850—700	1,7—1,6	0,027
3	Круг, полоса	1200—900	0,60—1,40	0,027	900—700	1,4—2,4	0,050	—	—	—
4	Тавровые уголки . .	1150—900	1,40—1,60	0,008	900—825	1,6—1,8	0,027	825—700	1,8—4,0	0,176
5	Балки, швеллера, рельсы . .	1150—900	1,60—1,90	0,012	900—850	1,9—2,2	0,060	850—700	2,2—4,0	0,120

Пример 9. Определить по формуле Тиме-Виноградова полную работу прокатки рудничного рельса весом 14,78 кг/пог. м из слитка весом 0,5 т сечением 200×200 мм<sup>2</sup>; температура конца прокатки 950°.



Фиг. 211. График для нахождения коэффициента к формуле Тиме-Виноградова.

Решение. Находим поперечное сечение рельса:

$$q = \frac{14,78}{7,8 \cdot 10} = 0,19 \text{ дм}^2 = 1900 \text{ мм}^2.$$

$$\mu_n = \frac{200 \cdot 200}{1900} = 21. \text{ Суммарная вытяжка меньше 32, поэтому}$$

$$\Delta_0 = \frac{10}{\mu_n} + 0,500 = \frac{10}{21} + 0,500 = 0,976.$$

Коэффициент  $K$  выбираем по таблице 35 в 5-й строке в 1-ом интервале температур. При изменении температуры от 1150 до 900° коэффициент  $K$  изменяется от 1,60 до 1,90, т. е. 0,012 на каждые 10°. Наша температура 950° отстоит от 900° на 950 — 900 = 50°, следовательно,  $K$  изменится на 5 · 0,012 = 0,6, и величина  $K = 1,90 - 0,06 = 1,84$ <sup>1</sup>.

Полная работа прокатки:

$$A_1^n = G (\mu_n - 1) \Delta_0 K = 0,5 \cdot 20 \cdot 0,978 \cdot 1,84 = 18,0 \text{ квт-ч.}$$

На 1 т слитков:

$$A_1^n = 20 \cdot 0,978 \cdot 1,84 = 36 \text{ квт-ч.}$$

**Пример 10.** Определить работу прокатки на проволочном стане,  $\varnothing$  проволоки 5,5 мм, температура конца прокатки 750°, слитки весом 0,15 т, сечением 150 · 150 мм.

Поперечное сечение проволоки:

$$q = \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} = 23,6 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Суммарная вытяжка } \mu_n = \frac{150 \cdot 150}{23,6} = 950 > 80.$$

$$\Delta_0 = 0,400 + 0,00044 (\mu_n - 80) = 0,400 + 0,00044 \cdot 870 = 0,780.$$

Для определения  $K$  находим: 750 — 700 = 50°;

$$K = 1,6 - 5 \cdot 0,27 = 1,6 - 0,13 = 1,47.$$

$$A_1^n = 0,15 \cdot 949 \cdot 0,78 \cdot 1,47 = 163 \text{ квт-ч.}$$

$$\text{На 1 т } A_1^n = 949 \cdot 0,78 \cdot 1,47 = 1080 \text{ квт-ч.}$$

При прокатке проволоки  $\varnothing$  7,5 мм и температуре конца прокатки 850° имеем:

$$q = \frac{3,14 \cdot 7,5^2}{4} = 44,2 \text{ мм}^2.$$

$$\mu_n = \frac{150 \cdot 150}{44,2} = 510 > 80.$$

$$\Delta_0 = 0,400 + 0,00044 \cdot 430 = 0,400 + 0,19 = 0,590; \quad K = 1,22.$$

$$A_1^n = 509 \cdot 0,59 \cdot 1,2 = 360 \text{ квт-ч/т.}$$

**Статистические данные о расходе энергии при прокатке.** Приведенная выше эмпирическая формула Тиме-Виноградова дает возможность найти полную работу прокатки для разных профилей. В сортамент любого стана входит обычно значительное количество профилей, исчисляемых, например, для среднесортного стана в несколько десятков. Поэтому при решении различных задач, связанных с самым общим определением расхода энергии на прокатку (в эскизном проектировании заводов, районировании электростанций, в перспективных определениях потребности в электроэнергии и т. п.) удобнее пользоваться более общими данными, например, *валовым расходом энергии (включая и вспомогательное оборудование) на 1 т годной продукции*<sup>2</sup>. Эти статистические данные представлены в таблице 50 для действующих (старых) станов Союза и в таблице 51 для новостроящихся станов<sup>3</sup>. Следует иметь в виду, что приведенные в таблицах величины расхода энергии на 1 т годной продукции являются приближенными. Дальнейшие наблюдения в этом направлении будут корректировать и дополнять указанные величины.

<sup>1</sup> С другой стороны, по верхнему пределу  $K = 1150 - 950 = 200^\circ$ ; изменение  $20 \cdot 0,012 = 0,24$  и  $K = 1,60 + 0,24 = 1,84$ .

<sup>2</sup> Выход годной продукции из 1 т слитков см. в приложении.

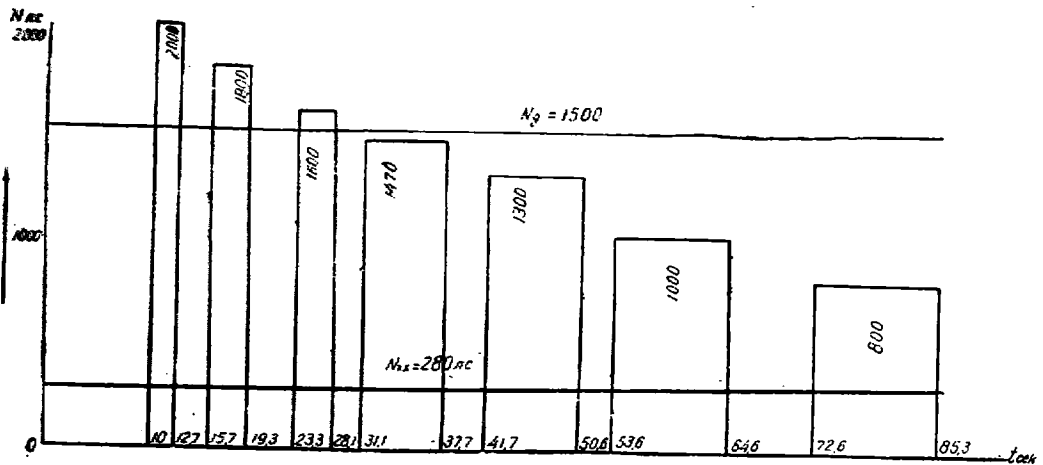
<sup>3</sup> По материалам Гипромеза.

## § 50. Принципы определения мощности станových двигателей

В данном параграфе остановимся лишь на самых общих принципах определения мощности станových двигателей. В качестве станových двигателей в настоящее время устанавливаются только электродвигатели. Лишь на старых станах можно найти паровые машины и в исключительных случаях газовые двигатели. Основными и всем известными преимуществами электропривода являются экономичность, компактность, меньшая стоимость и удобства управления. Успехи электротехники позволяют в настоящее время изготовлять весьма мощные прокатные моторы, до 10 000 и выше квт и приспособлять эти моторы для условий работы различных станов.

Существенное отличие представляет работа двигателя реверсивного стана и неревверсивного с маховиком. Назначением тяжелых маховиков при станах является аккумулялирование энергии во время пауз и отдача этой накопленной энергии во время пропусков для помощи двигателю. Маховик таким образом способствует более равномерной нагрузке двигателя, «срезая пики» пропусков и нагружая двигатель для своей «зарядки» во время пауз.

Не всегда, однако, установка маховика при стане будет полезной. В тех случаях, когда паузы кратковременны, а пропуска длительны и нагрузка их сравнительно равномерна, маховик не только бесполезен, но и вреден, ибо на его вращение затрачивается некоторая энергия. Поэтому ставить маховики можно только в необходимых случаях, например: для



Фиг. 212. Диаграмма работы при прокатке рудничного рельса в 7 пропусков для реверсивного стана без маховика.

эбжимных клетей, где кратковременные пиковые пропуска чередуются с более продолжительными паузами, для листопркатных станов трио. Во всех остальных случаях следует избегать маховиков, имея еще в виду, что электродвигатель способен давать кратковременные (пиковые) перегрузки в 200—250% от своей номинальной мощности. Вредно, например, снабжать маховиками чистовые линии мелкосортных и проволочных станов.

Выбор мощности станového мотора может быть произведен на основании определения работы и мощности отдельных пропусков или определения валовой (полной) работы прокатки.

Метод определения мощности двигателя по мощности отдельных пропусков заключается в том, что по теоретическим формулам или по методу Пуппе<sup>1</sup> определяется работа и мощность всех пропусков для прокатки данного профиля. Рассматривая полученные мощности пропусков, производим подбор мощности двигателя, учитывая, что электродвигатель способен переносить кратковременную (мгновенную) перегрузку до 200—250% и длительную (до 3 минут) до 50%.

Пример 11. Прокатка рудничного рельса производится в 2 клетях в 7 пропусков. На фиг. 212 изображена диаграмма работы прокатки. Стан неревверсивный без маховика. Определить мощность потребного для стана мотора при одновременной прокатке лишь одной болванки. В таблице 36 приведены данные о мощностях пропусков и длительности пропусков и пауз.

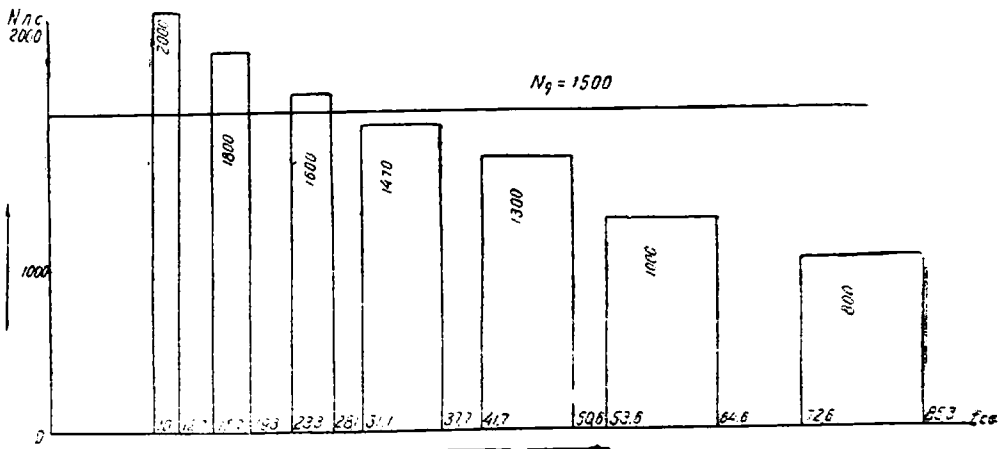
Максимальная мощность имеет место в 1-м пропуске — 2000 л. с. В остальных пропусках, одновременно с увеличением их продолжительности, уменьшается их мощность. Учитывая перегрузочную способность двигателя, возможно остановиться на его мощности в 1500 л. с.

Пример 12. Определить мощность станového мотора, если прокатка того же рудничного рельса производилась на реверсивном стане.

<sup>1</sup> Широкое распространение получил также для определения работы отдельных пропусков метод проф. Виноградова, основанный на сочетании данных формулы Тиме и работы деформации.

**Мощность, работа пропусков и продолжительность пропусков и пауз**

№ пропусков	Мощность пропусков (л. с.)	Продолжительность (сек.)		Работа пропусков (л. с.)
		Пропусков	Пауз	
1	2000	2,7	10	5400
2	1800	3,6	3	6500
3	1600	4,8	4	7700
4	1470	6,6	3	9700
5	1300	8,9	4	11600
6	1000	11,0	3	11000
7	800	12,7	8	10200
—	—	50,3	35	62100



Фиг. 213. Диаграмма работы при прокатке рудничного рельса в 7 пропусков для реверсивного стана.

*Решение.* При прокатке в реверсивном стане после каждого пропуска производится остановка двигателя, реверсирование и разгон в противоположном направлении. Можно приближенно принять, что во время пауз двигатель работы не производит<sup>1</sup>, и тогда *диаграмма работы прокатки примет вид, изображенный на фиг. 213.* При выборе мощности пропусков поэтому и в данном случае следует принять ту же мощность мотора, если мощности отдельных пропусков остались неизменными (т. е. не изменилась скорость прокатки). Следует здесь заметить, что захват штуки валками в реверсивном стане происходит не при полном (максимальном) числе оборотов, поэтому действительная диаграмма работы и мощности пропусков будет несколько отличаться от изображенной на фиг. 214, как показано пунктиром.

Допустим теперь, что рассматриваемый стан, в котором производится прокатка рудничного рельса, снабжен маховиком. Что должно служить основой для выбора мощности станového мотора? Как уже было сказано, во время пауз маховик „заряжается“, чтобы накопленную энергию отдать во время пропусков. Количество накопленной маховиком во время паузы энергии (живой силы) определяется выражением:

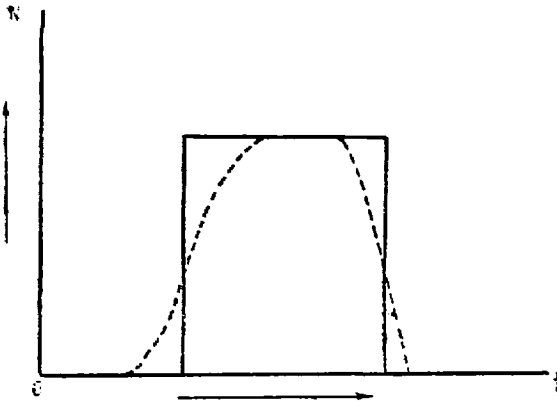
$$\bar{M} \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right),$$

т. е. зависит от массы и скорости маховика, определяемых его весом и диаметром. Наилучшим решением вопроса был бы такой подбор мощности двигателя, веса и диаметра маховика и продолжительности пауз, при котором *маховик накаплил бы столько энергии, чтобы*

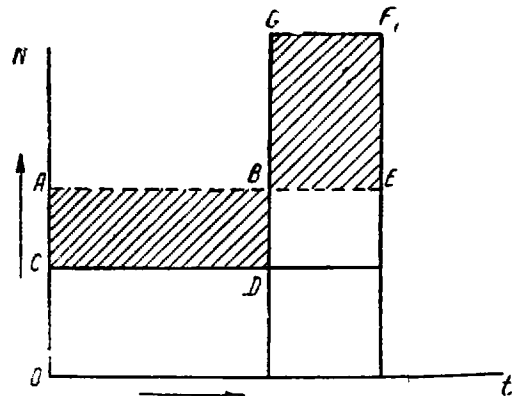
<sup>1</sup> На самом деле при торможении стана в электрическую сеть мотор, работающий как генератор, может отдавать энергию торможения, а при разгоне стана затрачивается энергия на ускорение.



преодолеть работу во время пропуска, идущего сверх работы, отдаваемой двигателем, при его нормальной нагрузке. Графически это решение вопроса сводится к проведению линии, отсекающей равные площадки BEFG и ABDC (фиг. 215). Мощность двигателя соответствует ординате OA. Тогда для каждой паузы и пропуска диаграммы (фиг. 216) можно определить наиболее рациональную мощность двигателя и характеристики маховика, что и произведено на диаграмме.



Фиг. 214. Расчетная и фактическая диаграммы прокатки.

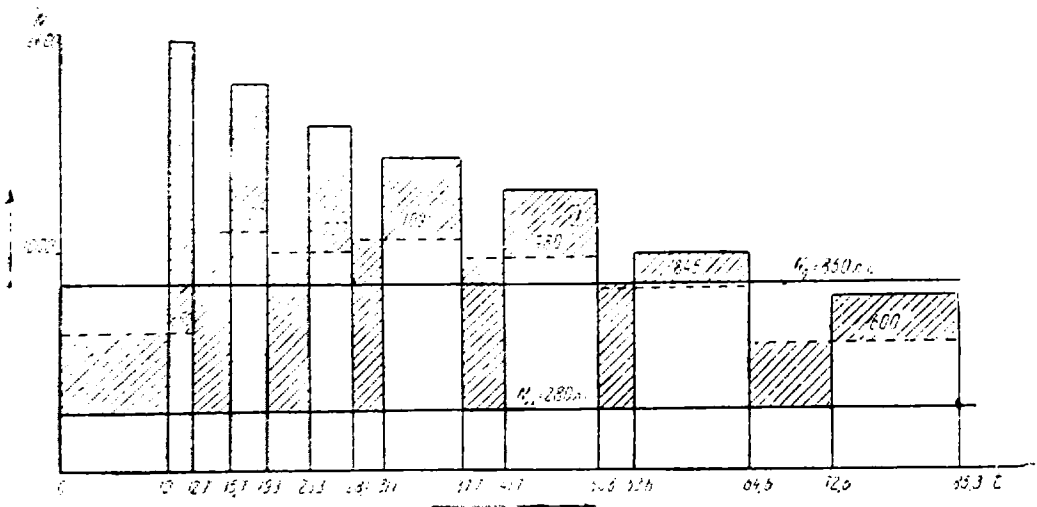


Фиг. 215. Графическое нахождение мощности двигателя при наличии маховика.

Рассматривая полученные мощности по каждой паре пауза-пропуск, видим, что *наибольшая мощность потребна для 2-го и 4-го пропусков*. Высокие мощности также в 3-ем и 4-ом пропусках. Учитывая *перегрузочную способность двигателя* и наличие маховика, мощность его для данного рассматриваемого случая можно принять как среднюю

$$N_d = N_{cp} = \frac{\sum_1^7 A + 35 \cdot 280}{50,3 + 35} = \frac{62100 + 9300}{85,3} = \frac{71900}{85,3} = 850 \text{ л. с.},$$

что почти в 2 раза меньше 1500 л. с.

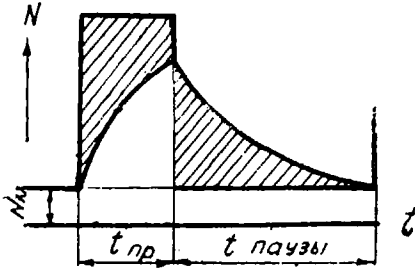


Фиг. 216. Диаграмма работы при прокатке рудничного рельса в 7 пропусков для переверсивного стана с маховиком.

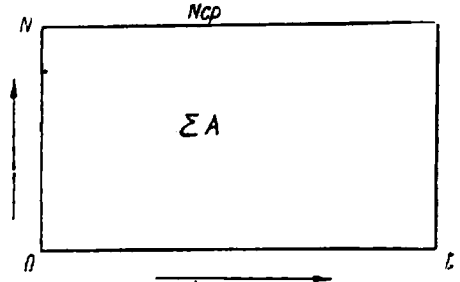
Следует отметить, что рассмотренная нами диаграмма работы прокатки лишь схематична, и выбор мощности двигателя весьма ориентировочен. На самом деле диаграмма имеет более сложный вид, зарядка и разрядка маховика, а также нагрузка и разгрузка двигателя происходят постепенно по мере изменения числа оборотов стана.

Действительный вид участка диаграммы представлен на фиг. 217, где по оси абсцисс отложено время, по оси ординат вверх мощность (или моменты), вниз — число оборотов стана. Помимо того, обыкновенно в стане прокатывается одновременно 2—3 болванки. Подробное изучение этого вопроса в программу данного курса не входит.

Метод определения мощности двигателя по средней мощности пропусков заключается в том, что по формуле Тиме определяется полная работа прокатки за какой-либо отрезок времени, например, 1 час, и по найденной средней мощности за это время подбирается мощность двигателя. Графически решение задачи сводится к тому, что, вместо диаграммы работы по пропускам и паузам, мы определяем при той же общей площади суммы работ высоту равновеликой прямоугольной площадки в предположении, что работа за все рассматриваемое время расходуется равномерно (фиг. 218). При этом мы находим среднюю мощность пропусков, определяя полную работу за все пропускания по формуле Тиме, а работы и мощности отдельных пропусков мы не знаем.



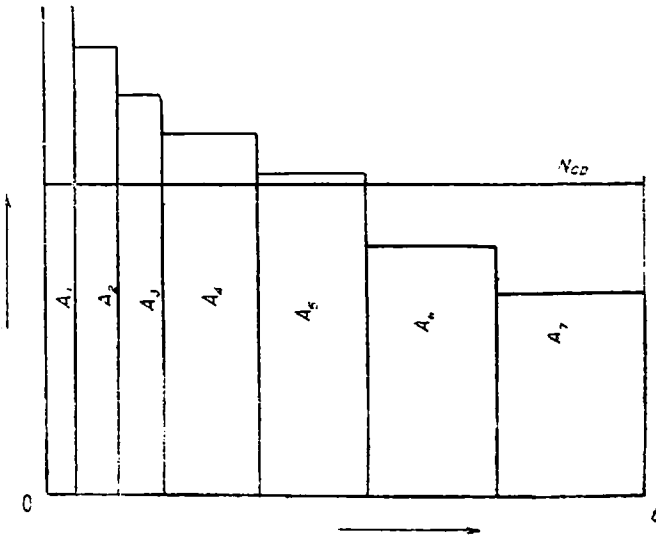
Фиг. 217. Действительная диаграмма работы прокатки стана с маховиком.



Фиг. 218. Нахождение графически средней мощности двигателя с маховиком.

Выбор двигателя при этих предпосылках может быть произведен, естественно, только ориентировочно, поэтому данный метод менее точен, чем предыдущий. Применен он может быть в случае решения вопроса об определении ориентировочной мощности двигателя стана при эскизном проектировании и т. п. задачах.

Весьма существенно при этом, имеет ли стан маховик или нет. При наличии маховика работа двигателя действительно приближается к условиям более или менее равномерной нагрузки (фиг. 217), без маховика двигатель работает менее равномерно (фиг. 219). Но и при наличии маховика следует взять мощность двигателя выше средней мощности



Фиг. 219. Нахождение графически средней мощности двигателя без маховика.

пропусков, учитывая неравномерность нагрузки. Следовательно, мощность двигателя с маховиком определяется так:

$$N_{дв} = \alpha \cdot N_{ср} = \alpha \frac{A_1^n \cdot n}{T}, \quad (1)$$

где  $N_{дв}$  — мощность двигателя;

$A_1^n$  — полная работа прокатки 1 болванки за все пропускания;

$n$  — число болванок, прокатываемых за рассматриваемый отрезок времени, например в 1 час;

$T$  — рассматриваемое время, например 1 час;

$\alpha$  — коэффициент запаса, больше единицы, показывающий, во сколько раз принимаемая мощность двигателя больше средней мощности пропусков; обычно  $\alpha = 1,3 - 1,5$ , при невыгодном распределении нагрузки 1,75 — 2,0.

В случае отсутствия маховика средняя мощность должна быть взята не для полного времени прокатки с учетом пропусков и пауз, а лишь для пропусков. *Графически решение задачи сводится к группированию одних пропусков (фиг. 219) и нахождению высоты прямоугольной площадки, равновеликой сумме площадей (работ) всех пропусков.* Для решения этой задачи необходимо знать коэффициент времени пропусков от общего времени прокатки, являющийся переменным и зависящим от типа и конструкции стана, а также от организации его работы. На основании хронометражных данных можно принимать следующие величины этого коэффициента:

$$\delta = \frac{t}{T},$$

где  $t$  — продолжительность пропусков,

$T$  — полная продолжительность прокатки.

$\delta$  равно:

для блумингов . . . . .	0,4—0,6,
„ рельсо-балочных станов в 1 линию . . . . .	0,3—0,5,
„ среднесортных и крупносортных в 1 линию . . . . .	0,3—0,5,
„ мелкосортных и крупносортных станов . . . . .	0,4—0,6,
„ проволочных . . . . .	0,5—0,7,
„ листопрокатных трио . . . . .	0,3—0,4,
„ обжимных клетей . . . . .	0,2—0,3.

Мощность двигателя для стана без маховика равна:

$$N_{\delta} = \alpha \cdot \frac{A_1^n \cdot n}{T \cdot \delta}, \quad (2)$$

где  $\delta$  — коэффициент времени пропусков.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (1).

Пример 13. Определить мощность электродвигателя стана согласно данным стр. 191 при прокатке рудничных рельс, имея в виду наличие маховика. В 1 час прокатывается 20 т, чему соответствует

$$\frac{20}{0,5} = 40 \text{ болванок.}$$

Принимаем  $\alpha = 1,5$ .

$$N_{\delta} = \alpha \cdot \frac{A_1^n \cdot n}{T} = 1,5 \cdot \frac{18 \cdot 40}{1} = 1080 \text{ квт} = 1470 \text{ л. с.}$$

При  $\alpha = 1,3$

$$N_{\delta} = 1,3 \cdot 18 \cdot 40 = 940 \text{ квт} = 1280 \text{ л. с.}$$

Продолжительность прокатки 1 болванки, согласно фиг. 216, равна 85,3 сек. Одновременно прокатывается

$$\frac{85,3 \cdot 40}{3600} = 0,95 = 1 \text{ болванка.}$$

Но в виду неравномерности процесса прокатки, имеющей место обычно в практической работе на стане, фактическая работа будет заключаться в том, что в отдельные более или менее длительные периоды в стане будет находиться 1,5—2 болванки, а в другие периоды менее 1 болванки (в среднем).

Вводя коэффициент запаса  $\alpha$ , мы учитываем и этот фактор, наряду с неравномерной нагрузкой (мощностью) отдельных пропусков.

Определим мощность электродвигателя стана без маховика, но для тех же условий. Согласно фиг. 212 и таблице 36:

$$\delta = \frac{t}{T} = \frac{50,3}{85,3} = 0,59.$$

$$N_{\delta} = \alpha \cdot \frac{A_1^n \cdot n}{T \cdot \delta} = 1,5 \cdot \frac{18 \cdot 40}{0,59} = 1830 \text{ квт} = 2500 \text{ л. с.}$$

При  $\alpha = 1,3$

$$N_{\delta} = 1,3 \cdot \frac{18 \cdot 40}{0,59} = 1600 \text{ квт} = 2170 \text{ л. с.}$$

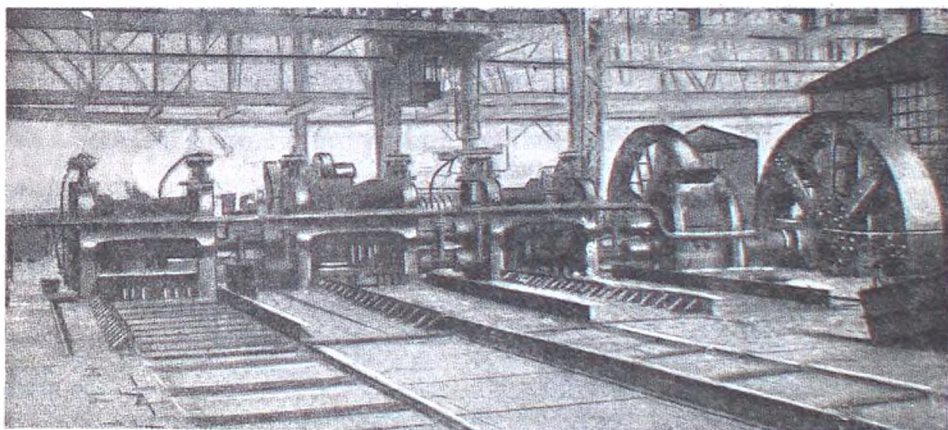
Максимальная мощность пропуска, полученная теоретическим расчетом по формулам расхода энергии при прокатке, была найдена нами: она составляет 2000 л. с. (стр. 191). Таким образом, имеется известное расхождение между данными теоретического расчета и экспериментальными данными, которые объясняются сложностью и недостаточной изученностью вопроса.

## УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### § 51. Схема устройства прокатного стана

*Прокатным станом принято называть совокупность рабочих и вспомогательных механизмов, служащих для изготовления определенного сортамента продукции путем прокатки.*

В прокатном цехе по характеру работы различают *основные агрегаты*, непосредственно выполняющие деформацию прокатки, и *вспомогательные механизмы*, обуславливающие прокатку, транспортирующие обрабатываемый продукт, выполняющие резку и окончательную отделку выпускаемой продукции.



Фиг. 220. Общий вид прокатного стана.

Основной прокатный агрегат (фиг. 220), как и всякая рабочая машина состоит из трех главных частей: а) двигателя, б) передаточного механизма и в) исполнительной части — рабочей машины. Двигателем чаще всего служит электромотор, реже паровая машина или газовый двигатель. К двигателю же относится и маховик, часто применяемый у станов, работающих без перемены направления вращения валков — нереверсивных.

Передаточный механизм включает детали, служащие для передачи вращения от двигателя к рабочим валкам; сюда относятся муфты и прочие соединительные части, а также шестерни, заключенные в станины, так называемые шестеренные клетки.

К исполнительной части — рабочей машине относятся валки, производящие обработку, заключенные в станине. Каждый комплект валков в станинах составляет прокатную единицу, так называемую *рабочую клеть*.

Рабочие клетки могут иметь самостоятельный привод, но иногда, по характеру технологического процесса, могут группироваться по несколько в группы, линии.

Современные прокатные станы, работающие в условиях больших скоростей, усилий и точности, представляют собой агрегат, к прочности и точности которого предъявляются большие требования. Определению размеров конструкции и деталей, а также выбору материала и обработке должно придаваться большое значение. К сожалению, по причине малой изученности величины и характера действующих усилий, конструирование прокатных станов находилось во власти голого эмпиризма, и только теперь постепенно, с накоплением теоретического и экспериментального материала, ставится на совершенно новой научной базе.

## § 52. Классификация прокатных станов

В практике прокатного дела существует большое разнообразие конструкций и систем прокатных станов.

Для облегчения изучения мы разобьем их на категории, типы по главнейшим признакам:

- 1) характеру деформации,
- 2) характеру движения валков,
- 3) роду выпускаемой продукции,
- 4) конструкции рабочих клеток,
- 5) расположению рабочих клеток.

1. По характеру деформации можно различать три основных типа станов: *станы продольной прокатки, геликоидальной (косой) прокатки и станы поперечной прокатки*. Большинство существующих прокатных станов относятся к первой категории, две остальных носят специальный характер. Ко второму типу относятся станы трубопрокатные, а к третьему станы для обкатки осей и другие, менее всего распространенные в практике.

2. По характеру движения валков прокатные станы разделяются на два класса: *станы реверсивные и нереверсивные*.

3. По роду выпускаемой продукции можно составить следующую классификацию, отвечающую современному циклам технологических процессов.

Таблица 37

Классификация прокатных станов по циклам производства и роду выпускаемой продукции

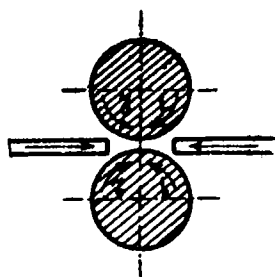
Сортовой цикл	Листовой цикл	Трубный цикл		Станы спец. назначения
Блуминги (обжатая болванка, блумсы)	Слябинги (плоская заготовка, слябы)	Станы для прокатки бесшовных труб	Станы для прокатки сварных труб	Станы для прокатки бандажей, колес, волнистого железа, лопат, спиц, вил и т. п.
Крупносортовые и рельсо-балочные (рельсы, балки и крупные размеры)	Бронепрокатные Толстолистовые	Сутуночные (заготовка для тонколистовых станов)	Станы Маннесмана, Штифеля	
			Трубосварочные станы всех существующих способов сварки	
Среднесортные	Среднелистовые	Пильгер-станы		
Мелкосортные	Универсальные	Станы Фассля		
Проволочные	Тонколистовые Листо-кровельные и жестепрокатные Станы для холодной прокатки тонких листов и лент	Редукционные станы		

Три основных цикла прокатного производства: сортовой, листовой и трубный настолько специфичны и своеобразны, что зачастую отдельным крупным металлургическим заводам придется один только цикл с производительностью около миллиона тонн в год готовой продукции. Дифференциация отдельных циклов, приведенная в таблице, расположена по принципу последовательности обработки от крупных профилей к более мелким.

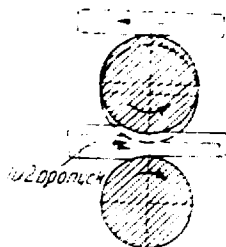
4. По конструкции рабочих клеток различают следующие типы прокатных станов:

а) *Дуо-станы*, вообще говоря, — станы, имеющие рабочие клетки с двумя валками. По характеру работы дуо-станы можно подразделять на станы:

*дуо-реверсивные* (фиг. 221), обычно применяемые для прокатки крупных профилей как то: *блуминги, слябинги, рельсо-балочные европейского типа, толстолистовые* и т. п., и *дуо-постоянные*, т. е. дуо-неревверсивные с постоянным направлением вращения валков; последние применяются в случае прокатки только в одном направлении: *листо-кровельные станы, непрерывные, трубопрокатные.*



Фиг. 221. Дуо-реверсивный стан.



Фиг. 222. Листо-прокатный стан.

В листо-кровельных станах (фиг. 222) прокатываемая штука после пропуска передается обрат-

но через верхний валок.

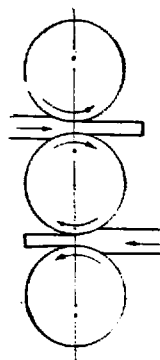
б) *Трио-станы* — станы с тремя валками в каждой клетке. Направление вращения валков показано на фиг. 223. Характерной особенностью этих станов является постоянное направление вращения валков; штука после пропуска в нижнюю пару валков возвращается назад между верхним и средним.

Наибольшее распространение трио-станы получили в прокатке легкого *сортового металла*, где не требуется громоздких приспособлений для подъема и задачи штуки в верхнюю пару. Но иногда трио-станы применяются для прокатки и крупных профилей, причем такие станы оборудуются мощными подъемными приспособлениями (подъемными столами) (фиг. 224 и 225).

В листовой прокатке имеет большое распространение особый тип трио-станов, получивших наименование *трио-станов Лаута*<sup>1</sup>. Этот стан (фиг. 225 и 227) отличается следующими особенностями: средний валок по диаметру меньше верхнего и нижнего ( $\frac{2}{3}$  —  $\frac{3}{4}$  диаметра верхнего или нижнего), что имеет целью увеличить вытяжку, уменьшить высоту хода подъемных приспособлений и создать принудительное направление выхода металла из валков. Кроме того, средний валок не соединяется с двигателем, а вращается от трения валка о металл. Последнее обстоятельство имеет целью обеспечить получение гладкой поверхности выпускаемых листов, так как устраняет вредное влияние зубчатой передачи и облегчает смену (перевалку) среднего валка.

Трио-станы Лаута применяются как в горячей, так и в холодной прокатке.

в) *Доппель-дуо или двойное дуо* по характеру работы отличается от станов трио только тем, что клетки этих станов имеют четыре валка, расположенных попарно на разных уровнях (фиг. 228). Такое усложнение конструкции клетки имеет целью упростить калибровку при наибольшем

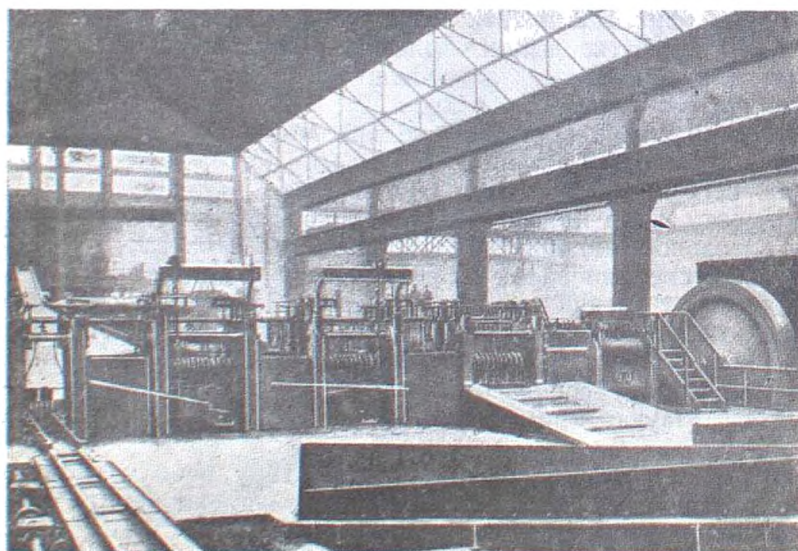


Фиг. 223. Стан трио.

<sup>1</sup>Предложен в 1862 г. американцем Лаутом.

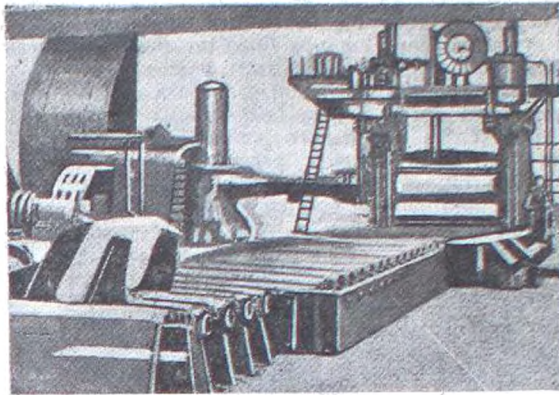


**Фиг. 224.** Крупносортовый стан трио с подземными столами.



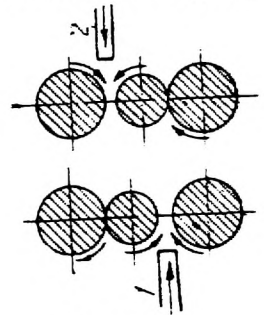
**Фиг. 225.** Среднесортный стан трио с подъемным столом.

использовании рабочей поверхности валков. Принцип работы понятен из приведенного чертежа.



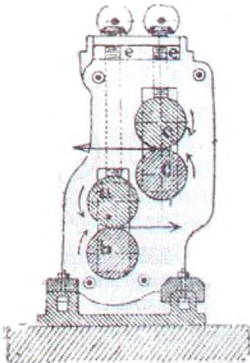
Фиг. 226.  
Листопрокатный стан трио.

г) *Дуо-переменное* или *комбинированное* является лишь некоторым видоизменением системы трио. По системе дуо-переменное конструируются обычно клетки чистовых линий мелкосортных и проволочных станом в случае работы петлями при одном только пропуске в каждой клетке (фиг. 229). Один из валков, верхний или нижний, в каждой клетке не используется для прокатки, а служит только для передачи вращения соседней клетке. Поэтому вместо таких „холостых“ валков в станины вставляются соединительные шпиндели.

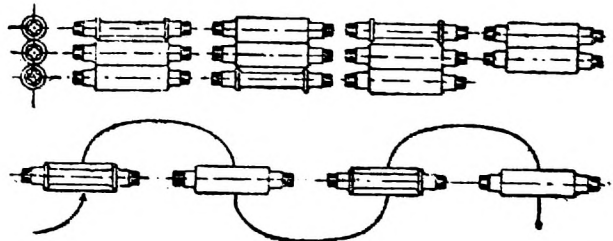


Фиг. 227.

д) *Универсальные станы* применяются для прокатки листовой заготовки (слябов), длинных широких полос или так называемого универсального железа. Для того, чтобы получить полосу равномерной ширины с прямоугольными кромками, кроме горизонтальных валков, производящих прямое давление, применяют *верти-*



Фиг. 228. Схема клетки допель-дуо.



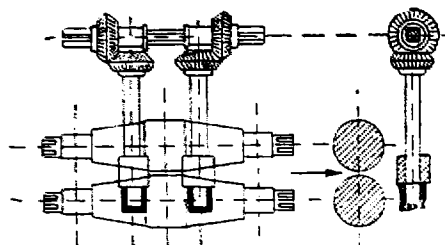
Фиг. 229. Схема стана переменное дуо.

*кальные валки*, производящие боковое давление. Как горизонтальные, так и вертикальные валки располагаются обычно в одной клетке, и только в крупных универсальных станах (слябингах) для вертикальных валков имеются самостоятельные станины.

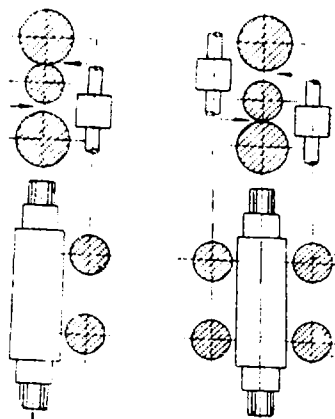


По числу горизонтальных валков различают дуо (фиг. 220) и трио (фиг. 231) универсальные станы, причем в последних может быть две пары вертикальных валков, при нижнем и верхнем пропусках.

Некоторые специальные конструкции универсальных станов служат для прокатки фасонных профилей. Самое большое распространение получила прокатка балок с широкими полками. Такие станы носят название *станов Грэя* по имени изобретателя. В станах Грэя полки балок обрабатываются парой вертикальных и горизонтальных валков, оси которых лежат в одной плоскости (фиг. 232). Для выравнивания краев плоск, получающих неправильную форму вследствие свободного уширения, служит еще одна клеть дуо. Обе клетки располагают последовательно одну за другой, так что обе операции совершаются одновременно и повторяются несколько раз до получения необходимого профиля.

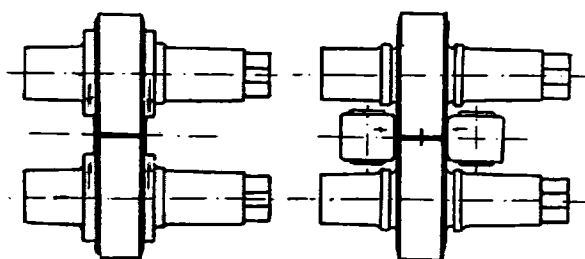


Фиг. 230. Схема универсального дуо-стана.

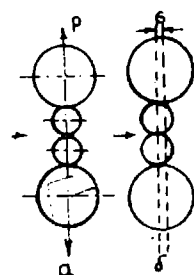


Фиг. 231. Схема универсального трио-стана.

е) К категории *многовалковых станов* относятся *четыревалковые* (кварто) (фиг. 233), *шестивалковые* (фиг. 234) (гнездовые), *семивалковые* (фиг. 235) и *двенадцативалковые* станы (фиг. 236), причем все валки монтируются в одной клетке. Преимущества всех этих конструкций заключаются в следующем: стремление прокатчиков при работе с большими обжатиями и вытяжками оправдывается только в случае применения минимальных диаметров валков, обеспечивающих меньшее давление и меньшую работу прокатки. Но уменьшение диаметра валков ограничивается возрастанием изгибающих напряжений. Поэтому во всех приве-



Фиг. 232. Стан Грэя.



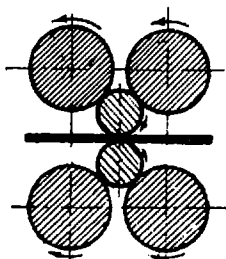
Фиг. 233. Четыревалковой (кварто) стан.

денных конструкциях *рабочие валки* малого диаметра „опираются“ на *валки* большего диаметра. Таких опорных валков тем больше, чем меньше выбран диаметр работающих валков, чем больше длина рабочей поверхности, т. е. чем, следовательно больше испытываемое давление.

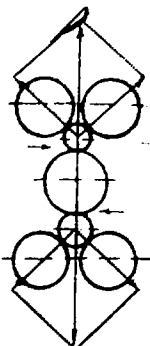
Приводными, как правило, являются *только рабочие валки*, *опорные же вращаются от трения*.

Конструкция многовалковых станов оправдывается лишь в случае сведения трения в опорах до минимума; последнее достигается применением роликовых подшипников.

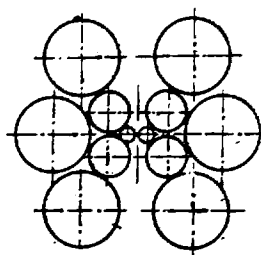
Рабочие валки шестивалковых, семивалковых и двенадцативалковых станов настолько хорошо удерживаются в правильном положении опорными валками, что совершенно не нуждаются в подшипниках. Несмотря на большую громоздкость и высокую стоимость установка многовалковых станов вполне оправдывается большой производительностью и качеством выпускаемой продукции. Наибольшее распространение они получили для холодной прокатки лент.



Фиг. 234. Шестивалковый (зексто) стан.



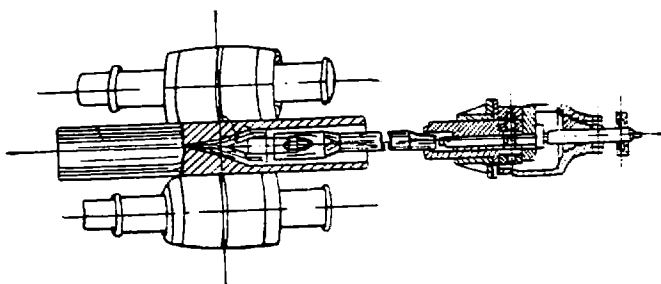
Фиг. 235. Семивалковый стан.



Фиг. 236. Двенадцативалковый стан.

ж) Станы с косо расположенными валками применяются исключительно в трубопрокатке для прошивки (получения отверстия) гильз. Оси валков образуют между собой некоторый угол. К такому типу относятся станы Маннесмана (фиг. 237) и станы Штифеля (фиг. 238).

з) В станах для периодической прокатки обычно пара валков, ручки которых имеются только на некоторой части окружности валка. К этой



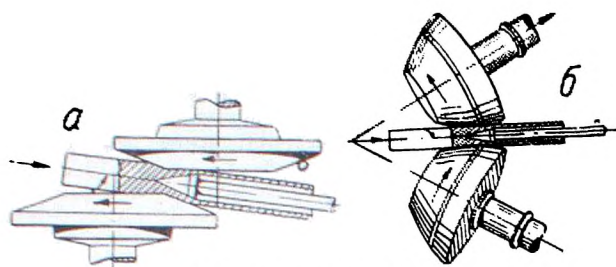
Фиг. 237. Схема прошивки в стане Маннесмана.

категории станов относятся станы Бриде (фиг. 239), служащие для прокатки труб. Валки этих станов имеют форму сегментов, которые в практике носят название мостов (фиг. 240). Двигатель соединен со станом при помощи кривошипной передачи, поэтому валки совершают качательное движение наподобие маятника.

и) Пилигримовые станы (пильгерстаны) также применяются в трубопрокатном производстве. Валки этих станов имеют ручки только на части рабочей поверхности (фиг. 241). Такие станы часто называют станами с попятным движением валков, потому что рабочий ход трубной заготовки (гильзы) совершается в обратную сторону входа в рабочую клетку. Подача вперед производится вхолостую, специальным пневматическим приспособлением (форголлером).

5. По расположению рабочих клеток различают такие типы прокатных станов:

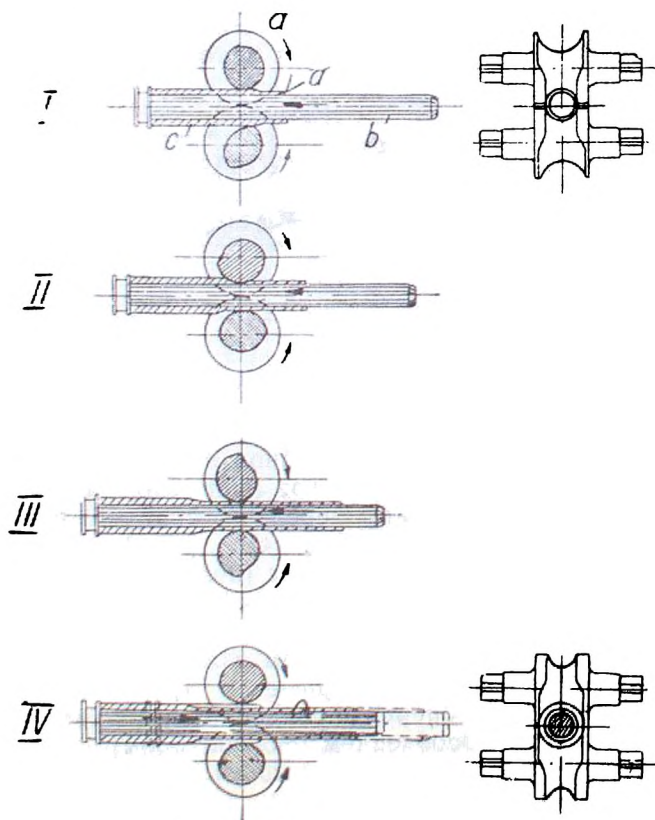
а) Расположение в одну линию (фиг. 242) являясь наиболее устаревшим, имеет тот основной недостаток, что все клетки работают с одина-



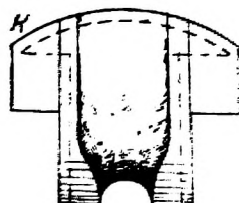
Фиг. 238. Схема стана Штифеля.  
*a* — дисковый стан, *б* — стан с грибовидными валками.



Фиг. 239. Стан Бриде для прокатки бесшовных труб.



Фиг. 241. Валки пильгерстана.



Фиг. 240. Валок стана Бриде.

ковой скоростью, а последнее не удовлетворяет основному условию прокатки — увеличению скорости от первых пропусков к последующим: когда слиток короткий, имеет большое поперечное сечение и большие обжатия, прокатка должна вестись медленно для надежности захвата, меньшей мощности прокатки и осторожного выбрасывания металла из валков, но по мере вытяжки, уменьшения в поперечном сечении, скорость прокатки необходимо увеличить, ибо увеличивается длина, и металл быстро стынет.

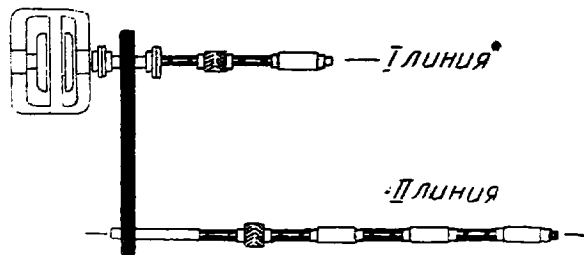
Исходя из приведенных соображений, вполне понятно стремление создать в прокатном стане несколько ступеней рабочих скоростей, и прежде всего — две.

б) *Расположение в две линии.* При таком типе расположения (фиг. 243) клеть, в которой производится первоначальное обжатие слитков (обжимная клеть), выносится отдельно в самостоятельную

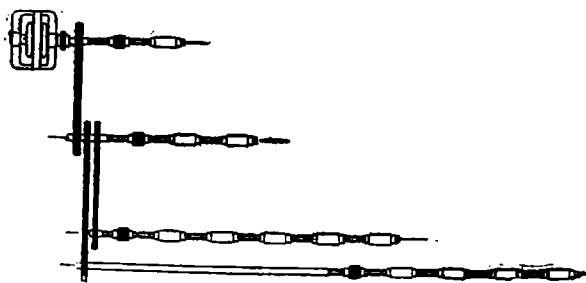
линию, остальные же клетки, служащие для дальнейшей вытяжки металла (черновые клетки) и придания ему окончательной формы поперечного сечения и заданных размеров (отделочные, чистовые клетки), группируются отдельно во вторую линию и снабжаются самостоятельным двигателем или же связываются с двигателем обжимной клетки при помощи передачи, но как в том, так и в другом случае второй линии придается скорость, как правило, больше скорости обжимной клетки.



Фиг. 242. Расположение стана в одну линию.



Фиг. 243. Расположение стана в две линии.



Фиг. 244. Ступенчатое расположение стана.

Преимущества такого расположения сравнительно с предыдущим вполне очевидны. Впервые выделение обжимной клетки было применено в 1838 г. в Германии; поэтому этот тип расположения получил название *немецкого*.

в) *Ступенчатое расположение.* Для обеспечения большей производительности и доведения скорости работы чистовых клеток до максимальной

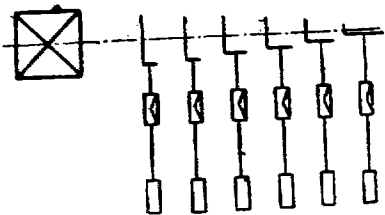
но-возможной, потребовалась дальнейшая дифференциация скоростей. При этом чистовая линия разбивается на несколько ступеней (до четырех). Такой тип (фиг. 244) носит название *ступенчатого расположения станов или станов Гаррета* (по имени изобретателя).

Так располагаются современные мелкосортные и проволочные станы. Окружная скорость в последних клетях при ручной задаче штуки достигает 9 м/сек. Отдельные линии приводятся или самостоятельным двигателем или же при помощи передачи от предыдущих линий.

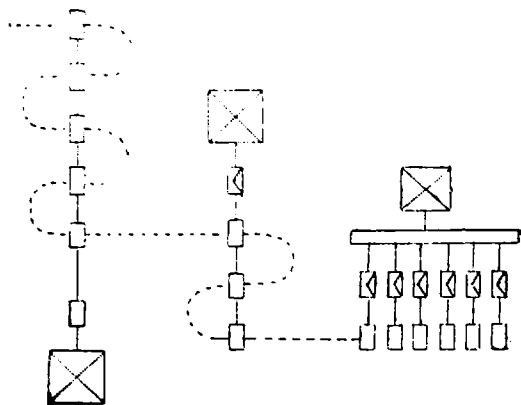
г) *Непрерывное расположение.* В непрерывном стане (фиг. 245) каждая клеть представляет самостоятельную линию. Направление прокатки все время остается постоянным, металл, попадая в первую пару валков, последовательно проходит через всю группу клеток, одновременно в них деформируясь. В этом случае увеличение скорости последующих клеток является фактором, совершенно необходимым для возможности

прокатки; кроме того, такой ход процесса прокатки требует строгого, вполне определенного соотношения скоростей в отдельных клетях (§ 30). Таким образом, условие дифференциации скоростей при непрерывном способе расположения соблюдается идеально.

Отдельные клетки могут получать вращение от общего мотора; в таких случаях стан называют нерегулируемым; или же каждой клетке придают индивидуальный привод — в регулируемом стане. К недостаткам непрерывного стана надо отнести значительно суженный сортамент, трудность регулировки, вследствие чего трудно добиться правильного выполнения окончательного профиля.



Фиг. 245. Схема непрерывного стана.



Фиг. 246. Схема полунепрерывного стана.

д) *Полунепрерывное расположение.* В полунепрерывном стане (фиг. 246) обжимные и часть черновых клеток объединяют в непрерывную группу, остальные же отделочные клетки располагают в линии и прокатку ведут периодически. Такой способ расположения, применяющийся в большинстве современных сортовых станов, позволяет исправить ненормальности в профиле, поступающем из непрерывной группы. При достаточной же механизации процесса производительность таких станов почти не уступает чисто непрерывным.

По расположению чистовых клеток различают полунепрерывные станы: ступенчатые, шахматные и зигзагообразные (кросс-кантри), которые рассмотрены в V главе.

### § 53. Рабочая клеть. Рабочие валки

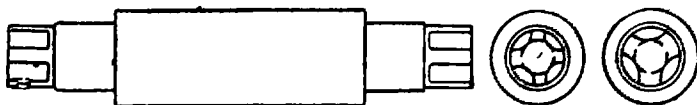
*Рабочая клеть представляет собой комплект валков, смонтированный в станинах, оборудованных специальными регулировочными приспособлениями. Усилия деформации при прокатке передаются от валков всем остальным деталям рабочей клетки и воспринимаются станинами и фундаментом. Так как эти усилия очень велики и при прокатке сопровождаются ударами, то все детали в первую очередь должны обеспечивать достаточную прочность, и их собственная деформация должна быть минимальной. Кроме требований прочности, рабочая клеть должна удовлетворять еще следующим условиям:*

- а) *конструкция клетки должна быть проста и обеспечивать быструю смену валков (перевалку), удобство регулировки и ремонта;*
- б) *конструкция клетки должна обеспечивать получение точного профиля;*
- в) *вредные работы трения должны быть сведены к минимуму;*
- г) *все детали по возможности должны быть стандартными;*
- д) *клеть должна иметь наименьший вес при простоте изготовления отдельных деталей и минимальной стоимости;*
- е) *конструкция клетки должна обеспечивать высокую производительность при наименьшей затрате мускульной силы.*

Основным исполнительным органом рабочей клетки служат рабочие валки, поэтому изучение рабочих клеток и их деталей начнем с валков.

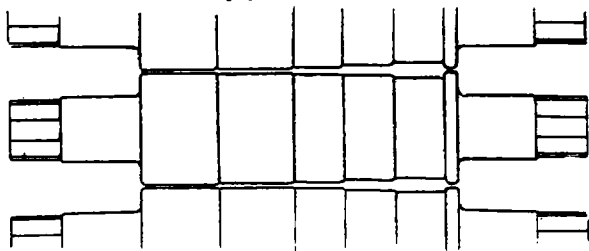
Простейшая форма прокатного вала изображена на фиг. 247.

Средняя рабочая часть вала, непосредственно деформирующая металл, называется *бочкой*, *рабочим полотном*. С обеих сторон к бочке примыкают *шейки*, которыми валки опираются на вкладыши подшипников.



Фиг. 247. Гладкий прокатный валок.

Для передачи вращения служат соединительные части вала, так называемые *трефы*, форма которых находится в зависимости от конструкции применяемых соединительных муфт.

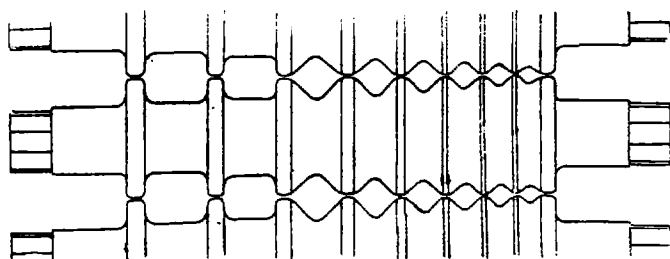


Фиг. 248. Ступенчатые прокатные валки.

По форме рабочего полотна бочки различают следующие основные виды валков:

а) *гладкие* — с гладким цилиндрическим полотном (фиг. 247).

б) *ступенчатые* (фиг. 248), применяемые для прокатки полос и об- ручного железа;



Фиг. 249. Ручьевые прокатные валки.

в) *ручьевые* (фиг. 249), применяемые в сортовой прокатке;

г) *валки специальной формы: конические и геликоидальные, диско- вые, грибовидные*, служащие для прокатки труб, дисков и колес.

Размеры различных частей вала обуславливаются требованиями техно- логического процесса производства, условиями работы клетки и прочностью.

Размеры шеек должны обеспечивать минимальные нагревание и износ во время работы, форма *трефов*—спокойную передачу вращения без толчков. Практика, на основе накопив- шегося статистического материала, выработала средние размеры отдельных частей вала в зависимости от принятого диаметра бочки, при чем последний также в большинстве слу- чаев стандартизован в зависимости от рода и сортамента выпускаемой продукции. Став по- лучает наименование по диаметру валков, в большинстве случаев достаточно характерную- щему назначению такового.

Поэтому при определении размеров прокатного вала будем считать главным конструк- тивным размером диаметр бочки его. При проектировании стана, зная сортамент прокатки, а также рассчитав калибровку, выбирают диаметр бочки на основе практики работы анало- гичных установок, а также путем проверки выбранного диаметра на удовлетворение условия захвата по формуле:

$$D_k = \frac{H - h}{1 - \cos \varphi},$$

где  $D_k$  — катающий диаметр и  $D_0 = D_k + h$ .

Когда диаметр бочки определен, находят все остальные размеры, пользуясь эмпирическими данными (см. таблицу 38) и чисто конструктивными соображениями, учитывая условия работы стана.

Размеры шеек должны быть по возможности большими при листовой прокатке, по соображениям действия больших давлений и нагревания.

Таблица 38

Размеры шеек и трефов прокатных валков в зависимости от типа стана и  $D_0$  валков

Тип стана	Шейка		Треф	
	Диаметр $d$	Длина $l$	Диаметр $d_1$	Длина $l_1$
Бауминги и слябинги . . . . .	$0,60-0,65 \cdot D_0$	$d-1,2 \cdot d$	} $0,92-0,96 \cdot d$	} $0,5 \cdot d+40$
Крупные сортовые . . . . .	$0,54-0,50 \cdot D_0$	$0,9d+20$		
Проволочные и мелко- сортовые . . . . .	$0,53-0,55 \cdot D_0$	$d+20$ до $d+50$		
Толстолистовые . . . . .	$0,66D_0$	$0,8 \cdot d$		
Тонколистовые и кро- вельные . . . . .	$0,72D_0$	$0,8 \cdot d$		

Под длиной валка будем понимать длину рабочей части бочки. Длина валков листовых станом делается несколько больше ширины прокатываемых листов; длина же ручьевых валков определяется по числу калибров, но как в том, так и в другом случае длина валка должна находиться в определенном соотношении с диаметром бочки и глубиной врезов по соображениям прочности и температурного режима и зависимости от материала валков.

Далее производится поверочный расчет на прочность. Расчет на прочность можно установить только порядок действительных напряжений, так как основаниями для расчета служат величины давлений, методика определений которых в настоящее время еще не обеспечивает строгого учета всех основных условий, имеющих место при деформации металла в валках.

Величиной усилий или давления металла на валок считают произведение площади поверхности соприкосновения металла с валком на величину удельного давления. В продольной прокатке, исходя из допущения, что нормальное давление металла на валок распределено равномерно по дуге захвата, а, следовательно, равнодействующая нормальных сил, направленная по биссектрисе угла захвата, выражается так:

$$P = 2 \cdot p \cdot b \cdot R_k \cdot \sin \frac{\varphi}{2};$$

здесь

- $P$  — полное давление металла на валок (кг),
- $p$  — удельное давление (кг/мм<sup>2</sup>),
- $b$  — ширина поверхности соприкосновения металла с валком (мм),
- $R_k$  — рабочий (катающий) радиус валка (мм),
- $\varphi$  — угол захвата.

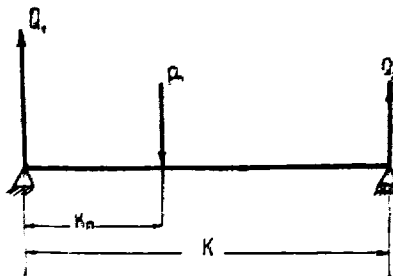
Решающее значение при любом способе определения давления имеет величина  $p$ , зависящая от целого ряда факторов, а главным образом от температуры и качества металла (III глава).

Когда давление металла на валок определено для всех пропусков, приступают к самому расчету. Валок рассматривают как балку свободно лежащую на двух опорах, совпадающих с серединами шеек (фиг. 250). Нагрузки балки считают сосредоточенными по оси ручья в калиброванных валках и равномерно распределенными на некотором участке в зависимости от ширины прокатываемого металла — в гладких листовых валках.

Определяем величины реакций в опорах (шейках) согласно фиг. 250:

$$Q_1 = \frac{P_n (k - k_n)}{k};$$

$$Q_2 = \frac{P_n \cdot k_n}{k}.$$



Фиг. 250. Действие сил на прокатный валок.

Собственным весом валка можно пренебречь, так как он представляет очень небольшую долю усилия  $P_n$ . Изгибающий момент:

$$M_b = Q_1 \cdot k_n = Q_2 (k - k_n).$$

Построив опоры моментов, можно определить изгибающие напряжения в любом сечении вала:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{0,1 \cdot D_k^3}$$

Кроме изгиба, валок работает на кручение. Для нахождения скручивающих напряжений определяем окружное усилие:

$$T = P \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$$

Крутящий момент в  $n$ -ом сечении:

$$M_d = T \cdot R_k$$

и, наконец, скручивающее напряжение:

$$\tau_d = \frac{M_d}{0,2 \cdot D_k^3}$$

По максимальным  $\sigma_b$  и  $\tau_d$ , исходя из самого неблагоприятного случая, находим сложное напряжение по формуле С. Венана:

$$\sigma_{\Sigma} = 0,35 \cdot \sigma_b + 0,65 \cdot \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau_d^2}$$

Если полученное напряжение не выходит за пределы допускаемого для данного материала вала:

$$\tau_{\text{доп}} \text{ для чугуна} = 300 \text{ кг/см}^2,$$

$$\tau_{\text{доп}} \text{ для стали} = 750 \text{ кг/см}^2,$$

то выбранные размеры вала удовлетворяют требованиям прочности.

Размеры шеек вала также проверяются на прочность по максимальной реакции  $Q_{\text{макс}}$ .

Момент изгибающий:

$$M_b' = \frac{Q_{\text{макс}} \cdot l}{2},$$

где  $l$  — длина шейки.

Скручивающий момент:

$$M_d' = M_d + M_f,$$

где  $M_d$  — скручивающий момент вала,

$M_f$  — момент трения в шейке,

$$M_f = \frac{Q_{\text{макс}} \cdot f \cdot d}{2},$$

$d$  — диаметр шейки,

$f$  — коэффициент трения в шейке ( $f \approx 0,1$ ).

Суммарный момент:

$$M_{\Sigma}' = 0,35 \cdot M_b' + 0,65 \cdot \sqrt{M_b'^2 + \alpha \cdot M_d'^2};$$

$$\alpha = \frac{\sigma_b}{1,3 \cdot \tau_d} = 1 \text{ для стального и чугунного литья.}$$

Отсюда находят суммарное напряжение в шейке по моменту сопротивления и сравнивают его с допускаемым.

Шейка проверяется также на удельное давление и нагревание.

Удельное давление:

$$\delta = \frac{Q_{\text{макс}}}{k \cdot d \cdot l}$$

где  $d \cdot l$  — величина проекции шейки;

$k$  — коэффициент, показывающий, какая часть шейки охвачена вкладышами; в среднем  $k \approx 0,65$ .

$$\delta \leq 60 \text{ кг/см}^2.$$

Работа трения на единицу площади опорной поверхности

$$A_1 = \delta \cdot v \cdot f \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}}.$$

где  $v$  — окружная скорость,

$f$  — коэффициент трения.

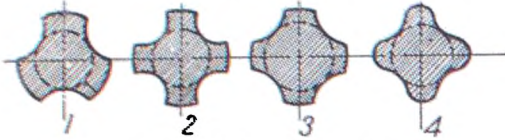


Полная работа трения:

$$A = A_1 \cdot k \cdot d \cdot l \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек.}}$$

Количество теплоты в калориях, которое необходимо отвести в секунду:

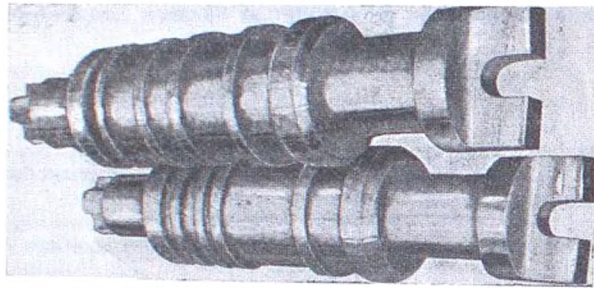
$$q = \frac{A}{427} \text{ кал.}$$



Фиг. 251. Форма трѐфов.

Формой считается трѐф или крест (фиг. 251). При проектировании трѐфа необходимо учесть небольшой зазор 5—10 мм между трѐфом и внутренним очертанием муфты, допускающий небольшую игру соединительных валов. Этот зазор не должен быть большим, так как в этом случае неизбежны биения («хлябания») муфт во время работы, выводящие из строя как муфту, так и прокатный валок.

По величине  $q$  определяют расход охлаждающей воды. Что же касается соединительной части валка, то его форма и размеры подбираются в зависимости от конструкции применяемых соединительных муфт. Самой простой и распространенной



Фиг. 252. Лопатообразная форма соединительной части валка.

В настоящее время для соединения рабочих валков применяются шарнирные муфты допускающие перекос и несовпадение соединяемых валов; особенно целесообразно шарнирное сцепление при работе клети с переменным подъемом верхнего валка. В этом случае соединительная часть прокатного валка имеет лопатообразную форму (фиг. 252).

## § 54. Материал валков

Материалом для валков служит *чугун* и *сталь*. Чугунные валки могут быть трех основных категорий: *мягкие*, *полутвердые* и *закаленные*, в зависимости от наличия и величины закаленного (отбеленного) поверхностного слоя. Стальные валки применяются *литые* и *кованые*.

В последнее время большое применение на современных установках находят *легированные чугунные* и *стальные валки*. Легирующими присадками служит *хром*, *никель* и *молибден*. Отливку, для получения слоя закалки, чугунных валков производят в кокили. Металлическая стенка кокиля, обладая большой теплопроводностью, способствует быстрому охлаждению поверхностного слоя и не дает цементиту распасться.

При отливке полутвердых валков для регулировки скорости остывания внутреннюю поверхность формы обмазывают глиной, что обеспечивает получение нижних пределов толщины закаленного слоя. Кроме того, решающими факторами надо считать надлежащую шихтовку материалов, особенно в отношении Mn, Si, а также и S; эти примеси взаимно регулируют друг друга. Mn и S способствуют отбеливанию, Si — распадению цементита.

Особенно трудно получение закаленного слоя валков, служащих для прокатки крупных фасонных профилей. Даже в случае применения особых калиброванных кокилей дальнейшая обработка на станке может привести

к снятию в определенных местах закаленного слоя и попаданию в область более мягкого половинчатого чугуна, что вызывает неравномерный износ ручьев и выход валков из строя.

*Мягкие чугунные валки* находят применение исключительно в качестве отделочных при прокатке крупных сортов профильного металла.

*Полутвердые* служат в чистовых линиях среднесортных станов и черновых мелкосортных и проволочных станов.

*Твердые, закаленные*, применяются в чистовых линиях мелкосортных и проволочных станов, а также в листовой прокатке.

В обжимных клетях сортовых станов, первых клетях непрерывно-заготовочных и блумингах применяют *стальные валки*. В тех случаях, когда бочка ослаблена глубокими врезами, материалом для валков служит *кованая сталь*.

Рабочая поверхность валков при прокатке срабатывается неравномерно, поэтому *валки периодически поступают в переточку*. Период времени между переточками определяется обычно количеством тонн прокатанного металла. Число переточек ограничивается величиной слоя закали и предельной прочностью. Валки, получившие предельное число переточек, считаются нормально выбывшими из строя, но зачастую срок службы валков далек от нормального, вследствие выщербливания закаленной поверхности или поломок. Особенно большое количество поломок падает на долю листовых валков, работающих при больших давлениях причем последние достигают весьма большой величины при охлаждении прокатываемого металла, а также вследствие напряженного температурного режима тела самих валков; в этом случае решающее значение имеет надлежащее ведение *охлаждения и нагрева валков*, без резких температурных изменений.

Так как средний срок службы валков определяется количеством тонн прокатанного металла, то применение валков обычного качества в современных станах, производительность которых во много раз выше старых (например, производительность рельсовых и среднесортных станов „кросс-контри“ в 4—5 раз превышает производительность аналогичных старых станов), может привести к ненормально большому числу перевалок (смен валков), а это в свою очередь снижает нормальную производительность современных станов. Выход из создавшегося положения только один — удлинение времени между переточками путем применения высококачественных материалов, хорошо сопротивляющихся истиранию. Поэтому в современных условиях разрешение проблемы качества валков заключается в применении легированных сталей и чугунов. На основе опыта зарубежных заводов наиболее рациональными легирующими примесями следует считать Ni, Cr и Mo.

## § 55. Общее устройство рабочей клетки

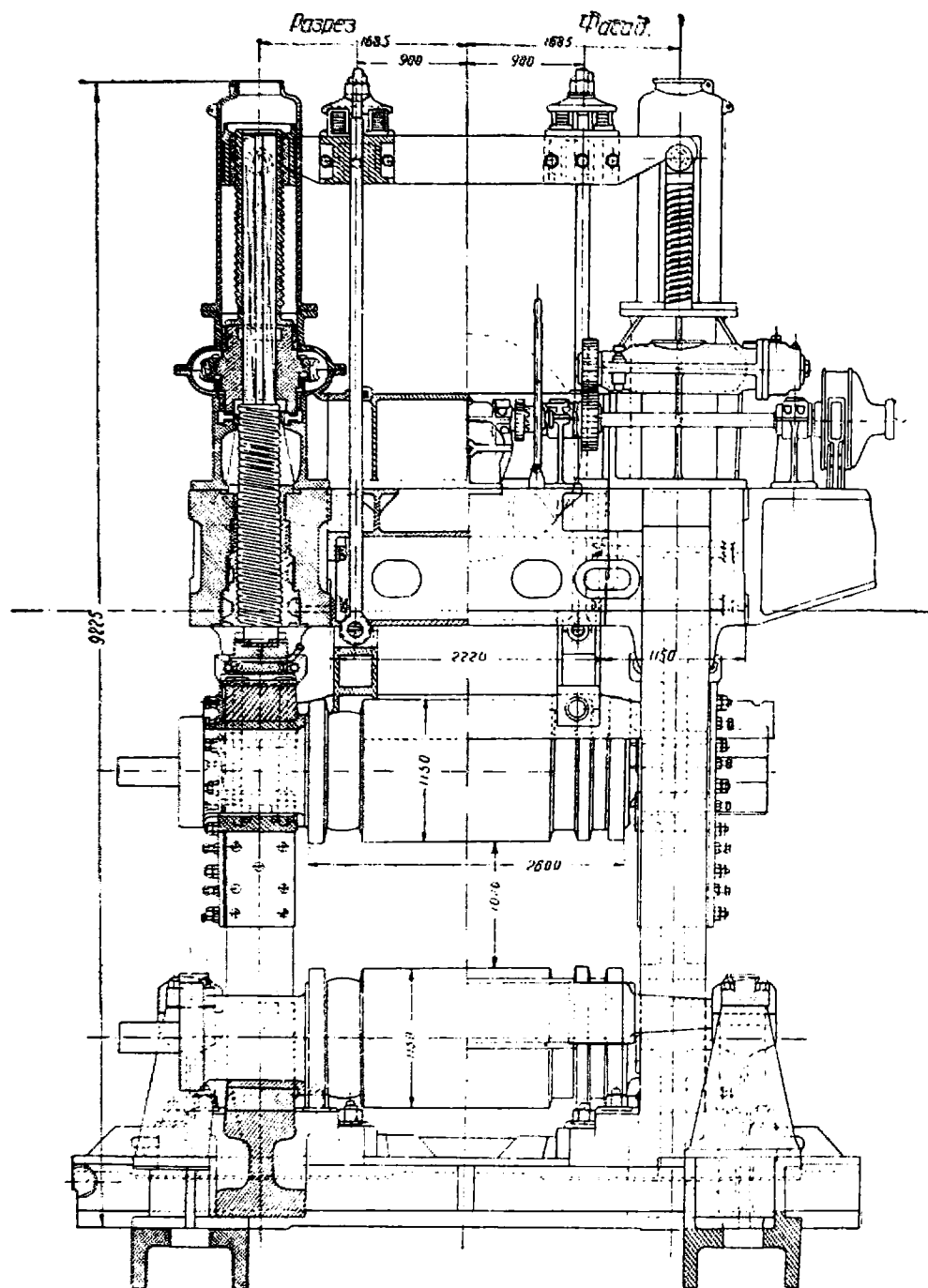
Вследствие большой дифференциации прокатного производства существует множество типов и конструкций рабочих клеток. Для изучения роли отдельных элементов клетки, общих в большинстве существующих конструкций, разберем устройство клетки прокатного стана на двух конкретных примерах.

На фиг. 253 представлена рабочая клетка советского блуминга, а на фиг. 254 клетка обычного сортового стана трио.

Приведенные конструкции определяют два характерных типа рабочих клеток: в первом случае клетки работают *с установкой валков (перемещением в вертикальной плоскости) перед каждым пропуском*, во втором клетке *с постоянно установленными валками* могут перемещаться друг относительно друга исключительно в целях регулировки, настройки клетки.

На фиг. 253 верхний валок находится в предельном верхнем положении.

Разберем пока в общих чертах конструкцию рабочей клетки советского блуминга. По типу это клетка дуо. Валки своими шейками установлены в подшипниках, причем верхний валок имеет вкладыши сверху и снизу, а нижний



Фиг. 253. Рабочая клетка советского блуминга.

поддерживается только нижними и боковыми вкладышами. Объясняется это тем, что в шейках нижнего валка направление реакций от усилий прокатки и собственного веса валка совпадают, тогда как шейки верх-

него валка испытывают противоположно направленные реакции веса и давления прокатки.

Вкладыши установлены в подушках: верхней, имеющей возможность перемещаться в станине по вертикали, и нижней, лежащей неподвижно на нижней поперечине станины.

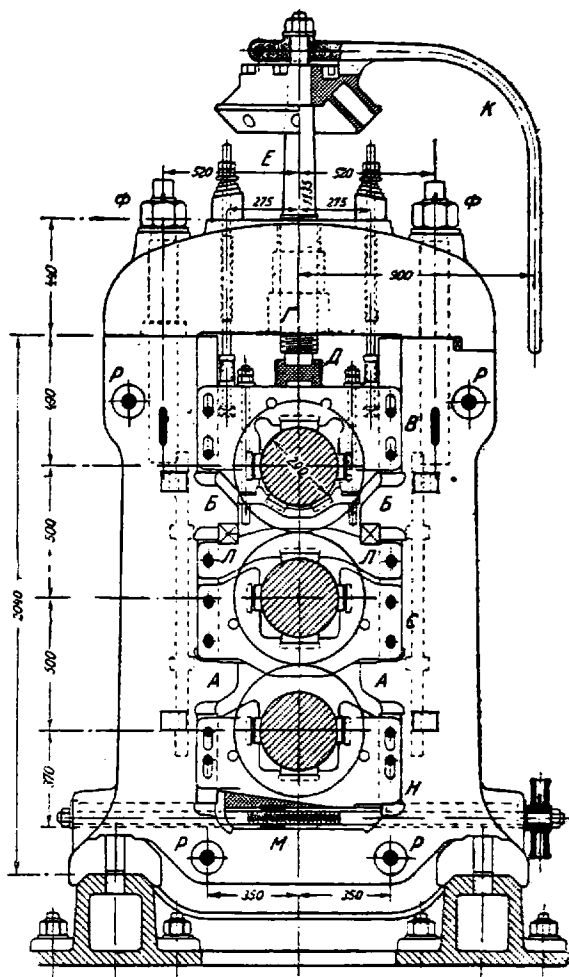
Подушки от выпадения из просвета станины удерживаются установленными на болтах планками. Для верхней подушки планка служит одной из направляющих поверхностей при вертикальном перемещении

верхнего валка, другой направляющей служит внутренняя поверхность самой станины, также защищенная планкой, установленной на винтах с потайными головками. Верхняя подушка состоит из двух частей: верхней более массивной, воспринимающей усилия прокатки, и нижней — поддерживающей только вес валка. Обе части подушки соединены болтами с контргайками. Пустоты подушек между вкладышами служат для помещения смазки и охлаждения шеек. Верхние подушки соединены общей траверзой, подвешенной при помощи вертикальных штанг к верхней траверзе, уравновешивающей вес верхнего валка при помощи специального устройства, принцип работы которого будет рассмотрен ниже. Вертикальное усилие во время прокатки передается верхней подушкой нажимному болту, установленному в гайке, покоящейся в верхней части станины. При помощи нажимного болта и осуществляется установка верхнего валка перед каждым пропуском. При подъеме болта верхний валок следует за ним благодаря уравновешивающему устройству, соединенному с валком посредством штанг и траверз. Механизм для подъема и опускания верхнего валка называют *комбинированным нажимным и уравновешивающим приспособлением*.

Между нажимным болтом и верхней подушкой устанавливается *предохранительное приспособление (стакан)*, также работающее под полным давлением прокатки и разрушающееся при перегрузке. Тем самым предохраняются от поломок более дорогие и ответственные части клетки, станины, валки и т. п.

Обе станины сверху соединяются *мостом с консолями*, придающими жесткость конструкции и являющимися местом для установки всех элементов нажимного и уравновешивающего приспособления.

Станины своими *лапами* прибалчиваются к *плитовикам* при помощи болтов, как показано на фигуре. Плитовины связаны с фундамен-



Фиг. 254. Рабочая клеть сортопрокатного стана.

том анкерными болтами. Непосредственно в станине установлены подшипники первых роликов роляганга, обслуживающего стан.

Перейдем к фиг. 254 и разберем другой тип рабочей клетки с постоянно установленными валками. Эта конструкция принадлежит фирме бр. Клейн и имеет большое распространение в сортовых станах при прокатке средних и мелких профилей. Тип рабочей клетки трио.

В такой конструкции клетки необходимо обеспечить в небольших пределах регулировку валков при настройке стана. Подушка среднего валка устанавливается неподвижно в приливах (выступах) станины А и Б, поэтому регулировку нижнего и верхнего валка ведут относительно оси среднего.

Нижняя и верхняя подушки своими проушинами прибалчиваются к станине, при этом их регулировка ограничивается длиной отверстий в подушках О. Подушка верхнего валка, состоящая, как и в предыдущем примере, из двух частей, подвешена к крышке станины тягами Т, опирающимися на пружины П, которые и служат уравнивающим устройством. Подъем и опускание верхнего валка осуществляется нажимным болтом Е от руки при помощи ключа К; имеется предохранительный стакан Д.

Регулировка нижнего валка осуществляется при помощи клинового приспособления М, для чего нижняя часть подушки срезана под углом и точно пригнана к клину. В клине помещена гайка, в которую ввинчивается регулировочный винт, заставляющий клин передвигаться, вправо или влево, а тем самым поднимать или опускать нижнюю подушку.

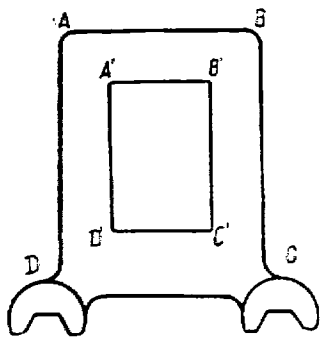
Расположение вкладышей подшипников объясняется соображениями, изложенными выше, при рассмотрении конструкции блуминга.

Для регулировки зазора между шейкой и вкладышами среднего валка, по мере износа последних, имеются клинья Л, установленные между приливами станины Б и верхней частью средней подушки.

Верхняя крышка станины съемная; во время разборки (перевалки) клетки крышку можно повернуть вокруг оси одного из болтов, скрепляющих ее со станиной, в данном случае вокруг оси левого болта Ф.

Обе станины клетки соединены для жесткости стяжными болтами Р.

Перейдем к рассмотрению отдельных основных элементов рабочей клетки.



Фиг. 255 Прокатная станина.

## § 56. Станины

В самом общем виде (фиг. 255) станина представляет четырехугольную жесткую раму, служащую общим связующим звеном всех деталей рабочей клетки; в ней монтируются подушки с валками и все элементы клетки, как воспринимающие усилия прокатки, так и служащие для регулировки и настройки.

В станине различают следующие части: ABCD — рама станины, АВ — крышка, AD и BC — ноги станины DC, — нижняя поперечина (основание), D и C — лапы, А' В' С' Д' — просвет станины.

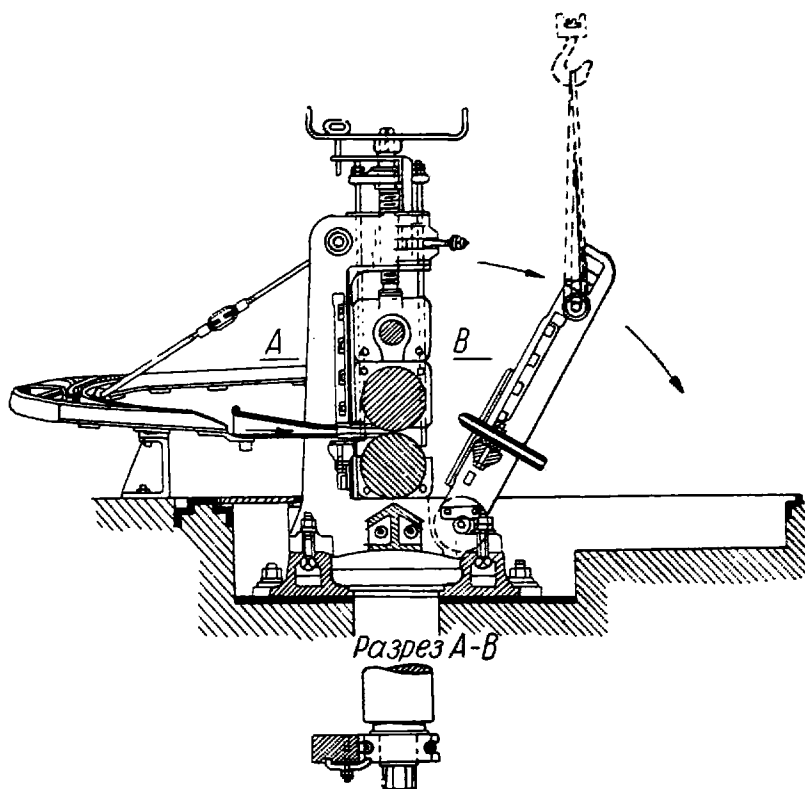
Станина является наиболее дорогой частью рабочей клетки; поэтому при проектировании, изготовлении и эксплуатации станины должны быть учтены все факторы, предупреждающее ее от разрушения и износа отдельных частей.

Форма и размеры станины зависят от назначения прокатного стана, условий работы и выбранной конструкции клетки.

Различают следующие типы станин:

а) станины открытого типа (со съемной верхней крышкой) (фиг. 254), в этом случае при разборке клетки валки с подушками просто поднимают краном вверх;

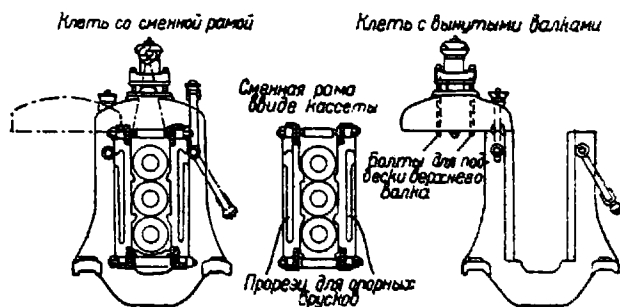
б) станины закрытого типа (фиг. 253), без съемной крышки — совершенно жесткая конструкция; в этом случае валки с подушками вынима-



Фиг. 256. Станина с откидной ногой.

ются через просвет станины, поэтому ширина просвета должна быть больше диаметра валков;

в) станины с откидной ногой (фиг. 256); принцип смены валков понятен из фигуры.



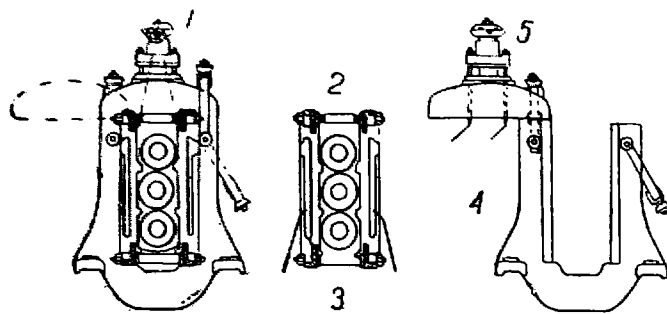
Фиг. 257. Рама для монтажа валков.

В новых конструкциях рабочих клеток комплект валков с подушками монтируется в специальной раме-кассете (фиг. 257 и 258); в этом случае станина открытого типа имеет специальные пазы, направляющие в виде обоймы, в которые и вдвигается собранная рама с валками, подушками и арматурой.

Основные размеры станины выбирают конструктивно, исходя из высоты подъема валков, размеров шеек, общих габаритов комплекта валков с подушками и условий разборки клетки. При этом пользуются статистическим материалом, нашедшим отражение в ряде таблиц размеров, эмпирических формул и размеров станин, оправдавших себя в практике современных конструкций рабочих клеток, аналогичных по назначению и условиям работы.

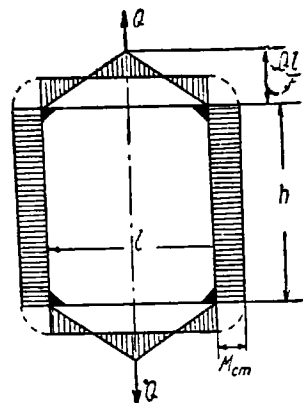
Существующие методы проверки прочности станин, даже при самом тщательном расчете, как статически неопределимой жесткой рамы, могут дать только относительную величину и распределение напряжений.

На фиг. 259 представлена схема действия усилий  $Q$  прокатки на станину размерами в просвете  $h$  и  $l$  и толщиной  $M_{cm}$  и эпюра моментов. Полученные расчетные напряжения и их распределение могут значительно отличаться от действительных и составлять небо льшой процент от разрушающих, вследствие учета только статического приложения усилий. На са-



Фиг. 258. Рама для монтажа валков.

1—клеть в собранном виде; 2—рама с валками; 3—пазы для поперечных брусков; 4—болты для подвешивания верхнего валка; 5—рабочая клеть без валков.



Фиг. 259. Схема действия усилий на станину.

мом же деле станина в эксплуатации подвержена ударам и претерпевает колебания отдельных звеньев. Кроме того, вырезы в станине служат местами наибольшей концентрации напряжений, большое значение имеет степень жесткости конструкции и т. д.

Все эти не поддающиеся точному учету факторы служат в настоящее время объектами изучения<sup>1</sup>, и следует полагать, что проектирование станин будет выведено из области голого эмпиризма, что позволит сэкономить металл, нерационально затрачиваемый на ничем не обоснованный запас прочности изготавливаемых станин.

Станины обычно изготавливаются отливкой из стали или чугуна. Применение высококачественной стали в качестве материала станин позволяет значительно облегчить конструкцию. При проектировании станины должны быть учтены все условия получения доброкачественной отливки, так как изготовление станины вследствие ее громоздкости довольно затруднительно.

В настоящее время в Америке начинают получать распространение сварные конструкции станин, при этом, при значительной экономии металла и равномерном распределении напряжений, прочность станин несколько не уступает литым.

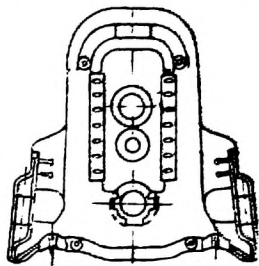
Выше нами были рассмотрены две основные конструкции станин советского блуминга и сортовых трио-станов. Опишем вкратце еще несколько разновидностей конструкций станин рабочих клеток различного назначения.

**Станина трио системы Лаута.** Станина трио Лаута (фиг. 260) в основном напоминает конструкцию рабочей клетки блуминга (фиг. 253); здесь также клеть с переменной установкой верхнего и среднего валков. Станина закрытого типа. Нижний валок зачастую даже не имеет подушки, его вкладыши устанавливаются непосредственно в основании станины, как у большинства листовых станов. Подушки верхнего и среднего валка удерживаются продольными планками, как у станины блуминга. Чаще всего сменяется для переточки средний валок меньшего диаметра, с учетом наибольшей срабатываемости середины бочки верхнего и нижнего валка.

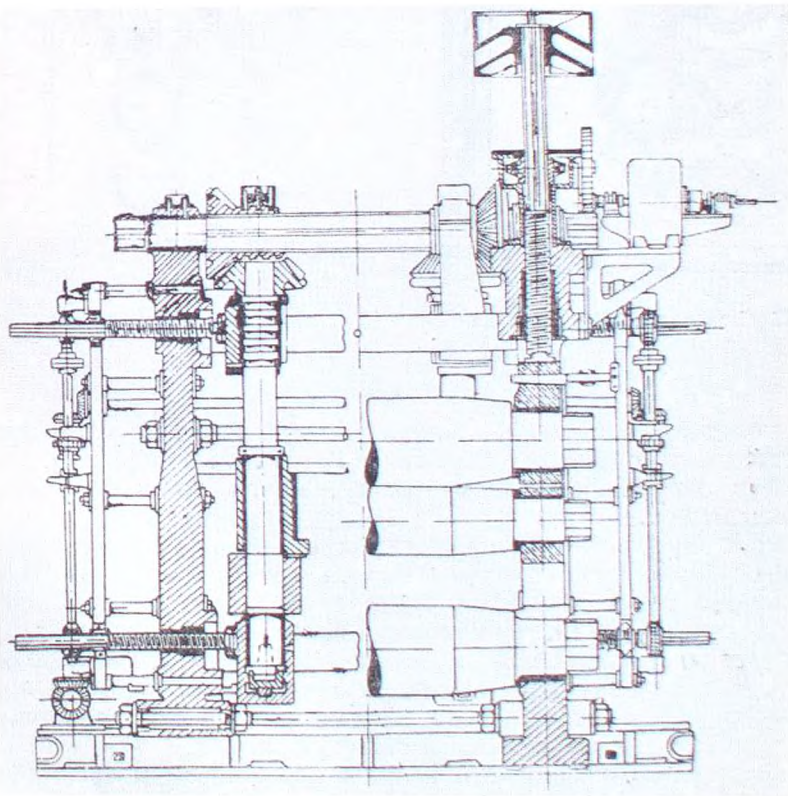
<sup>1</sup> „Оптический метод изучения распределения напряжений в станинах“. The Iron Age, March 23, 1933 г.

Валки вынимаются в просвет станины. С обеих сторон станины изображены приливы, служащие направляющими для подъемных или качающихся столов, обслуживающих прокатку.

Станины универсальных станов. Рабочие клетки универсальных станов имеют, кроме горизонтальных, вертикальные валки. В основном станины универсальных станов по конструкции аналогичны уже рассмотренным типам с переменной установкой валков. Как показано на фиг. 261, рабочая клетка снабжена приспособлениями для установки, регулировки и привода вертикальных валков. Но иногда вертикальные валки могут устанавливаться в отдельных станинах или рамах и снабжаться самостоятельным двигателем. Последнее чаще всего практикуется в конструкциях современных *слябингов* (станах для обжатия листовой заготовки), относящихся также к типу универсальных станов. Подпятники и гребенчатые подшипники вертикалов, (вертикальных валков), воспринимающие осевые усилия, смонтированы на специальных направляющих, установленных в станинах. Регулировка вертикалов осуществляется специальными боковыми нажимными устройствами, как показано на фигуре, при этом приводные конические шестерни вертикалов имеют возможность перемещаться по валу квадратного сечения, не нарушая зацепления.



Фиг. 260. Станина трио Лаута.



Фиг. 261. Рабочая клетка универсального стана.

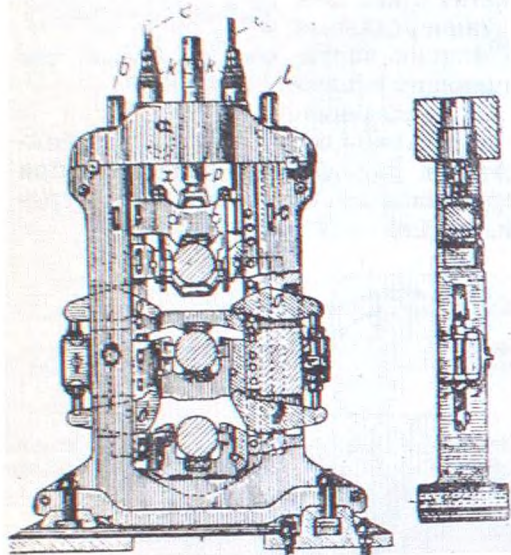
Станины трио-сортовых станов системы Эрдмана. Существенное отличие станины Эрдмана (фиг. 262) от ранее описанной конструкции (фиг. 254) бр. Клейн заключается в способе регулировки нижнего и среднего валка. Как показано на фигуре, ноги станины Эрдмана имеют специальные прорезы, в которые вставляются рычаги-балансиры, одно плечо которых



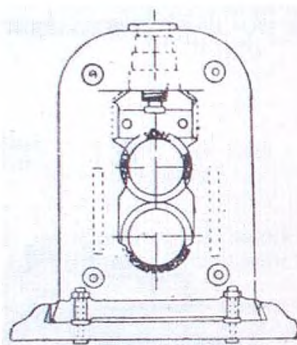
опирается на подушку, а другое поддерживается регулировочным болтом, ввинченным в боковые приливы станины. Таким образом при помощи болта и балансира можно установить нижнюю подушку в нужном положении по вертикали. Верхние балансиры служат лишь опорой для средней подушки и могут регулировать (подобно клиньям в станине Клейна) зажатие шеек валка вкладышами подшипника. Введение пружинящего звена, воспринимающего усилия прокатки-балансира, неблагоприятно сказывается на точности выпускаемого профиля. Поэтому приведенная конструкция находит себе применение только в черновых клетях.

**Станины тонколистовых и кровельных станов.** Рабочие клетки тонколистовых и кровельных станов при наиболее распространенных способах прокатки относятся к конструкции *дво с постоянным направлением вращения валков*. Раскатываемый лист передается назад через верхний

валок. Верхний валок — не приводной и чаще всего неуравновешен, т. е. все время бочкой лежит на нижнем валке; но существуют конструкции с уравновешенным верхним валком обычно при помощи противовесов.



Фиг. 262. Станина системы Эрдмана.



Фиг. 263. Установка вкладышей в старых конструкциях станин.

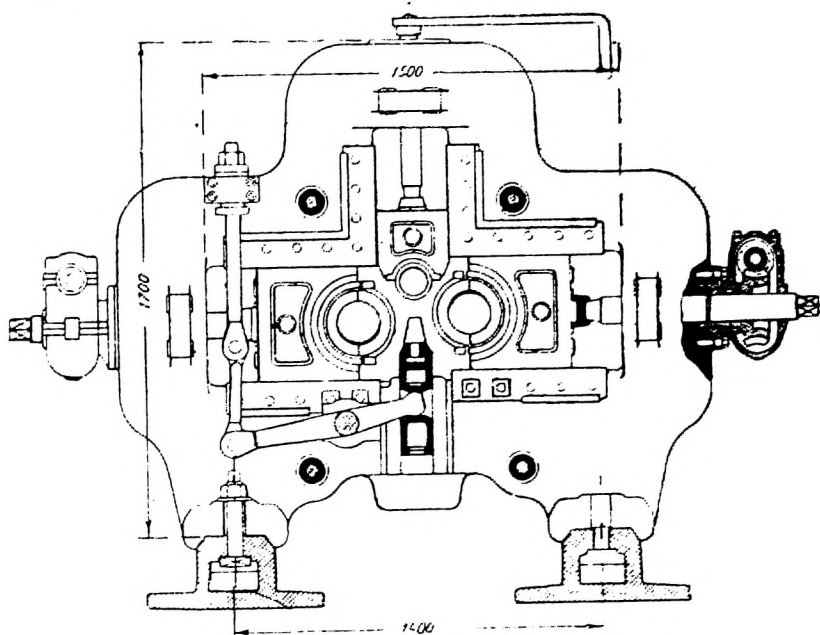
В старых конструкциях станин вкладыши обоих валков устанавливались непосредственно в станинах (фиг. 263). Верхняя же подушка, служащая для передачи усилий нажимному болту, имела только верхнюю часть с одним вкладышем.

В связи с предъявлением строгих требований к допускам готовой продукции, особенно при прокатке специальных сортов стали, старые конструкции клеток тонколистовых станов уступают место новым усовершенствованным конструкциям, в которых наибольшее внимание уделено *точности регулировки валков и жесткости конструкции*, не допускающей игры валков (изменения зазора между валками во время прокатки). Новые конструкции клеток обычно не имеют нажимных винтов, и регулировка верхнего валка производится при помощи клинового нажима (аналогично регулировке нижнего валка в клетке системы Клейн (фиг. 254)).

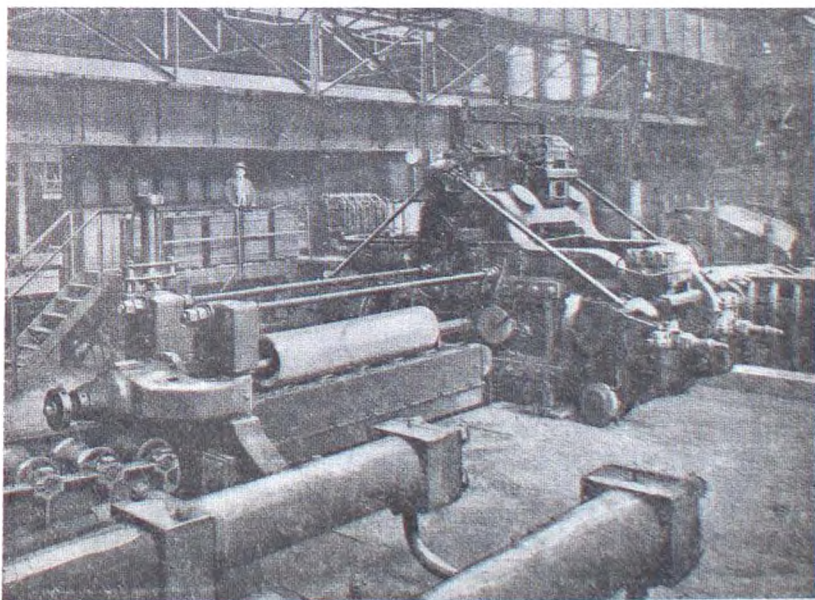
**Станины маннесмановского стана для прошивки трубной заготовки.** Станины маннесмановского стана (фиг. 264) менее всего напоминают ранее рассмотренные типы, но это и понятно, так как самый процесс косо́й вальцовки существенно отличается от способа обычной продольной прокатки.

Как известно из теории косо́й вальцовки, рабочие валки прошивного стана располагаются под углом друг к другу. Этот угол в различных установках колеблется в границах от 5 до 8°.

Рабочие валки устанавливаются в горизонтальном просвете станин не один над другим, как в обычных станах, а рядом (фиг. 197). Шейка валков лежит в подшипниках, смонтированных в подушках, могущих перемещаться по горизонтали при помощи боковых нажимных винтов и спиральных пружин.



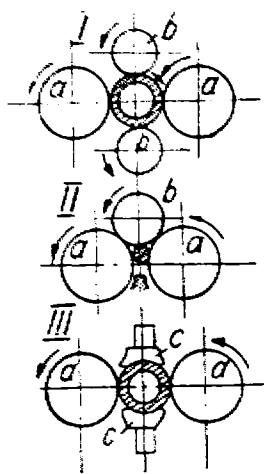
Фиг. 264. Станины стана Маннесмана кривой вальцовки.



Фиг. 265. Общий вид стана Маннесмана.

На фиг. 265 изображен общий вид маннесмановского стана. Подача заготовки в стан кривой вальцовки, как показано на фиг. 265, производится по жолобу со стороны привода стана в просвет станины. Для удержания прошиваемой заготовки при прокатке в правильном положении служит

**направляющее устройство.** Оно может быть трех типов, показанных на фиг. 266. В первом имеются два вспомогательных валка — верхний и нижний; во втором — сверху валок, снизу специальная линейка; наконец, в третьем — только направляющие линейки. Направляющие валки устанавливаются в подушках в вертикальном просвете станины и регулируются по вертикали при помощи нажимных винтов и пружин. Вспомогательный валок располагается под небольшим углом в горизонтальной плоскости и вращается от трения о поверхность прошиваемой заготовки.



Фиг. 266. Направляющие устройства стана Манвесмана.

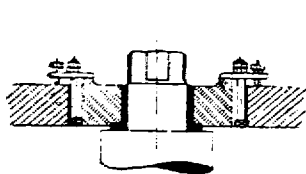
Способы установки подушек в станинах рабочей клетки. Подшипники валков монтируются в подушках, служащих для поддержания валков в нужном положении и передачи усилий прокатки станинам. Подушки должны удовлетворять требованиям прочности, поэтому материалом для их изготовления служит исключительно сталь.

Подушки могут быть регулируемые и нерегулируемые. К нерегулируемым обычно относятся нижние подушки дуо-станов и средние трио-станов, за исключением трио с переменной установкой верхнего и среднего валков; в этом случае неподвижной делается нижняя подушка, которая иногда совсем отсутствует; тогда вкладыши устанавливаются непосредственно в станину (листовое трио Лаута, трио блуминги и т. п.). Предел регулировки подушек у станов работающих с постоянной установкой валков (сортовые станы) небольшой, и достигает значительной величины (свыше метра) у станов с переменной установкой валков.

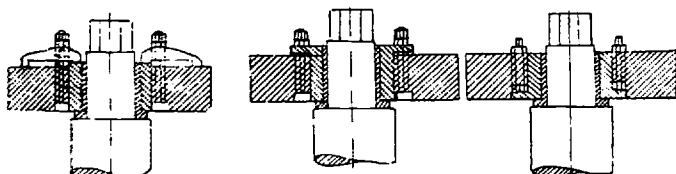
На фиг. 267 и 268 представлены основные способы крепления подушек. Первый тип относится к станам с переменной установкой валков. В этом случае обеспечивается перемещение подушки после каждого пропуска. Во избежание выпадения из просвета и в целях правильной установки

трио блуминги и т. п.). Предел регулировки подушек у станов работающих с постоянной установкой валков (сортовые станы) небольшой, и достигает значительной величины (свыше метра) у станов с переменной установкой валков.

На фиг. 267 и 268 представлены основные способы крепления подушек. Первый тип относится к станам с переменной установкой валков. В этом случае обеспечивается перемещение подушки после каждого пропуска. Во избежание выпадения из просвета и в целях правильной установки



Фиг. 267. Крепление подушки помощью планок с нажимными винтами.



Фиг. 268. Крепление подушек помощью болтов.

подушки удерживаются продольными стальными планками, укрепленными к станине болтами. Чтобы предохранить поверхность станины от истирания, в промежуток между боковыми поверхностями подушек и станины к последней привинчиваются стальные планки, сменяемые по мере износа.

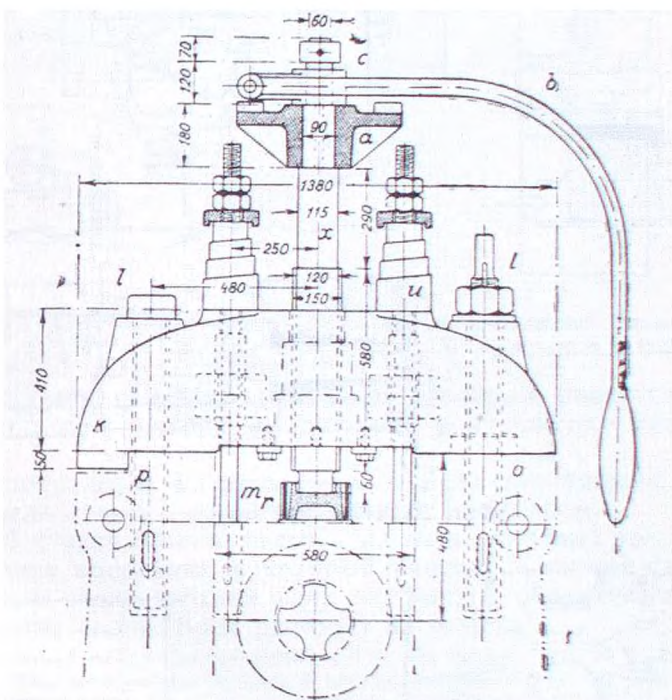
Второй и третий типы широко применяются в случаях работы с постоянной установкой валков. Во втором способе подушка отливаются с боковыми ребрами, при помощи которых и укрепляется к станине болтами. Чтобы обеспечить регулировку, отверстия для болтов в ребрах подушек делаются продолговатыми и имеют длину, обеспечивающую необходимый предел установки валка по вертикали.

Наконец, широко распространен третий способ установки подушек при помощи скоб, укрепленных на стойках станины при помощи болтов; одна лапа скобы упирается в станину, а другая в подушку. Последний способ обеспечивает удобство регулировки.

## § 57. Нажимные и уравнивающие устройства

*Нажимные и уравнивающие устройства служат для установки валков в нужном положении.*

Основными элементами нажимного приспособления являются *нажимной винт* (фиг. 269), а в некоторых случаях *клин* (фиг. 270). При помощи нажимных винтов или клиньев валок и устанавливается в нужном положении. Наиболее распространены *верхние нажимы* (для верхнего валка), но в отдельных конструкциях клетей не исключается применение *нижних нажимов* приспособлений (фиг. 271), а также и боковых, как в стане Маннесмана и универсальном. Сам по себе нажимной винт или клин может обеспечить только получение нужного зазора между валками и ход валка только в одном направлении (в случае верхнего нажима только вниз). Для того, чтобы обеспечить постоянный контакт подушки с нажимным винтом или клином и обратный ход валка, применяются так называемые уравнивающие приспособления, конструкция которых описана ниже.



Фиг. 269. Нажимной винт.

Рассмотрим сначала главные элементы нажимных приспособлений: винт и клин.

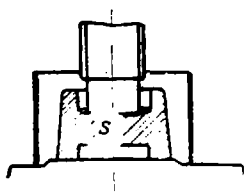
**Нажимной винт.** Способ установки валков при помощи нажимных винтов наиболее распространен в практике. Как показано на фиг. 269 нажимной винт ввинчивается в гайку, установленную в крышке станины и упирается в верхнюю подушку. Вполне понятно, что при прокатке винт воспринимает усилие деформации металла в валках, вернее силу реакции в шейке валка, и работает на сжатие. Для обеспечения прочности нажимные винты изготавливаются из лучшей ковальной стали (допускаемые напряжения принимают равным  $500 \text{ кг/см}^2$ ). *Винт должен удовлетворять условиям самоторможения.* Применяются следующие типы нарезок: наиболее распространена трапециoidalная, реже — квадратная и полукруглая. При больших подъемах валков (в блумингах), для ускорения подъема и опускания применяют нарезку в две нитки.



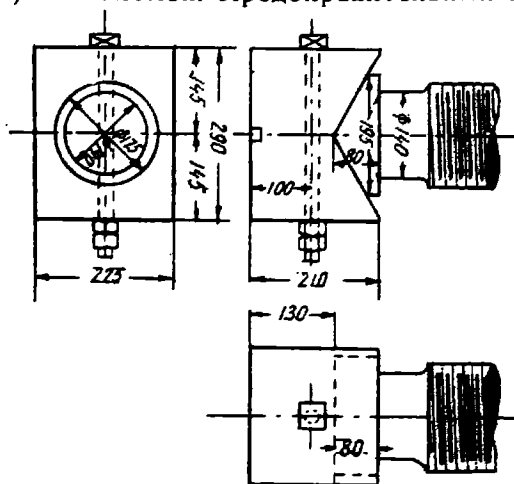
винтом достигает часто недопустимой величины, вследствие „игры“ винта в гайке и гайки в станине, а также и собственной деформации нажимного винта под действием усилия прокатки. Как видно из фиг. 270, верхняя подушка имеет скос соответственно наклону клина, обе соприкасающиеся поверхности должны быть тщательно обработаны. *Передвижение клина осуществляется при помощи горизонтального винта с гайкой.*

**Предохранительные приспособления (стаканы).** Между нажимным винтом и подушкой помещают предохранительное приспособление — стакан, назначение которого в момент перегрузок предохранять более дорогие части клетки (станины, валки) от поломок. Предохранительный стакан должен быть рассчитан так, чтобы он разрушался в первую очередь, т. е. должен представлять собой самую слабую деталь клетки.

В существующих конструкциях находят применение два основных типа стаканов: 1) *чугунные литые* (фиг. 273) и 2) *клиновые* (фиг. 274).



Фиг. 273. Чугунный литой стакан.



Фиг. 274. Клиновой стакан.

В первом типе стакана расчетным размером является толщина  $S$ , которую выбирают, исходя из высоких допускаемых напряжений (до  $400 \text{ кг/см}^2$ ).

Для предохранения от осколков в момент разрушения обслуживающего персонала стакан окружен жестяным цилиндром.

Клиновой стакан обычно состоит из двух клиновых половин, стянутых болтом, и клина посередине, в который упирается торцом нажимной винт. При перегрузке стана верхний клин опускается, раздвигая половинки стакана до разрыва болта. Болт работает на разрыв.

Клиновой стакан имеет преимущество в том отношении, что он довольно просто разбирается в момент заклинивания металла в валках, аварий, тогда как для подъема нажимного болта необходимо затратить очень большое усилие вследствие слишком большого трения в нарезке.

Необходимо заметить, что применение клинового стакана может быть оправдано лишь в случае надлежащего ухода за соприкасающимися клиновыми поверхностями и смазке последних, так как в противном случае трение при передвижении верхнего клина может оказаться настолько большим, что не обеспечит разрыва даже при максимальных перегрузках.

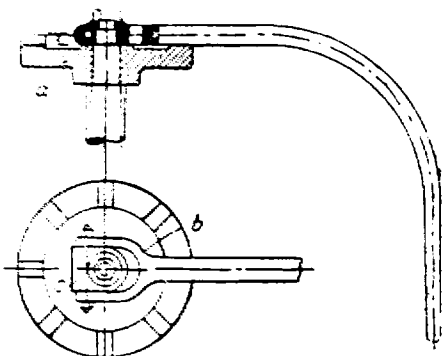
**Нажимные механизмы.** В рабочих клетях с постоянной установкой валков подъем и опускание нажимных винтов при настройке и регулировке стана осуществляется чаще всего от руки с помощью ключа или штурвала. *Наиболее распространенная конструкция ручной установки нажимного винта показана на фиг. 275 и 269.* На нажимной винт насажен диск с выступами (трещотка)  $a$ ; ключ  $b$  при помощи шарнира с серьгой  $c$  может свободно вращаться в горизонтальной плоскости и перемещаться в вертикальной. Захватывая выступы трещотки, рабочий может таким образом поворачивать нажимной винт, оставаясь сам на месте.

Регулировка обоими нажимными винтами может быть централизована; тогда болты соединяются между собой при помощи цилиндрической,

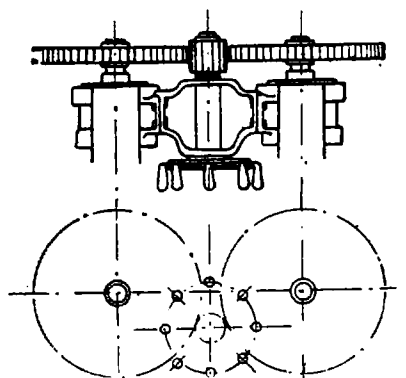
конической или червячной передачи и *одновременно поворачиваются штурвалом* (фиг. 276).

Рабочие клетки с переменной установкой валков снабжаются ручным нажимным приспособлением очень редко (кровельные, тонколистовые станы); обычно приводом нажимных винтов служит *гидравлика* — в старых установках, а в более современных — *электромотор*.

**Гидравлический нажимной механизм** (фиг. 277), применяемый чаще всего в старых конструкциях обжимных станов, устроен следующим образом. В верхней части станины укрепляется два гидравлических цилиндра; плунжеры обоих цилиндров соединены с зубчатой рейкой, находящейся в зацеплении с цилиндрическими шестернями, насаженными на нажимные винты. При сообщении давления плунжер передвигает рейку, а вместе с



Фиг. 275. Ручная установка нажимного винта.



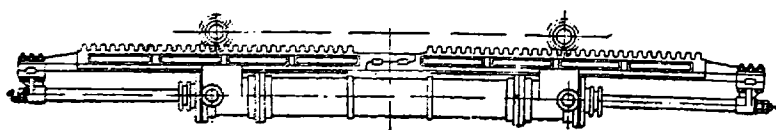
Фиг. 276. Установка нажимных винтов штурвалом.

ней вращает шестерни нажимных винтов. Высота шестерен должна обеспечивать зацепление с рейкой при полной высоте подъема верхнего валка.

К недостаткам гидравлического нажимного механизма надо отнести:

- а) ограниченный подъем верхнего валка,
- б) трудности работы зимой (замерзание воды);
- в) необходимость наличия в цеху громоздкого гидравлического хозяйства.

ства.



Фиг. 277. Гидравлическое нажимное устройство.

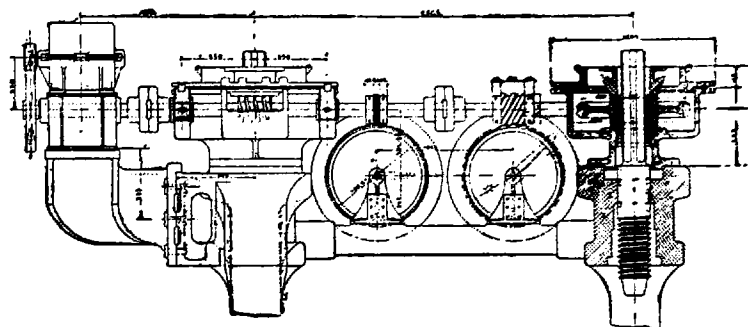
**Электрический нажимной механизм** (фиг. 278) является более современной конструкцией нажимных устройств. Как показано на фигуре, на нажимные винты насажены червячные колеса. Обе червячные передачи заключены в масляную ванну. Червяк соединяется с мотором обычно через редуктор, состоящий из пары цилиндрических зубчатых колес. Для быстрой остановки имеются тормозные устройства.

Чтобы обеспечить постоянство сцепления с червячной передачей в любом положении нажимных винтов, последние в верхней части снабжены квадратным сечением, подогнанным по втулке червячных колес; поэтому нажимные винты могут иметь значительную высоту подъема и всегда связаны с червячным колесом.

Для приведения в движение всего механизма служит один или два мотора. Моторы должны обеспечивать большой пусковой момент и

быстрое торможение, чтобы манипуляция установки валка производилась быстро в паузы между пропусками. При этом момент инерции всех вращающихся частей должен быть минимальным.

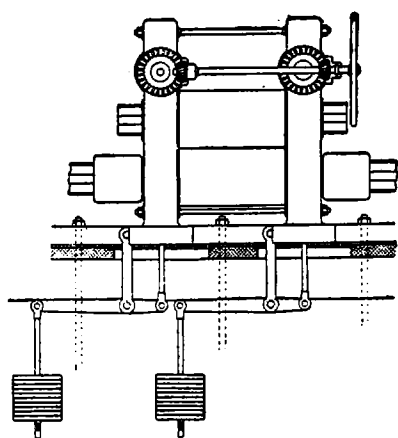
Нажимные механизмы снабжаются, как правило, указательным приспособлением (циферблат, барабан, линейка), определяющим высоту подъема валка, а следовательно и величину обжатия.



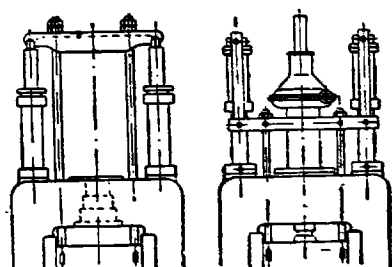
Фиг. 278. Электрическое нажимное устройство.

**Уравновешивающие устройства.** Так как один нажимной механизм не может осуществить подъема и опускания валков, то для того, чтобы подушки всегда следовали за нажимными винтами, к ним необходимо приложить усилие, действующее снизу вверх и превышающее с избытком все валки с арматурой. Такие усилия создают специальные, так называемые *уравновешивающие устройства*. Простейшим типом уравновешивания в клетях с постоянно установленными валками является *пружинное уравновешивание* (фиг. 269). В этом случае

подушка верхнего валка подвешивается при помощи штанг (свеч), для которых в крышке станины делаются отверстия. Штанги посредством гаек с шайбами опираются на две буферные



Фиг. 279. Грузовое уравновешивающее устройство.



Фиг. 280. Гидравлическое уравновешивающее устройство.

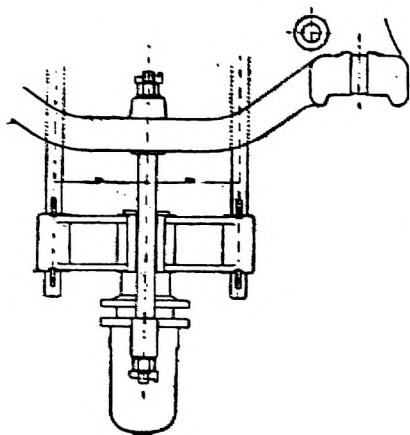
пружины, рассчитанные на вес подвешенных частей. Предел регулировки валка ограничивается ходом пружин. Кроме пружинного, существуют следующие типы *уравновешивающих устройств*: *грузовое, гидравлическое, при помощи подъема и опускания подъемных столов и электрическое*. Разберем коротко принцип работы каждого из них.

1. *Грузовое уравновешивание* (фиг. 279) осуществляется следующим образом. В подушки верхнего валка упираются вертикальные штанги, соединенные шарнирно с одним из плеч рычага к плитовинам; к другому большому плечу рычагов укреплены грузы, вес которых взят с учетом плеч рычагов. Суммарный вес грузов несколько превосходит (на  $15 - 25^0$  )



вес валка с подушками. К недостаткам конструкции следует отнести частые поломки, вызываемые живой силой грузов при размахах рычагов.

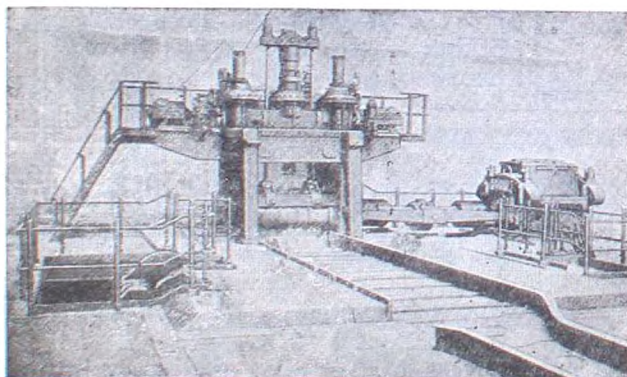
2. *Гидравлическое уравнивающее устройство* (фиг. 280) обеспечивает большую плавность хода подушек. Как видно из фигуры, подушка подвешена двумя тягами и общей траверзой к плунжерам двух гидравлических цилиндров, обеспечивающих постоянное давление, в сумме превосходящее вес подвешенных частей на 15—25%. Цилиндры соединяются с гидравлическим аккумулятором, поддерживающим постоянное давление воды.



Фиг. 281. Нижнее уравнивающее устройство.

Несмотря на ряд указанных выше недостатков гидравлики, некоторые иностранные фирмы до сих пор с успехом практикуют в новых установках этот способ уравнивания в сочетании с электрическим нажимным механизмом.

3. *Уравнивание валков при помощи подъема и опускания столов.* На фиг. 283 показан один из новейших способов этого вида уравнивания для среднего валка листового трио Лаута. Как видно из



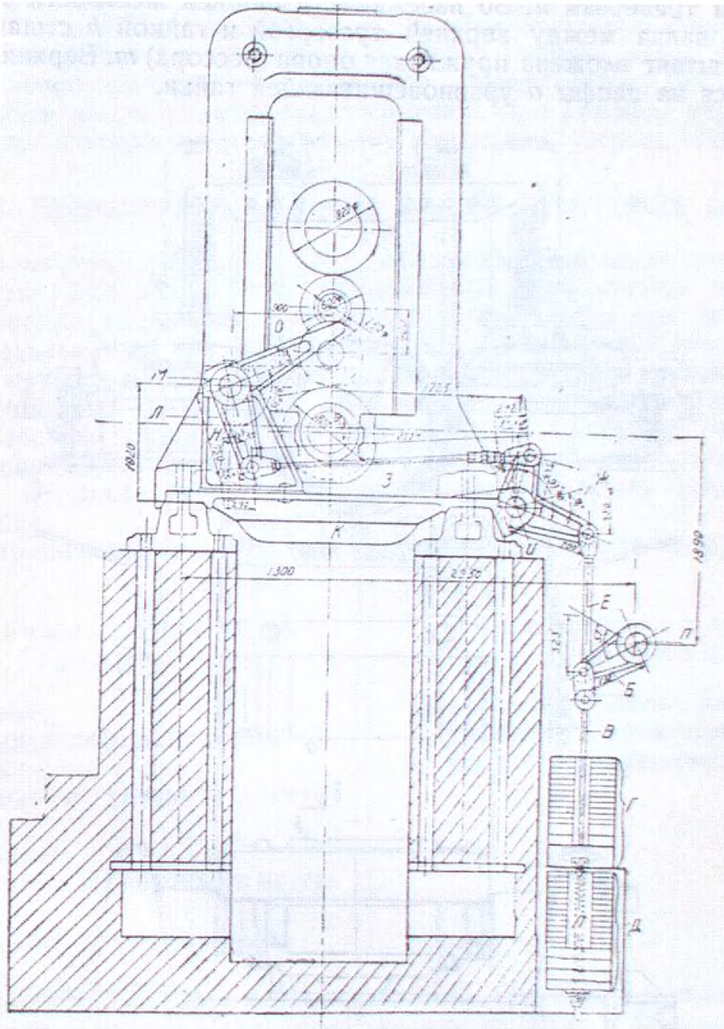
Фиг. 282. Верхнее уравнивающее устройство.

фигуры, средний валок опирается на лопатку *О*, связанную системой рычагов *Н*, *З*, *Ж*, *И* и тяги *Е* с грузом *Д*. К валу подъемного стола *А* при помощи рычагов *Б* и тяг *В* подвешен груз *Г*. Во время поворачивания вала *А* при подъеме и опускании подъемного стола, обслуживающего стан. груз *Г* получает возможность либо подниматься либо опираться на груз *Д*.

Вес груза *Д* на 25% меньше веса среднего валка с подушками; вес груза *Г* составляет 50% веса валка. Сумма обоих грузов, следовательно,

на 25% превосходит вес уравновешиваемого валка. При подъеме стола средний валок должен опуститься, вал *A* поворачивается на некоторый угол и поднимает груз *Г*; валок, не будучи уравновешен одним грузом *Д*, опускается и несколько поднимает последний.

При опускании стола вал *A* поворачивается в обратную сторону и опускает груз *Г*, который нажимает на груз *Д* — сумма обоих грузов превышает вес валка, и таковой поднимается.



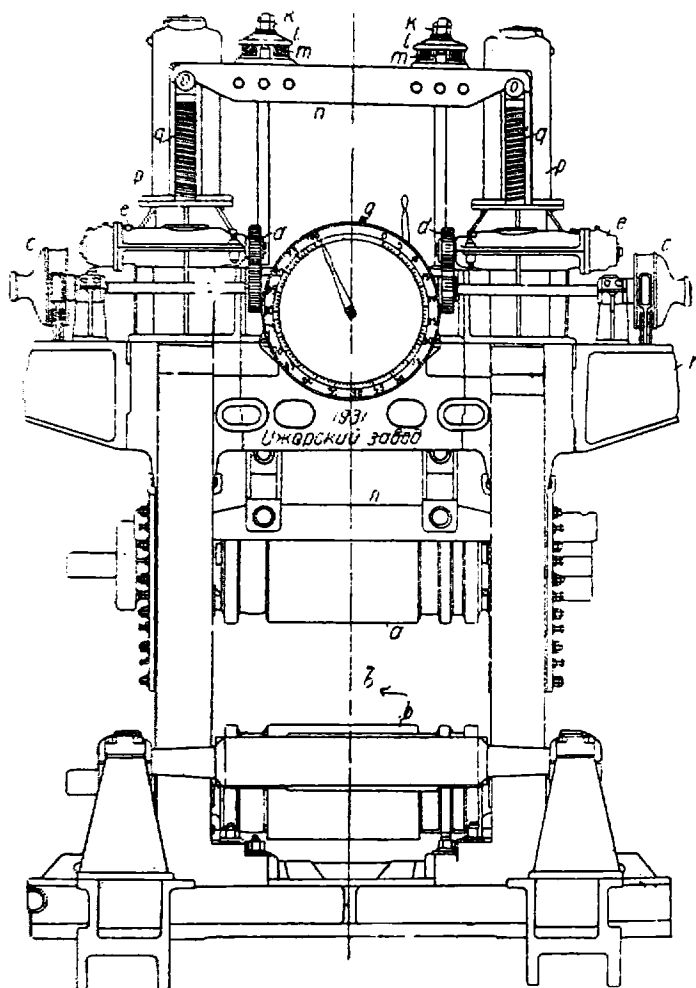
Фиг. 283. Уравновешивание валков при помощи подъема и опускания столов.

В последних пропусках, когда подъем среднего валка значительно уменьшается, а потому высота подъема стола не будет соответствовать высоте подъема валка, этот случай предусмотрен в конструкции тем обстоятельством, что штанги *B*, поддерживающие с двух сторон груз *Г*, имеют возможность перемещаться в боковых пазах грузов после того, как средний валок поднят, а стол продолжает опускаться. Исходя из этих соображений, штанги *B* делают длиннее грузов.

Система рычагов подсчитывается так, что ход грузов *Д* меньше хода грузов *Г*; это обеспечивает в верхнем положении груза *Г* зазор между грузами, а, следовательно, хорошее прилегание среднего валка к нижнему, а в нижнем положении грузов — хорошее нажатие на верхний валок.

4. *Электрическое уравнивание.* На фиг. 284 и 253 представлено электрическое уравнивание верхнего валка советского блуминга. Такая конструкция механизма для установки валка носит название *сопряженного (комбинированного) электрического нажимного и уравнивающего устройства.*

Принцип работы этой конструкции заключается в следующем. Подушки верхнего валка связаны между собой двумя траверсами *h*, к которым прикреплены вертикальные штанги *i*. Штанги *i* вверху крепятся к двум поперечным траверсам *л*. Во избежание излишней жесткости такого подвешивания валка между верхней траверзой и гайкой *к* с шайбой *l* вертикальных штанг вложена пружинная опора (рессора) *т*. Верхние траверзы и опираются на цапфы *о* уравнивающей гайки.



Фиг. 284. Электрическое уравнивающее устройство советского блуминга.

К втулкам червячных колес *е* привинчены полые вертикальные винты *г*, шаг которых соответствует шагу нажимных винтов. Таким образом, во время вращения нажимного винта полый винт *г* вращается вместе с червячным колесом, не изменяя своего положения по вертикали. Нажимные винты в верхней ненарезанной части имеют квадратное сечение и поэтому свободно перемещаются в полости такого же сечения червячного колеса и полого винта. Оба червяка связаны трансмиссион-

ным валом при помощи двух пар зубчатых колес, служащих для понижения числа оборотов мотора. Два приводных мотора соединены с трансмиссионным валом при помощи фрикционной муфты, выключающейся при чрезмерной перегрузке. Следовательно, механизмы нажима и уравновешивания связаны между собою и обслуживаются одними и теми же моторами.

Когда нажимной винт работает „на подъем“, связанный с ним полый винт, вращаясь, заставляет подниматься гайку, цапфы „о“ которой скользят по направляющим вырезам кожухов „р“, и одновременно при помощи траверз и тяг поднимают верхний валок. При обратном ходе нажимных винтов уравновешивающие гайки, а с ними и верхний валок опускаются. В верхних защитных кожухах р помещается ограничитель движения гайки, автоматически выключающий электромоторы при крайнем верхнем положении гайки. Моторы установлены на специальных кронштейнах станин.

## § 58. Подшипники рабочих клетей прокатных станов

Вкладыши подшипников рабочих клетей воспринимают огромные усилия прокатки. Условия работы подшипников чрезвычайно тяжелы, характер трения полусухой, или даже сухой, так как при значительном удельном давлении между шейкой и подшипником трудно удержать слой смазки. В существующих прокатных станах на работу трения в скользящих подшипниках тратится до 50% общего расхода энергии (включая работу холостого хода). Все эти обстоятельства заставляют считать проблему подшипников прокатных станов весьма важной. Наряду с этим всплывает не менее важный вопрос об экономической рентабельности подшипников.

В настоящее время применяются такие основные типы подшипников.

подшипники скользящего трения:

- а) бронзовые;
- б) из белых антифрикционных сплавов;
- в) бронзовые с заливкой белым металлом;
- г) деревянные;
- д) бронзовые с деревянными вставками;
- е) суррогатные (текстилитные).

подшипники трения катания:

- а) роликовые цилиндрические;
- б) роликовые конические;
- в) роликовые сферические.

*Вкладыши скользящих подшипников как правило охватывают шейку не по всей окружности. Различают верхние, нижние и боковые вкладыши, промежутки между ними соответствуют специальным прорезам подушек и используется для подведения смазки и водяного охлаждения шеек.*

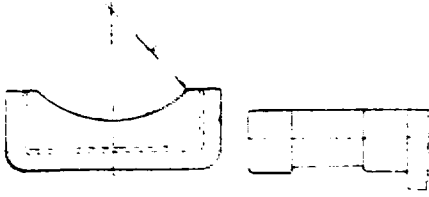
Наиболее старыми типами подшипников являются подшипники металлические—бронзовые. На фиг. 285, 286, 287, 288, 289, 290 представлено последовательное изменение формы металлического подшипника; здесь в первую очередь бросается в глаза уменьшение затраты материала на подшипник, а также конструктивные изменения для улучшения режима смазки и охлаждения. На фиг. 287 представлены обычные круглые вкладыши; для предупреждения вращения нижней их части придают форму ласточкина хвоста либо прямоугольника. На фиг. 288 представлены вкладыши Девиса; установка вкладышей имеет преимущество (форма восьмиугольника) и применение их дает экономию материала. Боковые зазоры  $x$  обеспечивают расширение шейки при нагревании, т. е. предупреждают защемление, а также являются пространством, заполненным смазкой.

Во вкладыш (фиг. 289) запаян медный змеевик, в котором циркулирует охлаждающая вода. Во вкладыше (фиг. 290) устроены специальные канавки для подачи смазки под давлением.

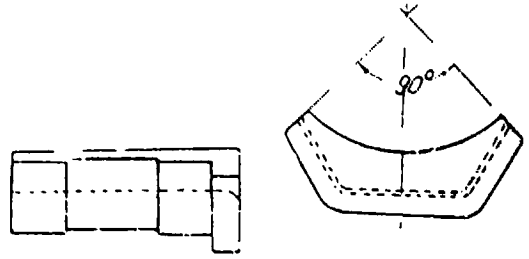
Материалом для металлических вкладышей служат в основном:

а) антифрикционные бронзы с содержанием Cu от 65 до 80%, Sn 8—13%, Sb, 7—19%, Zn 0,5—5% или Р 0,02—0,8%;

б) белые антифрикционные сплавы. Один из лучших сплавов Шарпи имеет такой средний химический состав: Sn 83%, Sb 11%, Cu 6%.



Фиг. 285. Металлический подшипник.



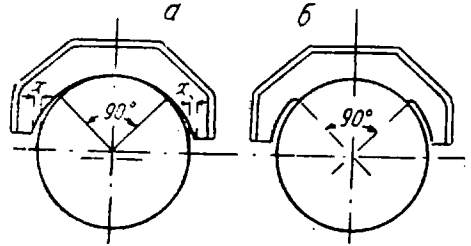
Фиг. 286. Металлический подшипник.

Для увеличения твердости к белым сплавам дают присадки щелочно-земельных металлов; так, напр, германский подшипниковый сплав имеет Pb 94,9%, Cu 1,75%, Ba 1%, Sr 1,35%, Sr=1%. Этот сплав отличается довольно высокой температурой плавления, а следовательно, допускает работу с горячими шейками.

Безусловно наиболее стойкими в тяжелых условиях рабочих станов являются бронзовые подшипники, но они вызывают и больший расход энергии на трение.



Фиг. 287. Металлический подшипник.

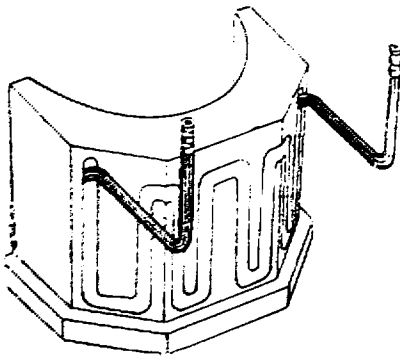


Фиг. 288. Металлический подшипник

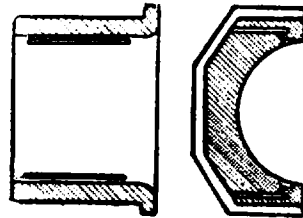
Практика наших заводов заливки бронзовых вкладышей белым металлом показала, что при больших нагрузках этот слой быстро истирался. Данные некоторых зарубежных заводов говорят о том, что слой белого металла должен быть минимальным, ибо, чем тоньше слой, тем труднее его выдвинуть из бронзовой основы.

Применение белых антифрикционных сплавов оправдывается в подшипниках быстроходных станов. Это объясняется в первую очередь хорошим режимом смазки.

Расход цветного металла для вкладышей и подшипников прокатных цехов чрезвычайно велик.



Фиг. 289. Металлический подшипник.

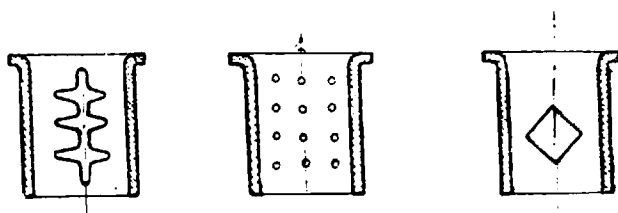


Фиг. 290. Металлический подшипник.

Дефицит цветных металлов заставил прокатные цехи наших заводов заняться вопросом о замене антифрикционных сплавов более дешевым материалом. Попытки применения деревянных вкладышей на подшипниках заводов не увенчались успехом, тогда пошли по пути комбинирования бронзы с деревом. В результате исканий, после первых неудач были сконструированы такие вкладыши, не уступающие даже бронзовым (фиг. 291).

Дальнейшая работа и исследования нового типа—комбинированных—подшипников показала, что расход энергии на трение не только не увеличился, но снизился. Снижение расхода энергии дает большую экономию, чем замена цветного металла.

Результаты всех опытов говорят о том, что разрешение вопроса о рациональной конструкции подшипников состоит главным образом в *улучшении способа подведения смазки к трущимся поверхностям.*



Фиг. 291. Металлические вкладыши с деревянными пробками.

**Применение роликовых подшипников к прокатным станам.** Преимущества применения подшипников трения катания в смысле расхода энергии на трение совершенно очевидны. Целый ряд современных конструкций машин не был бы осуществлен без применения шариковых или роликовых подшипников.

Современные многовалковые станы, широко применяющиеся в холодной прокатке, также были бы немыслимы без применения подшипников катания. За границей применение роликовых подшипников в быстроходных станах горячей прокатки также получает распространение <sup>1</sup>.

По данным фирмы „ДЕМАГ“, с применением роликовых подшипников *расход энергии сокращается* при прокатке на 40%, при холостом ходе на 80%. При всех равных прочих условиях моменты трения при катании в 50 раз меньше моментов трения при скольжении.

*К основным преимуществам трения второго рода следует отнести еще следующее:*

- a) отсутствие необходимости в постоянной смазке;
- b) незначительный износ шеек;
- c) точность установки, а следовательно, и точность выпускаемого профиля.

Но специфичность процесса прокатки и существующее оборудование зачастую затрудняет применение роликовых подшипников, поэтому по вопросу о внедрении роликовых подшипников существуют разноречивые мнения. Дело, конечно, не в самой идее, а в соответствующем конструктивном оформлении самих подшипников и усовершенствовании конструкций станин с прочими элементами рабочих клетей. Во всяком случае, целесообразность роликовых подшипников в станах с небольшим диаметром валков и большими скоростями прокатки совершенно неоспорима и применение таковых не вызывает особых затруднений. Фирма „ДЕМАГ“ устанавливает подшипники катания в станах с диаметром валков до 450 мм.

К конструкции и установке подшипников предъявляются следующие требования:

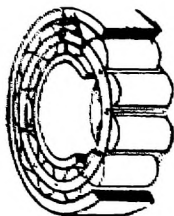
- 1) конструкция должна предусматривать неблагоприятные условия прокатки;
- 2) конструкция должна воспринимать действующие нормальные и осевые усилия: усталость элементов подшипника должна обеспечивать экономичный срок службы;
- 3) при выборе и установке подшипника следует точно руководствоваться существующими нагрузками в шейках и характером изменения нагрузки;
- 4) должно быть обеспечено равномерное распределение усилий на весь ролик;
- 5) конструкция должна обеспечивать применение шеек большого диаметра, прочную установку в клетях без усложнения перевалок и допускать быструю и точную настройку.

*Применяется три основных типа подшипников по форме роликов: цилиндрические (фиг. 292), конические (фиг. 293) и сферические (фиг. 294).*

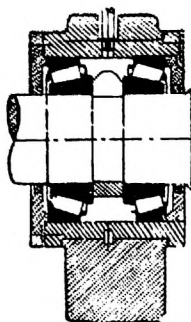
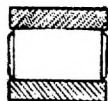
При работе на цилиндрических роликах необходимо иметь упорные подшипники, так как первые не воспринимают осевого давления. Конические и сферические ролики не имеют этого недостатка. Наиболее

<sup>1</sup> Шариковые подшипники в условиях значительного давления не применимы.

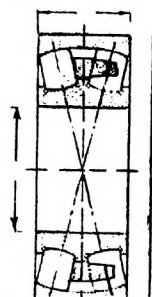
совершенными являются сферические подшипники: они саморегулируются вследствие сферической поверхности наружного кольца и сопротивляются боковым давлениям в обоих направлениях, благодаря наклонному расположению двух рядов роликов.



Фиг. 292. Цилиндрические роликовые подшипники.

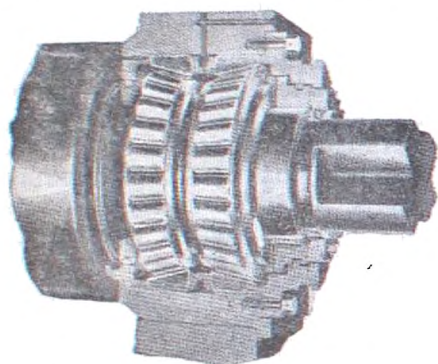


Фиг. 293. Конические роликовые подшипники.

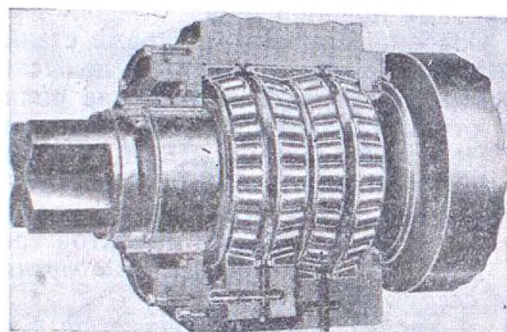


Фиг. 294. Сферические роликовые подшипники.

На фиг. 295 и 296 представлены практикующиеся способы установки подшипника на шейке вала и специальная конструкция подушек.



Фиг. 295. Установка роликовых подшипников.



Фиг. 296. Установка роликовых подшипников.

Выбор размера или номера подшипника определяют по вероятному и рентабельному сроку службы, исходя из рабочих нагрузок.

Срок службы подшипника может быть определен по формуле:

$$N = \frac{1}{\frac{m_1}{N_1} + \frac{m_2}{N_2} + \dots + \frac{m_n}{N_n}}$$

Здесь  $N$  — полная длительность службы в тоннах прокатанного металла;  $m_1, m_2, \dots, m_n$  — количество оборотов на 1 т продукции при давлениях в шейке соответственно  $p_1, p_2, \dots, p_n$ ;  $N_1, N_2, \dots, N_n$  — длительность службы в миллионах оборотов данного подшипника при неизменных нагрузках  $p_1, p_2, \dots, p_n$ ; выбор числа оборотов производится по опытным данным (таблицам, графикам), составленным на основании изучения службы данного номера подшипника при постоянных нагрузках<sup>1</sup>.

Благодаря развернутому подшипникостроению в СССР, по масштабам превосходящих аналогичное производство на иностранных заводах, вопрос о рациональной конструкции подшипников для прокатных станов будет разрешен в недалеком будущем.

**Смазка подшипников прокатных станов.** В качестве смазки подшипников рабочих клеток долгое время применялись животные жиры; в частности на наших заводах свиное сало. Этот тип смазки существовал до 1929 г., и заводы довольно отрицательно относились к переходу на другие сорта смазки, в то время как в Германии давно совершенно отказались от животного жира и успешно применяют минеральные брикеты.

<sup>1</sup> Графики SKF «Роликовые подшипники в прокатных станах», русский перевод.

Первые минеральные брикеты и мази на наших заводах были импортного происхождения. Хорошо привился брикет Гаргойль-Блок-Грос, его характеристика:

- 1) температура каплепадания 140°C;
- 2) зольность 10%;
- 3) жировых веществ 90%.

В настоящее время производство этого брикета поставлено и в СССР и он по качеству не ниже заграничного. Брикеты изготовляются в основном из нефтяных остатков.

Брикеты и вообще *твердая смазка закладывается в специальные вырезы подушек*, соответствующие зазорам между вкладышами.

Основные требования, предъявляемые к брикетам таковы:

- 1) механическая прочность,
- 2) отсутствие кислот,
- 3) отсутствие коксующихся примесей при температурах около 120°,
- 4) точка плавления выше температуры шеек,
- 5) температура вспышки—не ниже 180—200°,
- 6) минимальная растворимость в воде,
- 7) высокое содержание жиров,
- 8) цепкость и вязкое состояние массы (чтобы брикет равномерно распределялся по шейке и не смывался водой).

Большое значение рационального подвода смазки, вызвало применение новых усовершенствованных способов смазки прокатных станов; к ним в первую очередь следует отнести *центральную смазку под давлением*. В этом случае *смазка нагнетается к местам потребления специальным жировым насосом*, приводом которого служит либо самостоятельный двигатель, либо передача от шестеренной клетки стана. В большинстве случаев применяются насосы поршневого типа. Насос должен преодолевать давление в подшипниках, чтобы смазка попадала в зазор между трущимися поверхностями. Кроме того, величина давления зависит от вязкости смазки и длины маслопроводов, вследствие значительного трения в трубах. При применении штауферного жира давление достигает 150 атм.

Центральная смазка под давлением обеспечивает постоянный круговорот; *отработанные масла собираются в специальные резервуары, фильтруются и опять подаются к насосу*.

## § 59. Привод прокатного стана

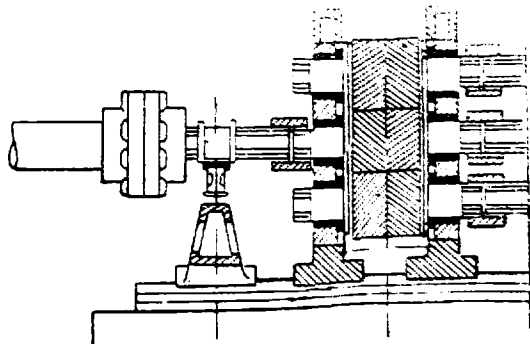
К промежуточной части—приводу стана—мы относим (фиг. 297) *главную (коренную) муфту, соединяющую стан с валом двигателя, шестеренную клетку, сообщающую движение каждому из рабочих валков, и прочие виды передач: соединительные валки и вспомогательные муфты*.

Рассмотрим основные конструкции и главные характеристики основных элементов привода прокатных станов.

**Главные соединительные муфты.** Главная муфта *передает полный крутящий момент двигателя*. При существующих мощностях двигателей прокатных станов в десятки тысяч лошадиных сил, главная муфта должна иметь солидную, прочную конструкцию.

*В отношении к конструкции главной муфты предъявляются следующие требования:*

- 1) достаточная прочность при наименьшем весе и габаритах (особенно в реверсивных станах);



Фиг. 297. Прокатный стан с приводом.



- 2) легкое разобщение стана от двигателя;
- 3) эластичность и упругость, особенно при электроприводе, смягчающая удары и внезапные толчки, испытываемые мотором во время прокатки;
- 4) допустимость несовпадения—игры соединительных валков.

Не все существующие конструкции главных муфт удовлетворяют всем этим требованиям. В практике прокатного производства применяется большое количество самых разнообразных муфт, на которых мы остановимся кратко, так как большинство их рассматривается в соответствующих курсах деталей машин.

Существующие конструкции главных муфт могут быть разбиты на следующие категории:

1) *Жесткие муфты:*

- а) муфта Ортмана,
- б) кулачковая муфта.

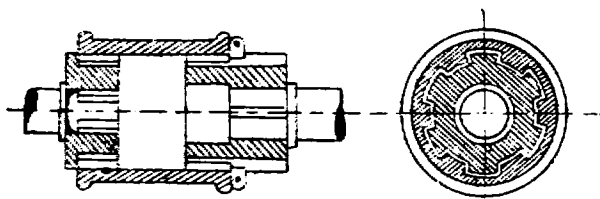
2) *Муфты, разобщающиеся на ходу:*

- а) при помощи гидравлических цилиндров или рычагов,
- б) муфты трения,
- в) электромагнитные муфты.

3) *Упругие (эластические) муфты:*

- а) Всеобщей компании электричества (ВКЭ),
- б) Рефферда,
- в) Цодель-Фейта,
- г) Бамаг,
- д) Сименс-Шуккерта,
- е) Биби и др.

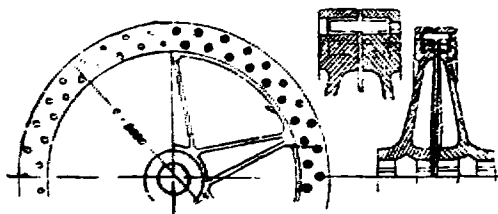
Из жестких муфт наибольшее применение получила муфта Ортмана (фиг. 298). При помощи этой муфты вал двигателя может быть соединен



Фиг. 298. Муфта Ортмана.



Фиг. 300. Муфта Биби.



Фиг. 299. Муфта Бамаг.

непосредственно с треном шестеренного валка. *Муфта состоит из трех основных частей:* двух половин с выступами (зубцами), насаживаемых на концы соединяемых валов, и третьей—общей соединительной части кожуха, который в некоторых случаях делается разъемным. *При сдвигании в сторону соединительного кожуха, муфта разобщается.*

Из конструкций эластичных муфт рассмотрим муфту Бамаг (фиг. 299), изготовляемую нашими заводами тяжелого машиностроения, и муфту Биби (фиг. 300), получившую большое распространение за границей.

Как показано на фиг. 299, муфта конструкции Бамаг состоит из двух дисков, заклиненных на концах соединяемых валов. Между дисками имеется зазор (4—10 мм). На периферии дисков имеется ряд круглых

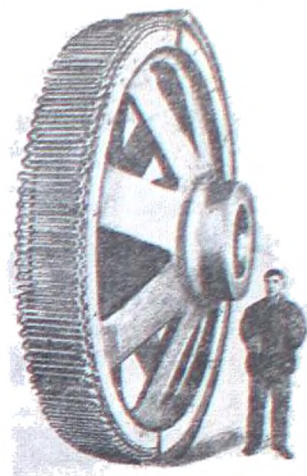
отверстий, в которые вставляются *упругие круглые штифты*, именно и служащие эластичными соединительными элементами муфты. В зависимости от величины передаваемого момента можно изменять зазор между дисками и употреблять для штифтов тот или другой материал. Штифты могут быть деревянные, кожаные, резиновые и стальные.

*Муфта Биби* (фиг. 30) состоит из двух половин с пазами, в которые вкладывается стальная змеевидная пружина, и футляра, закрывающего пружину. Пазы расширяются к середине муфты по кривой дуге окружности, радиус которой зависит от толщины и материала пружины.

Пружина изгибается по мере увеличения нагрузки, но ее напряжение, даже при полном соприкосновении с поверхностью выступа, никогда не превышает определенного коэффициента безопасности.

Стальная пружина изготавливается из специальной стали с пределом упругости в  $16\,000 \text{ кг/см}^2$  и временным сопротивлением разрыву в  $17\,700 \text{ кг/см}^2$ . Размеры пружины таковы, что напряжения, испытываемые последней, значительно ниже предела усталости материала.

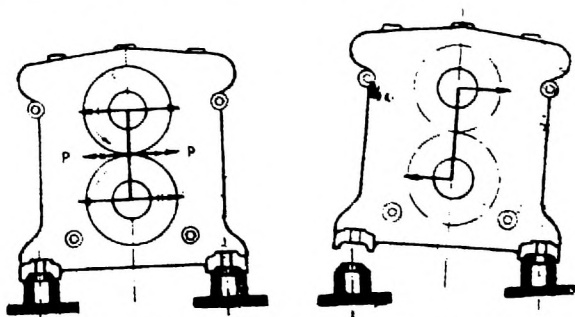
На фиг. 301 изображена муфта для блуминга. Фиг. 301. Муфта блуминга. Муфта передает мощность в 14 000 л. с. при 100 об/мин. Блуминг реверсируется шесть раз в минуту, что соответствует 2,5 млн. переключений в год.



## § 60. Шестеренные клетки

В шестеренной клетке момент двигателя распределяется на несколько составляющих и направлений, соответственно количеству приводимых рабочих валков стана.

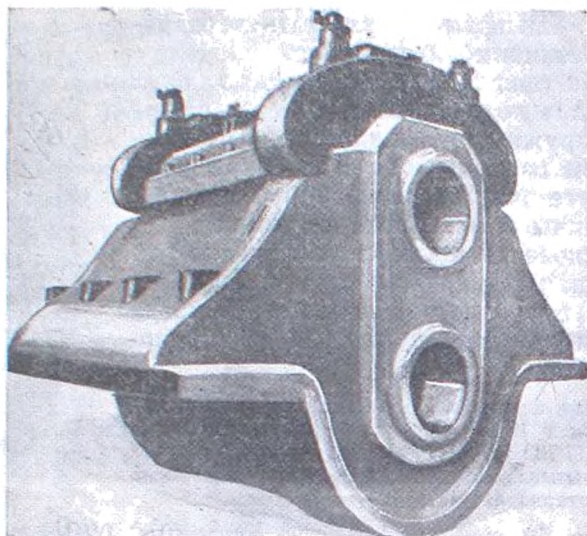
Действие усилий в шестеренной клетке может быть представлено таким образом (фиг. 302). Давления на зубья, находящиеся в зацеплении шестеренных валков, изобразим горизонтальными противоположно направленными векторами, равными по величине окружному усилию  $P$ . Если приложить к центру каждой из шестерен по паре горизонтальных противоположно направленных сил  $P$ , то получится две пары с плечом, равным радиусу начальной окружности шестерен, и пара с плечом, равным диаметру



Фиг. 302. Усилия в шестеренной клетке.

начальной окружности. Последняя пара стремится опрокинуть клетку около одной из лап станины, поэтому момент этой пары сил называют *опрокидывающим моментом*. Исходя из этих соображений, *шестеренные станины делают с широким основанием* (фиг. 303) и *прочно укрываются к фундаментным плитам*. Число шестеренных валков обыч-

но равно числу рабочих валков, но могут быть случаи установки „паразитных“ шестерен, например, в универсальных станах. Момент, переда-



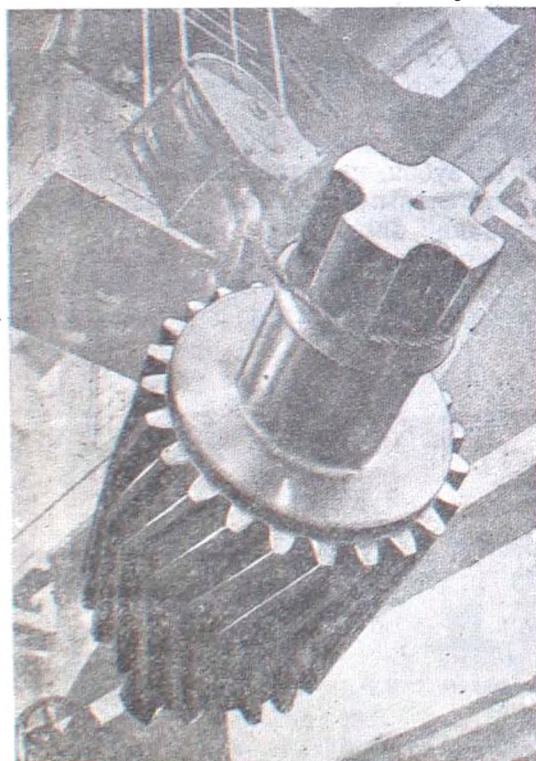
Фиг. 303. Широкое основание шестеренной станины.

ваемый каждой шестерней, а, следовательно, и расчетное давление на зуб, равное окружному усилию, может быть подсчитано либо по мощности

и числу оборотов двигателя, либо по крутящему моменту рабочих валков. Шестеренные валки изготавливаются исключительно из литой или ковanej стали.

Диаметр начальной окружности шестеренных валков выбирается в зависимости от типа и условий работы рабочих клеток. В шестеренных клетях станков с постоянно установленными валками шестерни делают несколько меньшего диаметра (на 25—50 мм), чем валки, учитывая уменьшение диаметра последних при переточках. Диаметры же шестеренных валков станков с переменной установкой валков выбирают несколько больше диаметра рабочих валков, во избежание слишком большого наклона соединительных шпинделей при большом подъеме верхнего валка.

Наиболее распространена шевронная форма зубьев (фиг. 304); это вызвано их преимуществом в смысле прочности, продолжительности пребывания в зацеплении, чем обеспечивается плавность и спокойный ход. К недостаткам шевронных зубьев

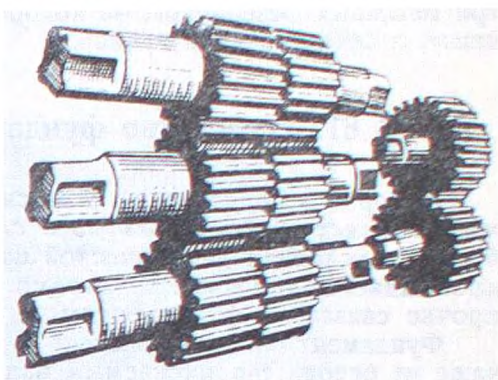


Фиг. 304. Шестерни с шевронными зубьями.

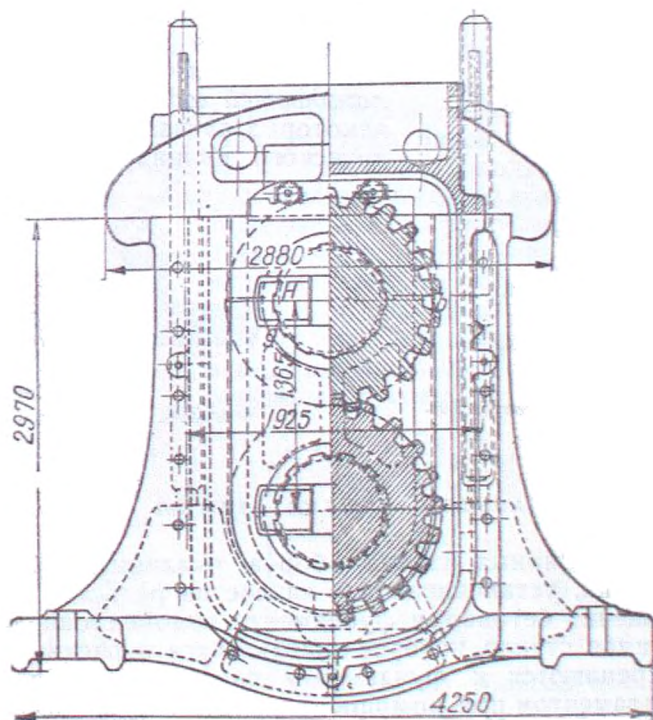
К недостаткам шевронных зубьев

следует отнести трудность механической обработки — фрезеровки, поэтому трудно достигнуть высокого коэффициента полезного действия передачи, правильности зацепления и изготовить шестеренные валки коваными; последнее обеспечивает меньшую изнашиваемость и, следовательно, больший срок службы. Этими недостатками не обладают шестеренные валки с *прямыми зубьями*, которые для обеспечения плавности хода делаются *ступенчатыми* (фиг. 305).

В современных конструкциях шестеренные клетки представляют собой *плотно закрытую чугунную коробку*. На фиг. 306 представлена шестеренная клетка первого советского блуминга; ее станина состоит из трех частей: из двух половин, по своим очертаниям и размерам тождественных между собой, соединенных болтами, и крышки, скрепленной со станией четырьмя толстыми болтами. В боковые просветы станин вкладываются *подшипники шестеренных валков*. Сверху подшипники сжимаются клином, опирающимся своей нижней частью на верхний вкладыш. *Вкладыши подшипников заливаются белым металлом*.



Фиг. 305. Ступенчатые шестерни.



Фиг. 306. Шестеренная клетка советского блуминга.

Особенно большое внимание уделяется *смазке зубцов шестерен и подшипников*. Наиболее распространена *циркуляционная смазка*, при которой масло, совершая непрерывный круговорот из резервуара с фильтром, помещаемого в верхней части клетки, течет непрерывным потоком на сма-

зываемые части; отработанное масло, собираясь в специальном резервуаре внизу, подается насосом в верхний резервуар, где фильтруется и опять стекает по смазываемым поверхностям.

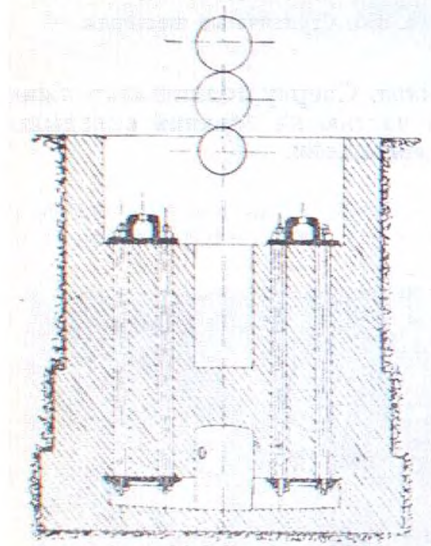
В шестеренной клети советского блуминга заодно с крышкой отлиты три масляных резервуара, из которых два крайних — для смазки подшипников, а средний — для зубьев.

## § 61. Устройство фундаментов прокатных станов

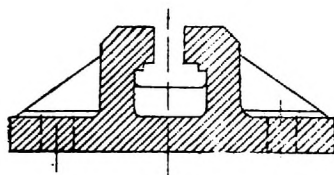
*Выбор и сооружение надежного фундамента прокатного стана представляет очень серьезную и сложную задачу.* Фундамент стана работает в условиях динамической нагрузки, так как прокатка всегда сопровождается толчками и ударами. Станины рабочих клеток должны быть прочно связаны с фундаментом.

Фундаменты изготовляются из кирпича на цементном растворе или чаще из бетона с допускаемым напряжением от 10 до 30 кг/см<sup>2</sup>. Объем фундаментной кладки, а также устройство самого фундамента неразрывно связаны с качеством грунта, служащего основанием.

На фиг. 307 изображен разрез наиболее распространенного типа фундамента прокатного стана. Наружная форма фундамента, как обычно, делается с уступами (в виде пня) для большей устойчивости. В фундаменте устраивается два канала: верхний канал С служит для стока охлаждающей воды и уборки окалины, а в некоторых случаях для помещения гидравлического цилиндра, уравнивающего



Фиг. 307. Разрез фундамента прокатного стана.



Фиг. 308. Фундаментная плита.

устройства. Нижний канал с нишами служит для доступа анкерным болтам.

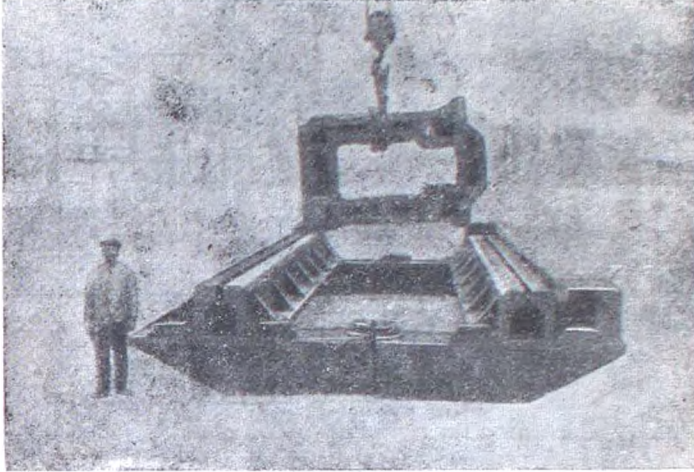
В тяжелых обжимных станах уборка окалины производится при помощи вагонетки, установленной в канале на рельсах.

Для сообщения бетонному фундаменту водонепроницаемости применяют растворимое стекло, которое прибавляется в раствор.

Клетки укрепляются к фундаменту следующим образом: непосредственно с фундаментом при помощи анкерных болтов связаны фундаментные рамы (плитовины, поддоны, — (фиг. 308 и 309). Верхняя часть рамы обрабатывается по форме внутренней поверхности лап станины. В прорез рамы вставлены болты, укрепляющие рамы с лапой станины. Благодаря такому устройству передвижение станин по раме, а также и снятие станин с фундамента совершается довольно просто. Фундаментные рамы в зависимости от габарита стана делают сплошными либо раздельными. Раздельные рамы связываются между собой распорными болтами.

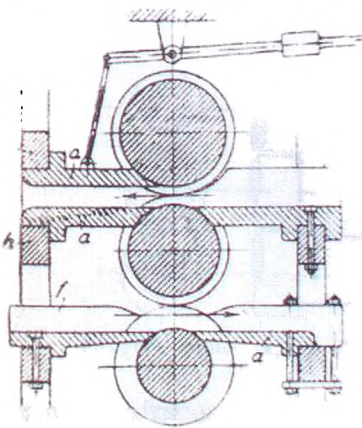
## § 62. Проводки

Для того, чтобы *облегчить задачу полосы в валки*, а также обеспечить правильное положение при входе и выходе, *применяются так называемые проводки*. Только тяжелые типы станов — блуминги, броневые станы, толстолистовые — не нуждаются в специальных направляющих устройствах для задачи металла в валки.



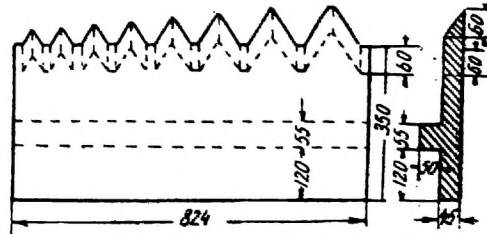
Фиг. 309. Фундаментная плита.

В основном различают два типа проводок: *вводные и выводные*. Те и другие представлены на фиг. 310 для стана трио. Здесь *f* — *вводные проводки*, *a* — *выводные* и *h* — *опорные брусья*, на которых проводки укреплены. Опорные брусья помещаются между станинами в специальных пазах.



Фиг. 310. Проводки стана трио.

Проводки тяжелых станов изготавливаются из стали, во всех других случаях — из чугуна. Проводки, отлитые заодно с брусьями, носят название *доски*, или *скамейки* (фиг. 311). Изображенные на фиг. 310 вводные проводки сделаны в виде вертикальных щек, прикрепленных к опорным брусьям.



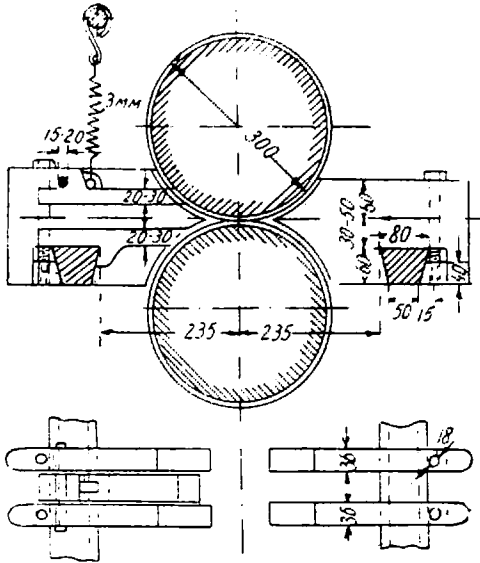
Фиг. 311. Проводка-доска.

Зачастую для укрепления приемных проводок служат приспособления, которые носят название *приемных коробок* (фиг. 312). Приемная коробка изготавливается из литой стали или бронзы и укрепляется болтами к опорному брусу. Проводки, вставляемые в приемную коробку, носят название *линейек*. На фиг. 313 изображены линейки для овалов. Внутреннее сечение проводки должно быть немного больше сечения овала.

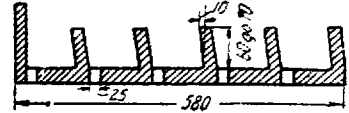
Выводные проводки должны предусматривать *правильный выход металла из валков*. Применение *верхнего или нижнего давления* (разница



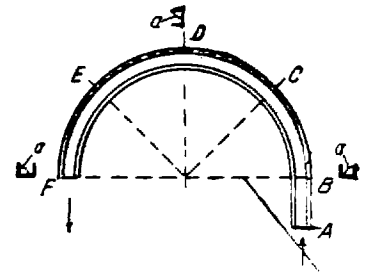
На фиг. 316 и 317 изображен аппарат для квадрата, он представляет собой дугообразный жолоб, склепанный из угольников или отлитый из чугуна. Полоса при выходе прижимается к наружной стенке жолоба, меняющей угол наклона к горизонтальной плоскости в различных точках жолоба таким образом: угол в точке  $A = 90-92^\circ$ , в точке  $B = 90^\circ$ , в точке  $C = 75-80^\circ$ , в точке  $D = 75-80^\circ$ , в точке  $E = 75-80^\circ$ , в точке  $F = 90^\circ$ . Таким



Фиг. 315. Положение ножа нижнего вала.



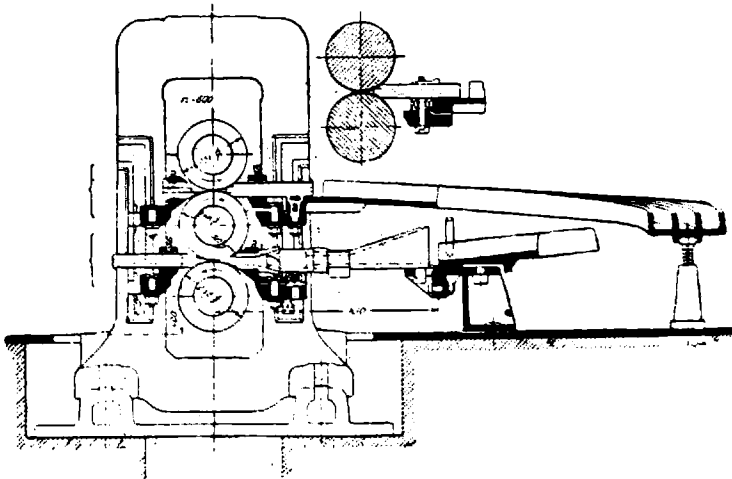
Фиг. 316. Аппарат для квадрата.



Фиг. 317. Аппарат для квадрата.

образом достигается плавный поворот в квадратах по винтовой линии.

Установка аппарата у клетки показана на фиг. 318. Аппарат для подачи и кантования овала в квадрат носит название по фамилии изобретателя

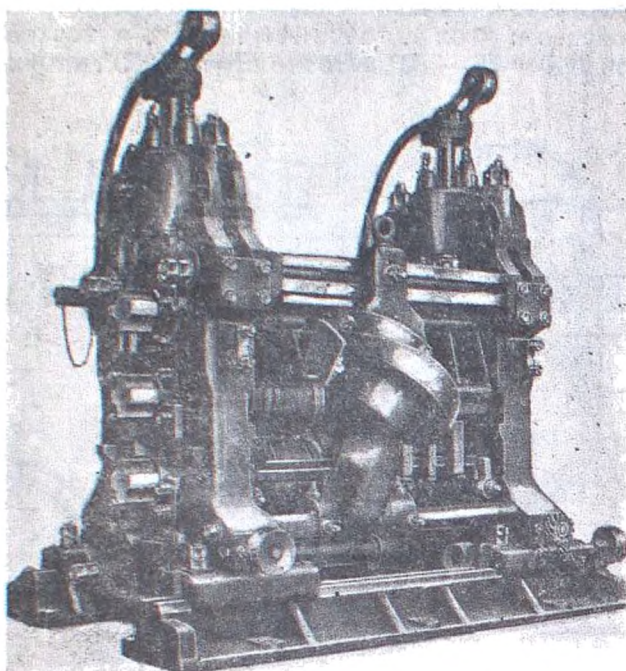


Фиг. 318. Аппарат у рабочей клетки.

ателя аппарата или проводки Шепфа. Овал проходит по жолобу, имеющему геликоидальную внутреннюю поверхность, вследствие чего полоса поворачивается на  $90^\circ$ . Аппарат Шепфа, установленный на черновой клетке диаметром 550 мм, показан на фиг. 319.



С введением автоматических проводок для станков периодической прокатки производительность последних приблизилась к производитель-



Фиг. 319. Аппарат Шепфа у рабочей клетки.

ности аналогичных станков непрерывной прокатки. В современных непрерывных станах между клетями также устанавливаются проводки с геликоидальными щеками для автоматического кантования прокатываемой штуки перед задачей в следующую клеть.

### § 63. Сборка, настройка и перевалка валков

Во время сборки клетей при установке валков необходимо придерживаться следующих *основных правил*:

- 1) *оси валков должны быть строго горизонтальны;*
- 2) *оси прокатных валков и соединительных шпинделей должны составлять одну прямую линию;*
- 3) *нельзя допускать большого зазора между шейками валков и вкладышами, а также большого зажатия шеек.*

Эти основные требования диктуются условиями получения точного профиля, нормальной работы и износа отдельных деталей стана. При установке клетей на плитовинах необходимо, чтобы *лапы станин находились строго в одной плоскости*; проверку производят по ватерпасу.



Фиг. 320. Искажения профиля вследствие перекоса валков.

Соблюдение указанных основных правил необходимо, но недостаточно для получения точного профиля: после сборки клетей следует *„настроить“* валки.

Основными требованиями *настройки* являются: *отсутствие перекоса валков*, т. е. правильность очертания калибров при совпадении обеих половин, *правильная величина зазора между валками*, т. е. сохранение определенной величины обжатия, предусмотренного калибровкой с учетом

износа, переточек и расширения валков. На фиг. 320 показаны поперечные сечения профилей, получившиеся вследствие перекоса.

При настройке стана решающее значение имеют рациональные приспособления для регулировки валков. Передвижение в вертикальной плоскости производится при помощи нажимного и уравнивающего устройства, клиньев (в зависимости от конструкции клетки). Регулировка вдоль оси валков осуществляется посредством передвижения подушек; регулировка вперед и назад в горизонтальной плоскости достигается при помощи прокладок или клиньев, вставляемых в зазор между подушками и боковыми вкладышами.

Рациональный способ и быстрота перевалки (смены) валков играют решающую роль в работе прокатного цеха в смысле производительности, так как каждая перевалка отнимает довольно большое количество времени. При большом сортаменте продукции и производительности современных прокатных станков обращается серьезное внимание на обеспечение быстрой смены валков.

Перевалка может производиться следующими основными способами:

- 1) при помощи обычных мостовых кранов;
- 2) кранами со специальными приспособлениями;
- 3) специальными тележками;
- 4) сборочными рамами;
- 5) посредством смены целой клетки.

Первый способ нельзя признать рациональным, так как даже при достаточной квалификации обслуживающего персонала требует большого количества времени.

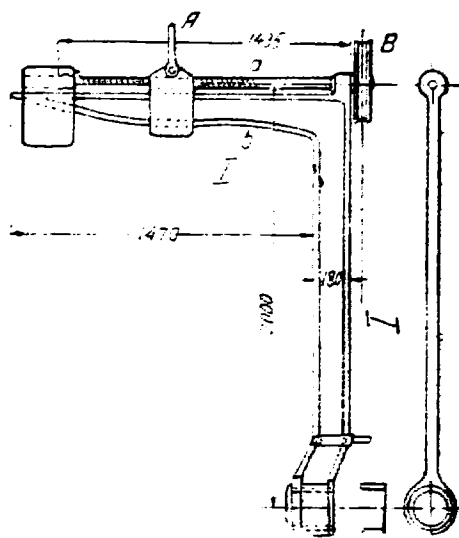
Несколько облегчается перевалка кранами с применением особых приспособлений. На фиг. 321 показано приспособление, подвешиваемое к крюку крана при помощи блока В. Вертикальная штанга внизу имеет отверстие, которым надевается на трезв валка. Для уравнивания веса валка устроен горизонтальный рычаг А с противовесом, имеющим возможность передвигаться для достижения равновесия.

При помощи такого приспособления валок вынимается из клетки в сторону через просвет станины.

Третий способ широко развит в применении к станам тяжелого типа. На фиг. 322 изображена тележка для смены валков советского блуминга оригинальной конструкции. Она состоит из двух пар неравноплечих рычагов, точками опоры которых служат оси колес тележки. Посредние рычаги шарнирно соединены и несут на себе постель для валка, установленного на рессоре. К свободным концам рычагов укреплены захваты для нижнего валка.

Принцип работы тележки заключается в следующем. При максимальном подъеме верхнего валка тележка вкатывается в клеть блуминга через просвет станины по специальным рельсам. В свободном положении рычаги имеют несколько горбатый вид. Предварительно при помощи специальных штырей, закладываемых в отверстие нижней подушки, к свободным концам рычагов подвешивается нижний валок, затем опускают на тележку при помощи нажимного приспособления верхний валок.

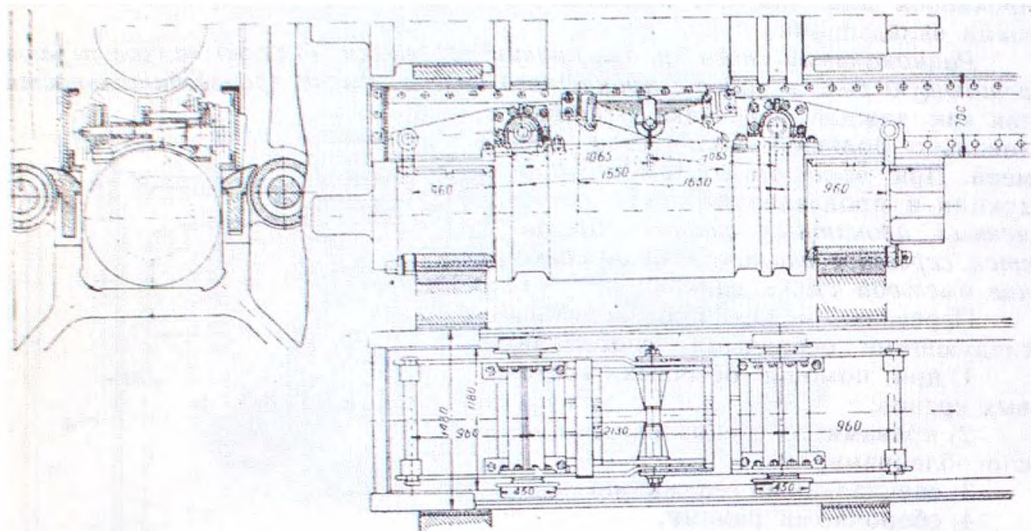
Под действием веса верхнего валка рычаги поворачиваются вокруг своих опор и подтягивают нижний валок вместе с подушками. Габариты



Фиг. 321. Приспособление для перевалки краном.

нагруженной тележки позволяют выкатить ее из клетки блуминга в сторону. Затем мостовым краном снимают верхний валок, а нижний опускается на пол.

*Смена валков при помощи сборочной рамы значительно облегчает перевалку клеток сортовых станов; в этом случае (фиг. 257 и 258) станины, выполненные в виде обоймы (собранные отдельно валки с подушками в специальной раме, переносятся краном и двигаются сверху в направляющие станины.*



Фиг. 322. Тележка для смены валков в советском блуминге.

В настоящее время применяется еще более быстрый способ перевалки сортовых станов — именно *смена клеток целиком*. Запасные клетки собираются отдельно специальной бригадой, а затем краном снимается отработанная клетка, а на ее место ставится запасная в совершенно собранном виде. Последний способ, как показал опыт наших заводов (завод имени Дзержинского, Краматорский) наиболее рационален.

## § 64. Вспомогательные механизмы прокатных станов

Одним из главных факторов, влияющих на производительность прокатного цеха и условия работы обслуживающего персонала, является *механизация отдельных звеньев технологического процесса производства*. Обрабатываемый продукт, начиная от сталеплавильного цеха до склада готовой продукции, проделывает огромный путь, подвергаясь целому ряду самых различных производственных операций: нагреву, прокатке, обрезке, плавке и отделке.

Прокатные цеха обычно занимают по специфичности производства большую территорию, причем всегда вытянуты в длину, производственный поток должен проходить плавно, без задержки, а поэтому темпы отдельных операций обработки и транспортировки металла должны быть строго согласованы во времени. При этом все промежуточные манипуляции с обрабатываемым продуктом должны быть подчинены производственным возможностям основных агрегатов цеха.

Выбор типов вспомогательного оборудования, его производительности и предела урегулировки представляет важную и сложную задачу. При опрметчивом решении этого вопроса неизбежно получаются так называемые *узкие места*, которые даже на второстепенных участках могут привести к простоям основного прокатного оборудования, а, следовательно, не позволят использовать полностью производственные возможности цеха.

При проектировании цеха выбор типов и их характеристик вспомогательного оборудования весь технологический процесс изображают графически во времени (фиг. 190 и 191). Такие графики, отличаясь наглядностью, позволяют, проанализировав процесс производства на основе опыта работы существующих установок, правильно подойти к выбору типа и назначению рабочих скоростей отдельных механизмов.

Вспомогательные механизмы прокатного цеха по характеру выполняемой работы можно подразделить на такие основные типы:

1) механизмы, обслуживающие непосредственно прокатку:

- а) рабочие рольганги;
- б) шлеппера;
- в) опрокидыватели, кантовальные аппараты и манипуляторы;
- г) подъемные столы и пр.;

2) уборочные механизмы:

- а) транспортные рольганги,
- б) стелюги (холодильники),
- в) транспортеры, элеваторы, краны, электровозы;

3) отделочные и режущие механизмы:

- а) ножницы и пресса,
- б) пилы,
- в) правильные устройства
- г) фрезерные и сверлильные станки и т. п.;

4) механизмы, обслуживающие нагревательные устройства:

- а) толкатели,
- б) кантователи,
- в) механизмы для передвижения или снятия крышек нагревательных колодцев,
- г) краны Тиглера, краны стрипперные,
- д) вентиляторы и т. п.

Как видно из этого далеко неполного перечня существующего оборудования, в прокатном производстве находит применение чрезвычайно большое количество разнообразнейших конструкций, но все же нужно признать что многие механизмы по характеру выполняемой работы и конструкции довольно сходны между собой. Бросается в глаза значительное распространение подъемно-транспортного оборудования. Здесь мы кратко коснемся лишь некоторых механизмов первых трех типов.

## § 65. Механизмы, обслуживающие непосредственно прокатку

**Рольганги.** Рольганги, или роликовые транспортеры, служат для перемещения обрабатываемого продукта. По характеру работы различают *рольганги рабочие и транспортные*: первые непосредственно обслуживают стан, а вторые транспортируют металл от одного агрегата цеха к другому.

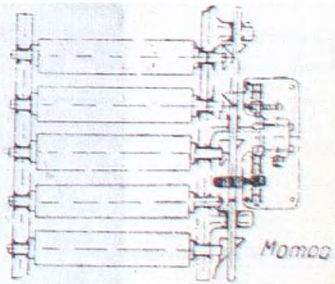
Рольганг состоит из а) роликов, б) рам с подшипниками, в) передачи от двигателя к роликам, г) двигателя и д) мастила из плит, закрывающего пространство между роликами.

Размеры роликов и расстояние между ними зависят от характера (главным образом поперечного сечения) перемещаемых штук, а, следовательно, от типа обслуживаемого стана. Ролики рольгангов могут приводиться в движение следующими способами:

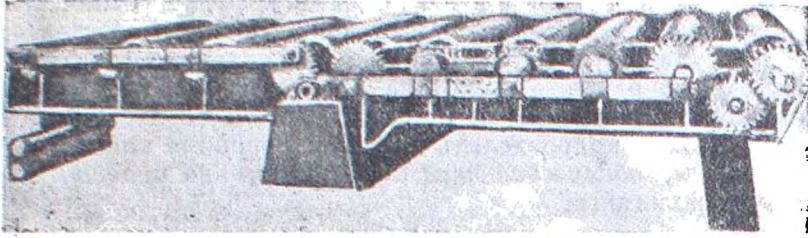
- 1) конической зубчатой передачей (фиг. 323);
- 2) кривошипной-шатунной передачей (фиг. 324);
- 3) цилиндрической передачей с паразитными шестернями (фиг. 325),
- 4) канатной или ременной передачей (фиг. 326);
- 5) отдельными моторами у каждого ролика (фиг. 327).

Кроме того, каждый ролик сам по себе является ротором электромотора (фиг. 328).

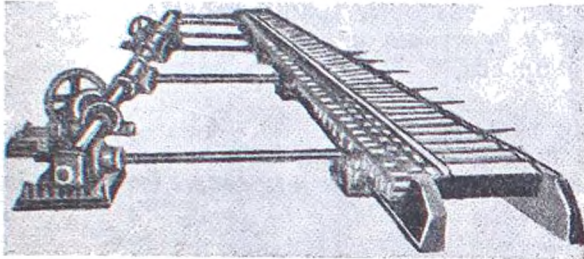
Наиболее распространен первый тип передачи; второй и третий в настоящее время почти не употребляются; четвертый применяется исключительно для легких типов рольгангов. Индивидуальный привод роликов, несмотря на большие первоначальные затраты, оправдывается



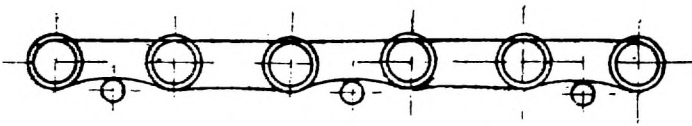
Фиг. 323. Коническая зубчатая передача.



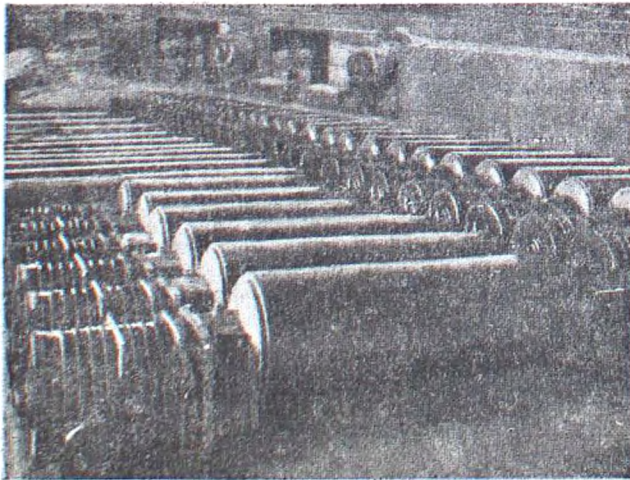
Фиг. 324. Кривошипно-шатунная передача.



Фиг. 325. Цилиндрическая передача.



Фиг. 326. Канатная передача.

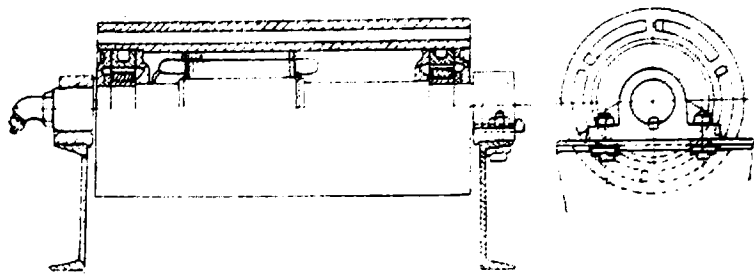


Фиг. 327. Отдельные моторы у каждого ролика.

простотой конструкции, хорошей регулировкой и высоким коэффициентом полезного действия всей установки.

Особенно трудные условия работы рабочих рольгангов имеют место при тяжелых реверсивных ставах. Помимо ударов, испытываемых роликами в работе, двигатель рольганга должен в течение небольших промежутков времени развивать скорость от нуля до максимума, преодолевая инерцию масс вращающихся частей.

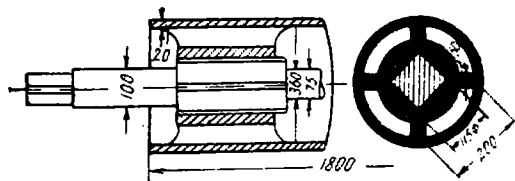
Транспортные рольганги при большой длине обычно разбиваются на секции с самостоятельными двигателями.



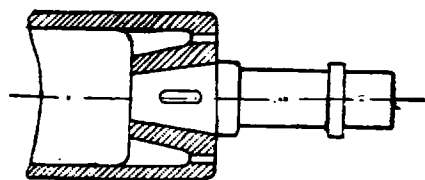
Фиг. 328. Ролик, являющийся ротором электродвигателя.

В конической передаче роликов неизбежно получается большое осевое усилие, для восприятия которого на общем трансмиссионном валу устанавливают упорные подшипники. Ролики рольгангов изготавливаются, в зависимости от условий работы, из чугуна, литой или ковальной стали. Особенно большие удары испытывают передние ролики рабочих рольгангов, которые зачастую делают сплошными коваными. Конструкции роликов представлены на фиг. 329, 330, 331.

Подвесные желоба и карманы. При прокатке сортового металла как небольших сечений (проволока, мелкосортное железо), так и крупных профилей (рельсы, балки, швеллера)



Фиг. 329. Ролик рольганга.



Фиг. 330. Ролик рольганга.

длина изделия может достигать значительной величины; если при этом укладывают штуку на пол цеха, то потребуются слишком большая площадь. Поэтому этот вопрос разрешается таким образом: в промежутках между пропусками только небольшая часть длины штуки перемещается по рольгангам или плитам цеха, остальная же металл движется либо под полом по специальным карманам—в условиях прокатки мелких профилей петлевым способом—либо под полом по наклонным желобам: при прокатке крупных профилей.

Длина кармана должна обеспечивать размещение в нем максимально-длинной петли, получающейся между двумя соседними клетями. Длина же желоба рассчитывается на случай прокатки наименьших номеров принятого сортамента и слитков наибольшего веса.

На фиг. 332 изображено сечение кармана, а на фиг. 333—подвесной желоб с целым рядом холостых роликов. Входная часть желоба значительно уширена, а иногда может приподниматься для пропускания готового изделия к окончательным операциям (к пилам, ножницам и правильным устройствам).

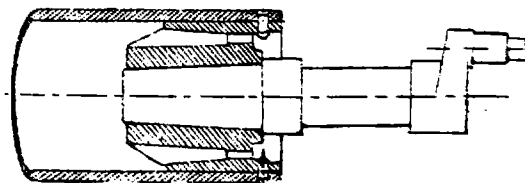
Шлеппера. По ходу процесса прокатки или уборки металла часто требуются не только продольные перемещения (например по рольгангам), но и поперечные, т. е. параллельно к направлению прокатки.

Наиболее распространенным механическим приспособлением для этой цели являются так называемые шлеппера.

Основными рабочими органами шлеппера служат пальцы (кулаки), установленные строго по прямой линии; захватывая штуку, они передвигают ее по настилу.

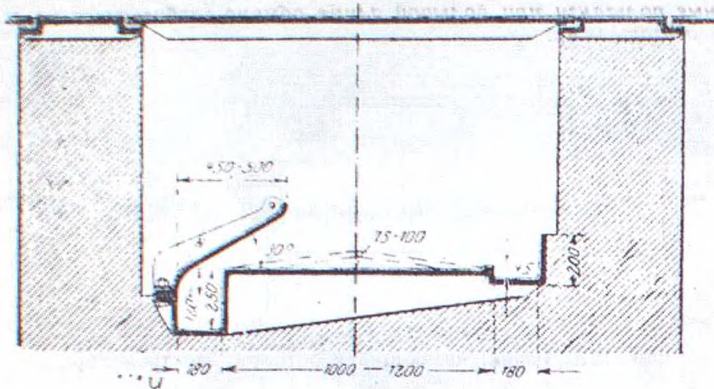
Пальцы установлены в тележках и (фиг. 334), которые передвигаются на роликах по специально направляющим, состоящих из двух балок или швеллеров.

Для того, чтобы иметь возможность работать в обоих направлениях, а также передвигать тележки шлеппера под металлом, не захватывая последний, пальцы делают подвижными.



Фиг. 331. Ролик рольганга.

Тележка, изображенная на фиг. 334, несет на себе подвижной качающийся палец *b* с противовесом *g*, служащим для автоматического поворота пальца в вертикальное положение. Палец имеет возможность перемещать металл в одном или в другом направлении в зависимости от того, какой из двух храповиков *л* заложен.



Фиг. 332. Сечение кармана.

Существуют и другие конструкции тележки, в которых пальцы поднимаются или опускаются обычно вместе с направляющими, как показано, например, на фиг. 335.

Каждая из тележек шлепперов связана с приводом при помощи канатов или цепей.



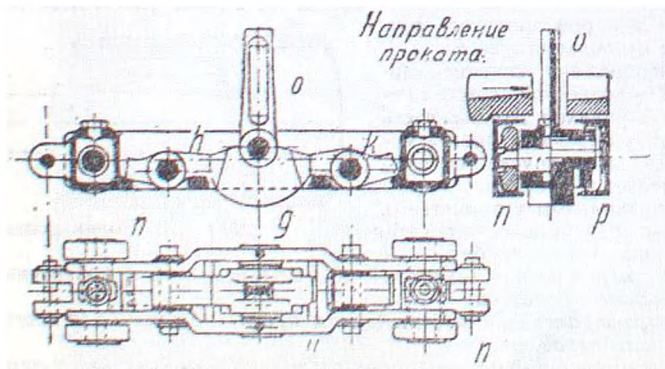
Фиг. 333. Подвесной желоб.

Как видно из фиг. 336, канат огибает два шкива (блока), причем один из них соединяется при помощи редуктора с мотором.

Для достижения постоянного натяжения канатов служит противовес, связанный с одним из рычагов шарнирно установленной станины блока. В целях устранения провисания нижнего каната последний поддерживается направляющим роликом.

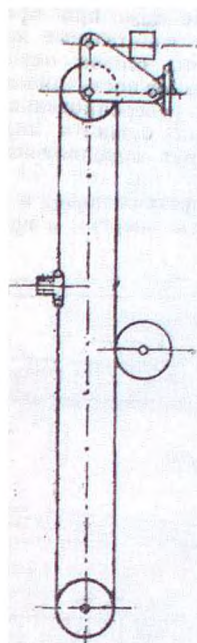
Подъемные приспособления для обслуживания трио-станов. Как было выяснено выше, при прокатке в станах трио металл необходимо передавать из нижней пары валков в верхнюю. Выполнение этой операции ручным способом непроизводительно, а в тяжелых станах совершенно невозможно.

Для этой цели в станах старой конструкции применяются довольно простые механизмы, так называемые крышевые подъемы, а в новых конструкциях—подъемные или качающиеся столы.

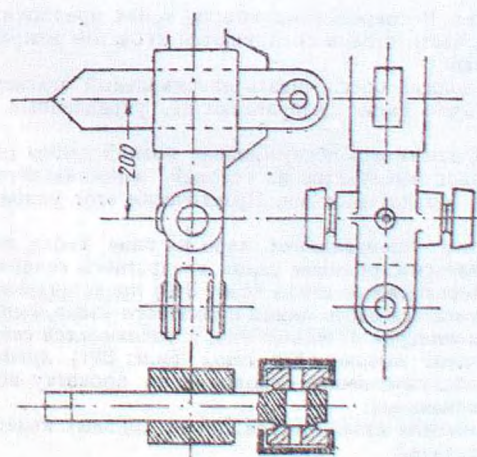


Фиг. 334. Шлеппер.

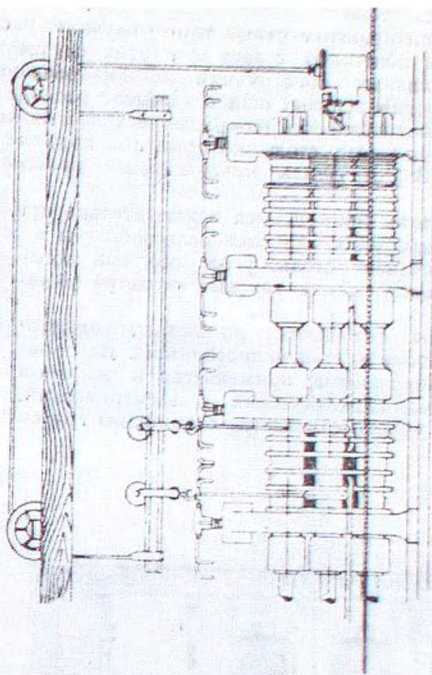
На фиг. 337 изображена конструкция крышевого подъема, состоящая из рельсов, подвешенных параллельно линии стана к стропилам крыши цеха, могущим подниматься и опускаться при помощи парового или гидравлического цилиндра, расположенного внизу у стана.



Фиг. 336. Привод тележки шлепера от каната.



Фиг. 335. Тележка с перемещающимися пальцами.



Фиг. 337. Крышовой подъем.



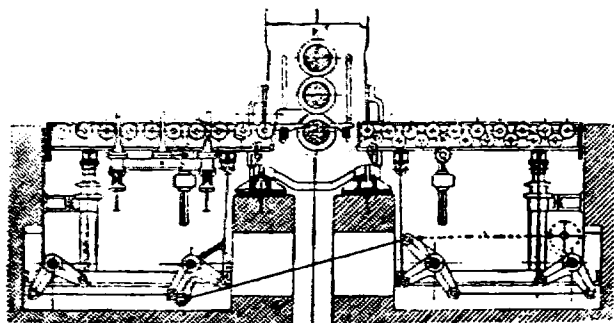
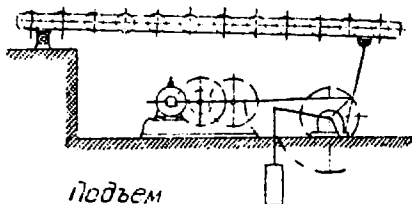
По рельсам на специальных роликах с обоями подвешены крючки, при помощи которых вальцовщики и приподнимают передний конец штуки для задачи в клеть. Работа при помощи такого крышевого подъема требует больших затрат мускульных сил, поэтому в новых цехах отказываются даже от усовершенствованных электрических крышевых подъемов и для обслуживания прокатки тяжелых трио-станов применяют исключительно подъемные или качающиеся столы.

В американской практике станы трио получили распространение даже при прокатке крупных слитков в обжимных станах и в этих случаях — огромные капитальные затраты на устройство сочлененных конструкций механизированных подъемных столов окупаются преимуществами веревочных станков в смысле расхода энергии (возможность применения маховика) и производительность (сокращение холостых ходов за счет реверсирования).

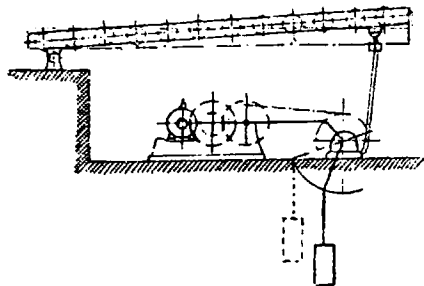
Различают подъемные столы, которые при подъеме и опускании остаются *горизонтальными* (фиг. 338), и *столы качающиеся* — вращающиеся вокруг неподвижной оси (фиг. 339).

Подъемные столы применяются исключительно при прокатке коротких полос; в случае же прокатки длинных полос наиболее целесообразны в смысле затраты энергии и простоты конструкции качающиеся столы, угол подъема которых при значительной длине таковых остается минимальным.

Стол обычно снабжается *роликами, которые могут быть приводными или не приводными*. Для приведения в движение столов применяется в основном два рода приводов: гидравлический и электрический. Вес стола обычно уравнивается с помощью груза



Фиг. 338. Подъемный горизонтальный стол.



Фиг. 339. Качающийся стол.

или гидравлического устройства. В современных конструкциях предпочитают электрический привод, с которым подвижные части столов соединяются зубчатой или червячной передачей с системой кривошипов и штанг.

Скорость работы столов должна обеспечивать максимальный подъем в течение паузы между пропусканиями. Столы обычно имеют направляющие, укрепленные к станинам клетки (фиг. 338).

Ширина стола должна обеспечивать обслуживание полной длины рабочей поверхности вальцов, длина качающихся столов выбирается из условий минимального уклона, необходимого для нормального захвата металла вальцами. Практически этот уклон не должен превышать 1:10 или 1:12.

Мотор для приводов ролика устанавливают либо на раме стола, либо на фундаменте, в последнем случае он связывается с роликом валом квадратного сечения.

**Передвижные столы.** Передвижные столы (фиг. 340) представляют собой рольганги, имеющие возможность передвигаться вдоль линии прокатного стана, выполняя таким образом функции рольгангов и шлепперов в станах дуо, и качающихся столов в станах трио.

Таким образом *перевозимый качающийся стол* (фиг. 341) представляет наиболее универсальное устройство, обслуживающее одновременно прокатку всей линии стана, совмещая в себе три основных механизма:

- 1) механизм для передвижения стола, состоящий из ходовых колес, оси которых связаны с мотором зубчатой передачей.
- 2) механизм для привода роликов — обычная конструкция рабочего рольганга;
- 3) механизм для подъема и опускания рамы рольганга — собственно-качающийся стол, собственный вес качающейся рамы уравнивается при помощи гидравлики.

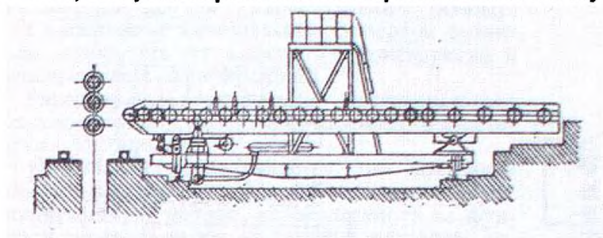
Некоторые тяжелые конструкции передвижных столов снабжаются *механическим кантовальным аппаратом*. Управление всеми операциями стола сосредоточено на специальной площадке, установленной на нижней раме.

Особенно уместно применение передвижных столов при американском расположении цеха, т. е. тогда, когда все клетки, рольганги и прочие механизмы приподняты над уровнем заводского пола.

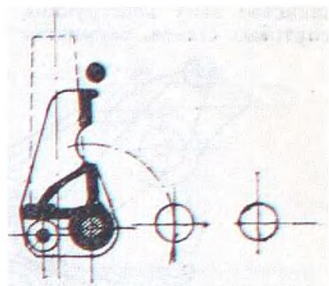
Передвижные столы обеспечивают быструю и точную задачу полосы в валки, что всегда дают шлеппера. Кроме того, значительно сокращается вес вращающихся частей рольгангов, так как ролики стола значительно короче обычных рабочих рольгангов. В зависимости от числа обслуживаемых клетей и производительности стана с передней и задней стороны устанавливаются по одному или по два передвижных стола.

**Опрокидыватели.** При нагреве тяжелых слитков в колودцах операцию приведения слитка из вертикального положения в горизонтальное выполняют специальные механизмы, называемые *опрокидывателями*. Так как прокатка тяжелых слитков ведется в блумингах и слябингах, то как правило каждый из них снабжается опрокидывателем.

В старых конструкциях блумингов наиболее распространен опрокидыватель, показанный на фиг. 341, который устанавливается в начале подводящего рольганга. Слиток, захваченный краном из колодцев, транспортируется к опрокидывателю и ставится на стул, при повороте которого ложится горизонтально на первые ролики рольганга. Поворотный механизм стула



Фиг. 340. Передвижной стол.

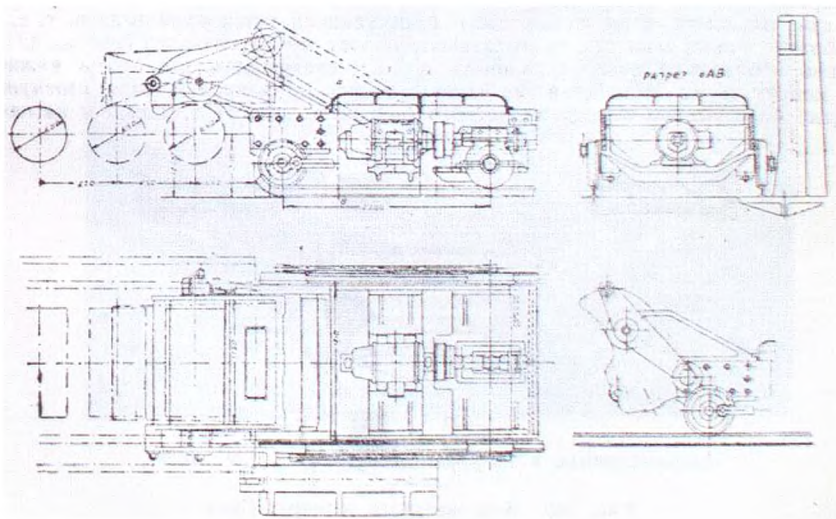


Фиг. 341. Опрокидыватель.

состоит из зубчатого сектора, насаженного на ось, и зубчатой рейки, соединенной с плунжером горизонтального гидравлического цилиндра.

Современные блуминги и слябинги снабжаются электрическими опрокидывателями. Советские блуминги обслуживаются механизмом, совмещающим транспортировку слитков от колодцев к подводящему рольгангу и опрокидывание.

Такой механизм или так называемая *тележка-опрокидыватель* показана на фиг. 342. Он состоит из стальной рамы на колесах, приводимой в движение электромотором посредством червячной передачи, действующей на заднюю ось. В передней части тележки



Фиг. 342. Тележка-опрокидыватель.

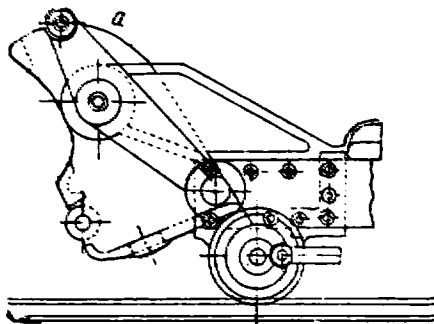
укреплен *люлька a* (фиг. 343), в которой помещается слиток. Эта люлька в обычном положении, как со слитком, так и без слитка сбалансирована таким образом, что находится в слегка наклонном положении.

Приняв болванку, тележка подходит в рольгангу. Двуплечий рычаг люльки заходит своим роликом в специальный прорез направляющей, установленный у рольганга. При дальнейшем движении тележки рычаг постепенно поворачивается и вращает люльку до положения, представленного на фиг. 342, когда слиток пришел в соприкосновение с двумя роликами рольганга. При возвращении тележки к колодцам люлька принимает первоначальное положение.

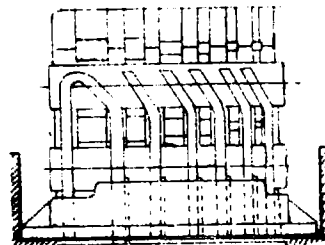
**Кантовальные аппараты и манипуляторы.** По ходу процесса прокатки, для получения готового профиля заданных размеров совершенно необходимо производить обжатие в большинстве случаев в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Если это сравнительно легко при прокатке легких сортов металла и не требует большой затраты физической силы даже при старом ручном способе работы, то при прокатке тяжелых слитков — рациональность механического кантования и прочих необходимых манипуляций в большой степени решает вопрос о производительности стана.

Производительность современных блюмингов и слябннгов, достигающая 1 млн. т слитков в год в значительной мере обязана совершенству устройств для кантования прокатываемых слитков.

В прокатной технике известен целый ряд довольно разнообразных конструкций устройств для кантования или так называемых кантовальных аппаратов. Преобладающее большинство этих конструкций относится к станам тяжелого типа, как то обжимным клетям сортовых станом, блюмингам и слябннгам.



Фиг. 343. Люлька тележки-спрокидывателя.

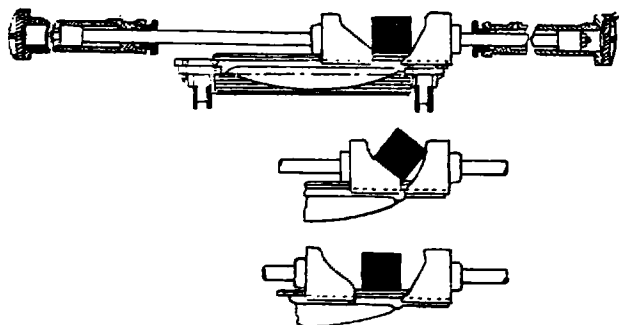


Фиг. 344. Автоматический кантовальный аппарат.

Рассмотрим наиболее характерные конструкции кантовальных устройств, получившие наибольшее распространение.

В обжимных клетях трио сортовых станом находят большое применение *автоматические кантовальные аппараты* (фиг. 344), отвечающие прокатке в системе плоских (прямоугольных) калибров.

Так как эти клетки относятся к типу с постоянной установкой валков, т. е. каждый калибр работает только один раз, то выходящую полосу прямоугольного сечения из верхней пары валков необходимо точно установить по оси следующего калибра в нижней паре валков и повернуть на 90°. Такая задача разрешается применением ряда *изогнутых направляющих*; болванка по выходе из четного (верхнего) пропускa, попадает на наклонную



Фиг. 345. Кантовальный аппарат Грея.

поверхность и при падении под влиянием собственного веса кантуется и самоустанавливается против следующего нечетного (нижнего) ручья. Эта конструкция чрезвычайно проста и не требует никакой затраты энергии.

При кантовании тяжелых слитков в случае прокатки в станом дуо вопрос решается значительно сложнее. В старых конструкциях кантование и передвижение слитка вдоль вала от одного ручья к другому выполняются одним и тем же устройством, тогда как в новых передвижение и управление полосы производится специальными манипуляторами. Наиболее простая старая конструкция представлена на фиг. 345 и носит название *кантовального аппарата Грея*. Этот аппарат состоит из двух наклонных щек, могущих перемещаться в горизонтальном направлении при помощи гидравлики. На фигуре представлены три

последовательные стадии кантования. Правая наклонная плоскость надвигает шадлежащий на роликах слиток на левую косую щеку, по достижении положений второго отодвигается назад, и болванка под влиянием собственного веса опускается на ролики, но уже другой соседней гранью.

Такой метод кантования не всегда надежен, передвижение от ручья к ручью затруднено, так как полоса имеет незначительную поверхность соприкосновения с кантующими щеками.

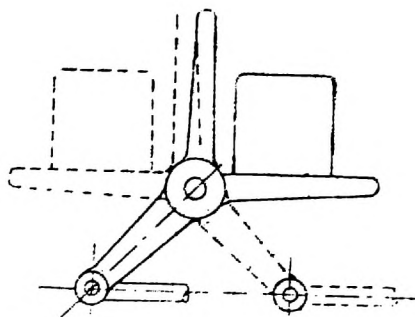
Другая старая распространенная конструкция схематически представлена на фиг. 346. Здесь слиток ложится на рычаги нескольких (3—4) шарнирно установленных угольников; при повороте угольника на  $90^\circ$ , слиток перекалывается на другие перпендикулярно установленные рычаги. Поворот угольников совершается при помощи гидравлического цилиндра. Для передвижения болванки имеется другой гидравлический цилиндр.

Современные кантовальные аппараты значительно отличаются от описанных конструкций и полностью электрифицированы.

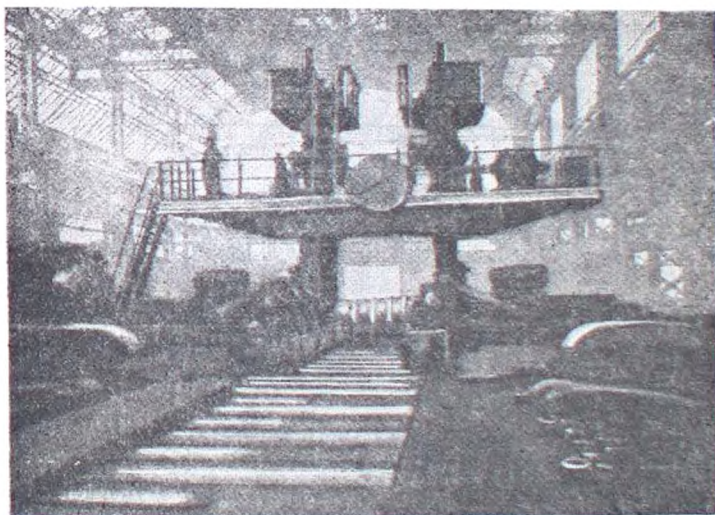
Рассмотрим конструкцию кантовального аппарата (манипулятора), примененную для советских блумингов.

Кантование осуществляется при помощи 4 кантовальных крюков (фиг. 347). Движение крюка передается от мотора, установленного на фундаменте через редуктор, последняя шестерня которого делает один оборот за весь период кантования (около  $2\frac{1}{2}$  сек.).

Все четыре крюка шарнирно соединены при помощи рычагов с общим валом, установленным в верхней части подвижной линейки манипулятора. Передача движения от мотора и редуктора к крюкам должна предусматривать то обстоятельство, что мотор и редуктор статически установлены на фундаменте, а крючья передвигаются параллельно оси валков вместе с линейками манипулятора.



Фиг. 346. Кантовальный аппарат в виде угольника.



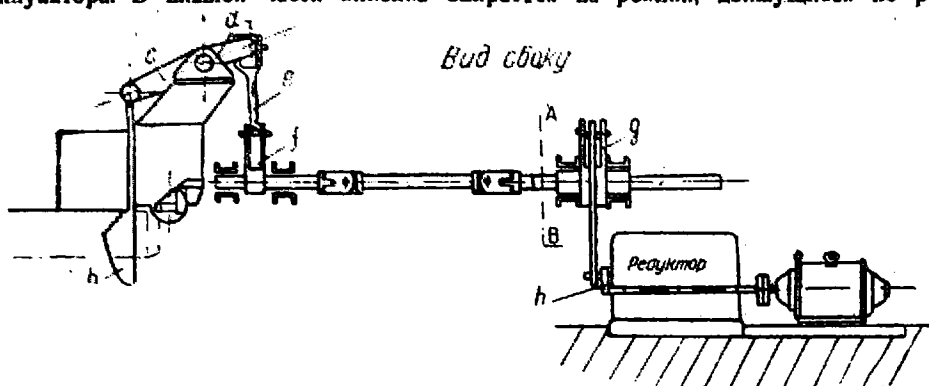
Фиг. 347. Современный блуминг с манипулятором.

Как показано на фиг. 348, кривошип *a* приводит при помощи шатуна в качательное движение рычаг *g*, насаженный на горизонтальный вал *d*, который при своем движении с помощью вильчатого шатуна *e* вращает рычаг *d* вала *u*, одновременно поднимая или опускавая кантовальные крюки *b*.

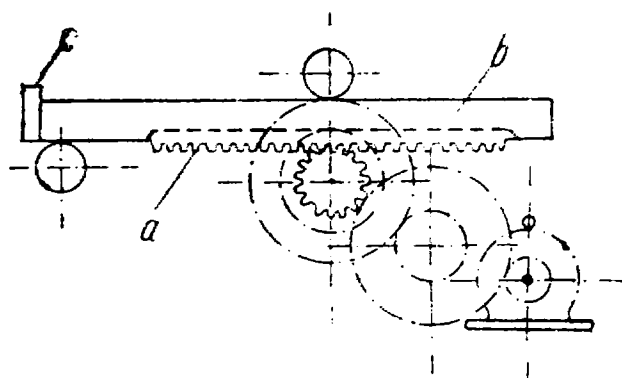
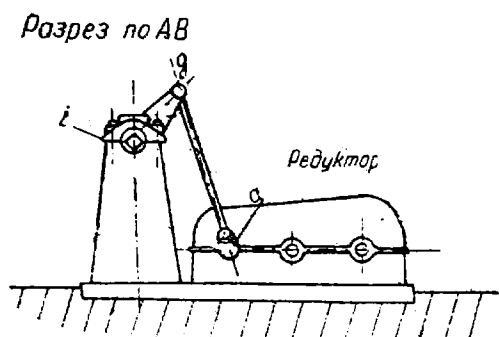
Вал *d* состоит из трех частей: первая у линейки манипулятора, вторая — средняя в виде шпинделя, соединенного при помощи шарниров Гука с первой и третьей частью, и третья, равная по длине ходу линейки, сделана квадратной, что обеспечивает постоянное соединение рабочей части аппарата с мотором в любом положении линейки манипулятора.

Подвижные линейки манипулятора (фиг. 349) по две с каждой стороны предназначены для направления полосы в нужный калибр, а также выпрямления ее при выходе из валков. Линейки приводятся в действие от мотора через редуктор, последняя пара шестерен которого находится в зацеплении с двумя зубчатыми рейками *a*, из кованной

стали, соединенными с кареткой *b* манипулятора. К подвижной каретке крепится ливейка манипулятора. В нижней части ливейка опирается на ролики, движущиеся по рельсам.



Фиг. 348. Схема кантовального аппарата.



Фиг. 349а. Схема кантовального аппарата. Ливейка.

При обратном ходе в предельном крайнем положении каретка упирается в буфера (*c*). Манипулятор с кантовальным аппаратом представляет самую тяжелую часть блюминга (около 400 т).

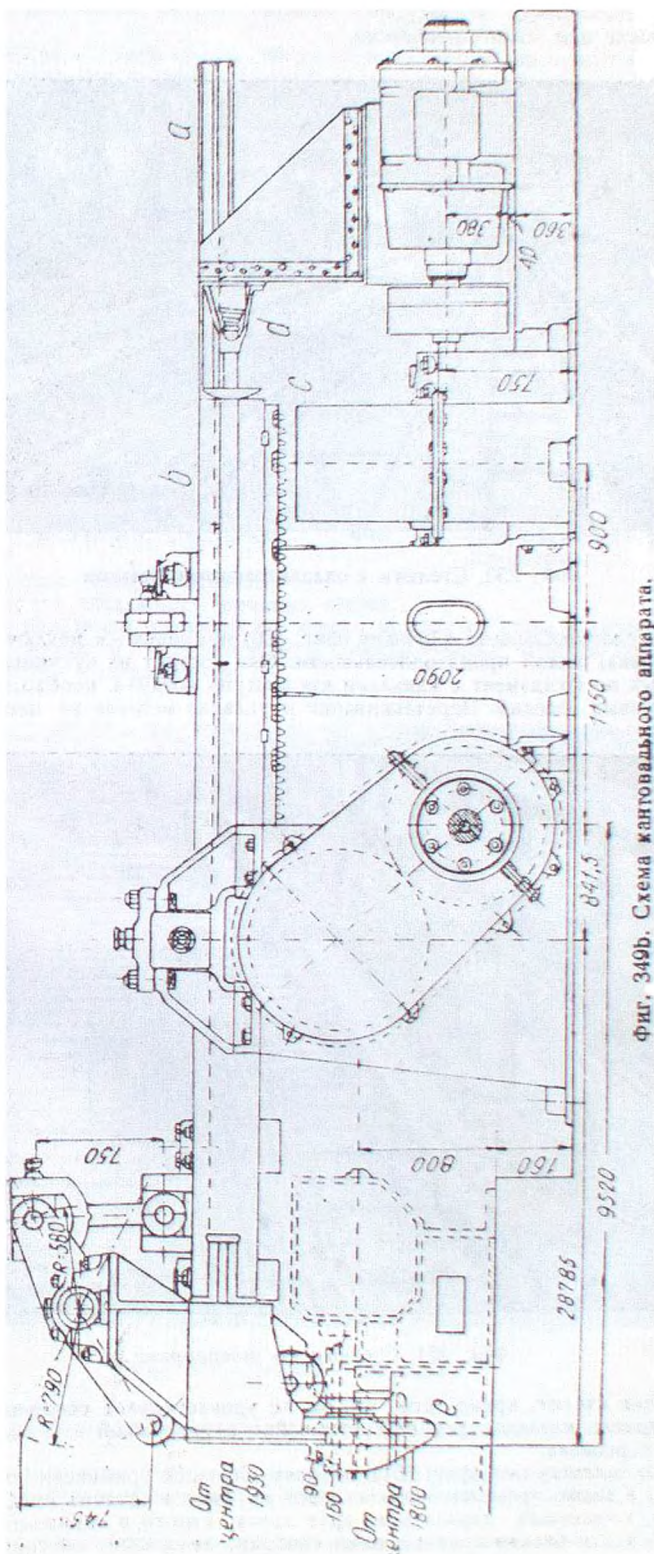
## § 66. Уборочные механизмы

Совершенная конструкция и механизация основных агрегатов прокатного цеха еще не обуславливают нормальной работы и производительности без правильно организованной уборки готовой продукции; этому звену технологического процесса уделяется серьезное внимание в современном прокатном производстве.

В качестве уборочных приспособлений довольно часто используют выше рассмотренное вспомогательное оборудование, как то: рольганги, шлеппера. Но, кроме собственной транспортировки готовой продукции от стана на склад и в отделочные мастерские, необходимо металл охладить, а зачастую одновременно выправить в горячем состоянии.

Уборочные приспособления, служащие для охлаждения и правки готовой продукции носят название *стелюг (стеллажей)* или *холодильников*.

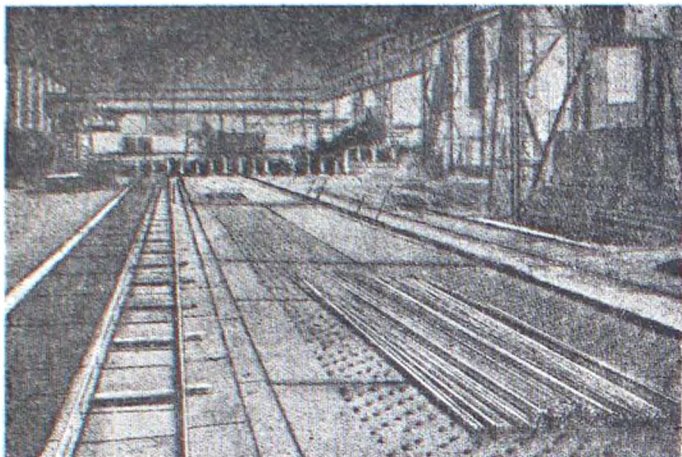
Стелюги, играющие роль промежуточных складов в отделочных мастерских и при приемке готовой продукции, называются *холодными стелюгами*.



Фиг. 349б. Схема кантовального аппарата.

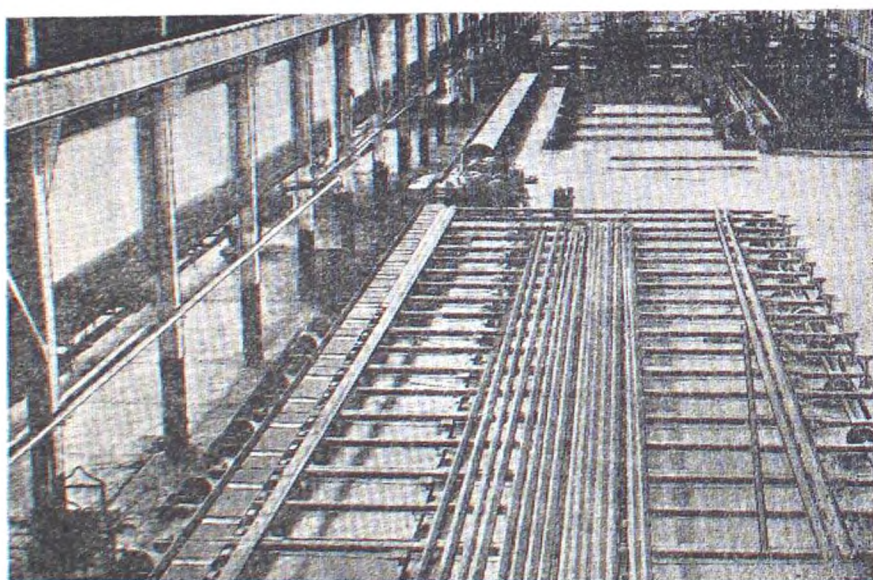
В практике встречается четыре основных типа стелюг:

- 1) с охлаждаемыми плитами,
- 2) со шлеперами,
- 3) с кранами,
- 4) механические или автоматические.



Фиг. 350. Стелюги с охлаждаемыми плитами.

*Стелюги с охлаждаемыми плитами* (фиг. 350) применяются исключительно в старых прокатных установках малой производительности. Они состоят из чугунных плит с отверстиями, уложенных на фундамент с каналами для доступа воздуха, необходимого в целях охлаждения прокатанных изделий. Перетаскивание и укладка металла на плитах производится



Фиг. 351. Стелюги со шлеперами.

*ручную.* Этот тип стелюг, кроме того, что он не удовлетворяет основным задачам уборки, охлаждения и правки металла, требует чрезвычайной напряженной и тяжелой работы от обслуживающего персонала.

*Стелюги со шлеперами* (фиг. 351), находят большое применение при обслуживании уборки, правки, а также промежуточных складов крупных и средних профилей. Они состоят из ряда рельсов, уложенных параллельно друг другу строго в горизонтальной плоскости. Рельсы укрепляются к балкам специальными скобами, зажимами, обеспечивающими удлинение рельсов при нагревании. Между рельсами помещены направляющие для тележек

шлепперов (фиг. 352). Передвижение металла по рельсам выполняется пальцами шлеппера. Иногда стелюги со шлепперами снабжают кантовальными и правильными устройствами, а также вентиляторами для охлаждения.

С двух противоположных сторон стелюги оборудованы *подводящим и отводящим рольгангами*.

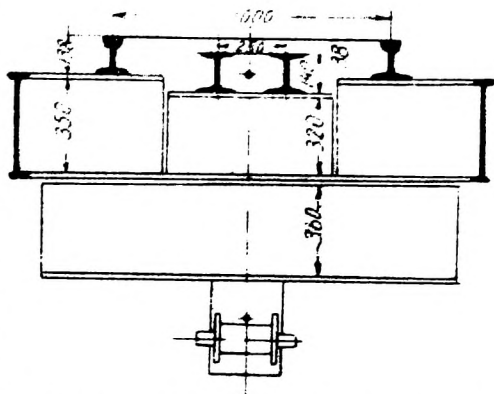
**Стелюги с кранами.** В этом случае, когда стелюги служат промежуточными складами в отделочных мастерских или складами готовой продукции, для уборки и сортировки металла довольно часто применяют *мосты на магнитные краны* либо *краны со специальными захватами* (фиг. 353).

**Механические, автоматические стелюги.** Особенно важную, но трудную задачу представляет уборка, охлаждение и правка мелких и средних сортов проката. Помимо того, что металл небольших поперечных сечений в значительной степени подвержен искривлениям по длине, последние клетки мелкосортных станов работают с довольно большими скоростями, в условиях которых ранее описанные методы уборки становятся совершенно невозможными. Довольно легко справляются с этой задачей механические (автоматические) стелюги.

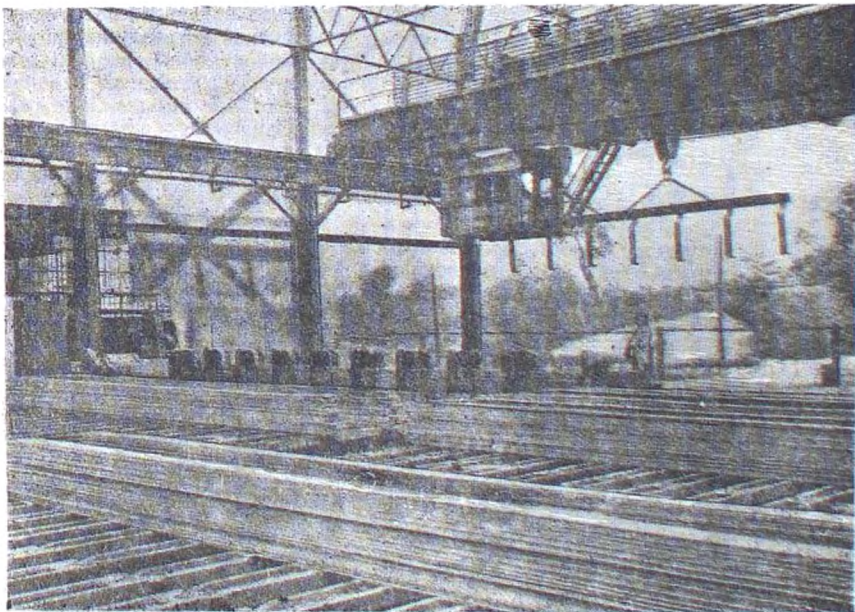
Практика прокатного дела насчитывает чрезвычайно большое количество разнообразнейших конструкций механических стелюг. Каждая фирма, строящая прокатное оборудование, имеет зачастую несколько собственных конструкций стелюг.

В самом общем виде каждая автоматическая стелюга состоит из следующих основных частей:

- 1) *подводящего рольганга*, транспортирующего полосы от стана к стелюгам;
- 2) *собственной стелюги*, по которым полосы автоматически передвигаются (параллельно самим себе), правятся и охлаждаются;



Фиг. 352. Направляющие для тележки шлепперов.



Фиг. 353 Стелюги с кранами.

3) *отводящего рольганга* для уборки остывших полос и отправки в окончательную отделку;

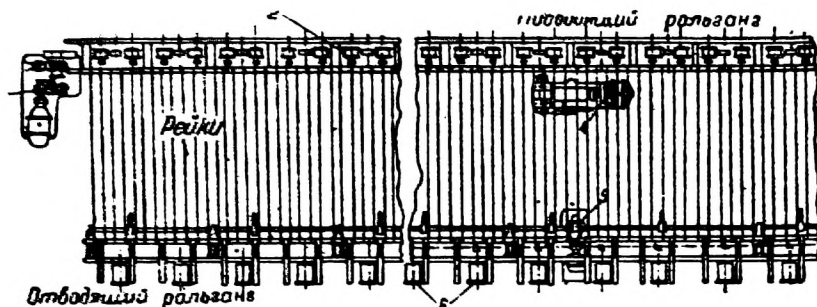
4) *вспомогательных приспособлений*: а) *сбрасователей*, снимающих полосы с подводящего рольганга на стелюги и убирающих со стелюг на отводящий рольганг, б) *правильных приспособлений*.

Рассмотрим одну из наиболее характерных конструкций автоматических стелюг—горизонтальный холодильник Эдвардса, имеющий большое распространение в Америке и Европе.



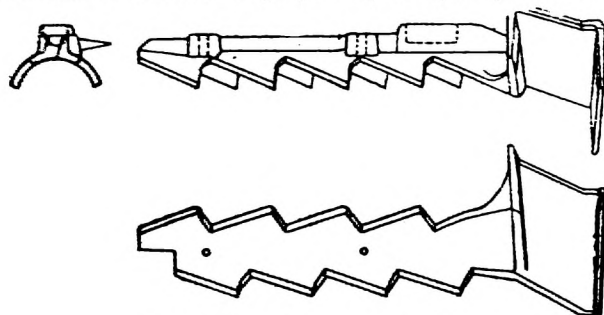
На фиг. 354 представлен общий вид холодильника.

Прокатанная полоса гоступает на подводющий ролик, приводимый в движение ременной передачей с натяжными роликами. При определенном положении на ролик полоса ударяется в автомат, включает жотор, приводящий в движение рейки (сгребки) холодильника, и полоса убирается с ролика на стелюгу. Чтобы понять сущность работы стелюг, необходимо представить себе форму и характер движения реек (сгребней) холодильника.



Фиг. 354. Общий вид холодильника.

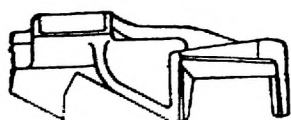
Рейки холодильника уложены параллельно друг другу и перпендикулярно направлению движения полосы по роликангу. Каждая рейка в разрезе представляет полукруглый жолоб (фиг. 355) с зубцами на обоих сторонах. Зубец с одной стороны жолоба расположен напротив впадины (промежутков между зубцами) другой стороны. Впадины реек холодильника в наклонном положении образуют строго прямоугольный жолоб, в котором и помещается прокатанная полоса (фиг. 355).



Фиг. 355. Рейка холодильника.

При качании реек из одного наклонного положения в другое полоса, попадая с впадины на зубец, несколько приподнимается, а затем под влиянием собственного веса падает по наклонным граням зубцов во впадины противоположной стороны реек и тем самым передвигается на небольшое расстояние параллельно самой себе. Одновременно такое же движение продвигают все полосы, лежащие на холодильнике. Такой характер движения полос способствует их выпрямлению.

Для того чтобы уяснить, каким образом полосы попадают с подводящего роликанга во впадины реек, обратимся к фиг. 356. У подводящего роликанга рейка оканчивается плитой коробчатого сечения с вырезами для роликов роликанга. Все плиточки реек образуют жолоб. При повороте реек на некоторый угол полоса с поверхности роликов роликанга попадает на наклонную поверхность, по которой передвигается во впадину под тяжестью собственного веса. В момент автоматического включения привода реек, последние совершают обычно два качания вправо на  $60^\circ$  и влево на такой же угол, так что первые впадины всегда остаются свободными для приема следующей полосы.



Фиг. 356. Жолоб, образуемый рейками.

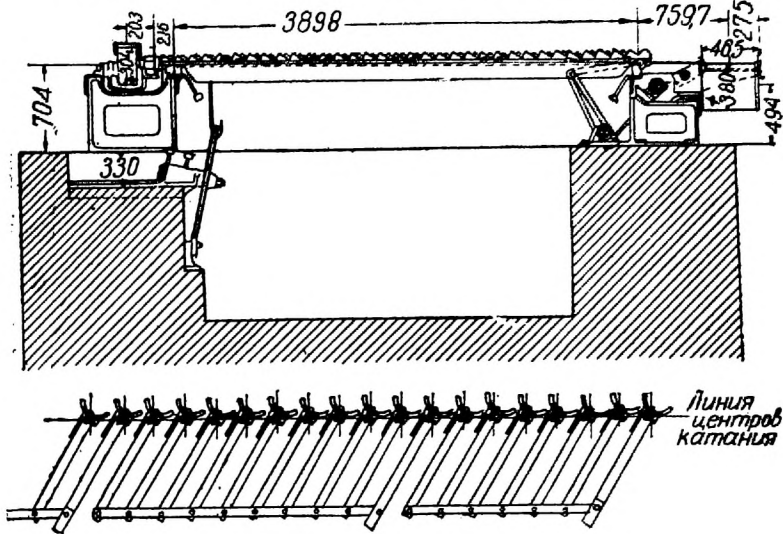


Фиг. 357. Вид механизма для качания реек и вид под холодильником.

На фиг. 357 изображена схема механизма для качания реек. От вала электромотора движение передается червяку. На валу червячного колеса насажен сердцевидный эксцентрик, вмещающий паз по всей кривой эксцентрика, в котором перемещается кулак рычага. Рычаг жестко насажен на короткий вал, на другом конце которого тоже жестко насажен другой рычаг. К свободному концу этого рычага прикреплен стальной проволоочный кабель,

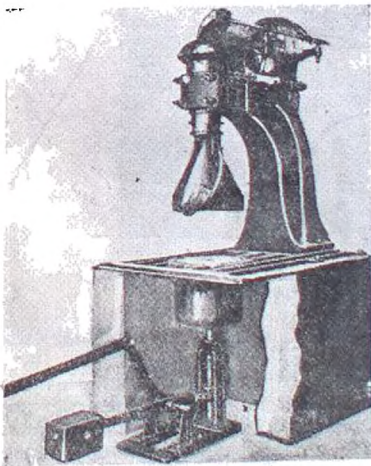
который огибает блок и прикрепляется к двум параллельным полосам, расположенным вдоль холодильника, и, огибая другой блок, возвращается снова к рычагу.

При вращении сердцевидного эксцентрика кулак первого рычага совершает возвратно-поступательное перемещение, что заставляет второй рычаг передвигаться сначала в одну сторону, а потом в другую. Эти движения передаются рейками, как показано на фиг. 358.

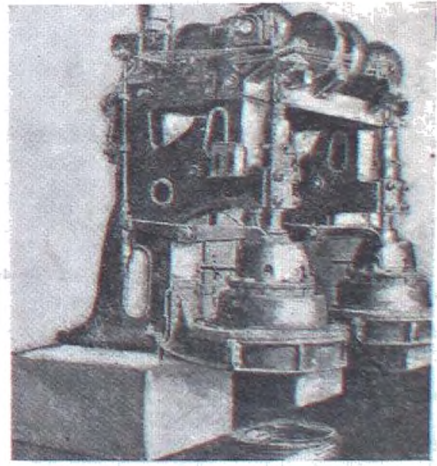


Фиг. 358. Разрез холодильника.

Штуки передвигаются вдоль реек (по ширине стелюг), а затем с концевго зуба сбрасываются на плитки, с которых *сталкивателями* сдвигаются на *отводящий ролик*. Длина стелюг для уборки мелких профилей рассчитывается либо на всю длину выпускаемых полос, либо при небольших сечениях выпускаемых профилей — на длину штук, разрезанных ножницами при входе на стелюги (летучие ножницы).



Фиг. 359. Мотовило Эденборна.



Фиг. 360. Мотовило Гаррета.

Площадь стелюг выбирается в зависимости от сортамента прокатки обслуживаемого стана и производительности.

**Механизация уборки проволоки.** Проволока, обручное железо, а также зачастую и другие мелкие профили в готовом виде убираются от стана в виде мотков.

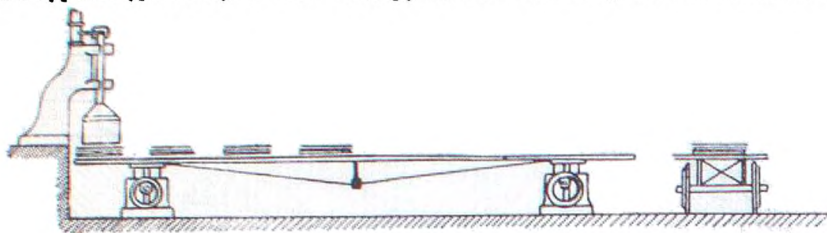
Выходящая из последней клетки (барабана) проволока поступает по трубам на *намоточные приспособления—мотовила*. Число мотовил, обслуживающих стан, обычно соответствует количеству ниток проволоки, одновременно выпускаемых станом.

Для того чтобы достигнуть синхронизма в работе чистовой линии стана и мотовил, последние приводятся в движение от одного и того же привода посредством передачи.

На фиг. 359 представлено *мотовило Эденборна*.

Проволока поступает сверху по каналу оси вращения, переходя затем по трубке на наружную поверхность конуса и, вращаясь, наматывается на барабан. При опускании барабана вниз, моток проволоки освобождается и убирается от мотовил *вручную при помощи крючка*.

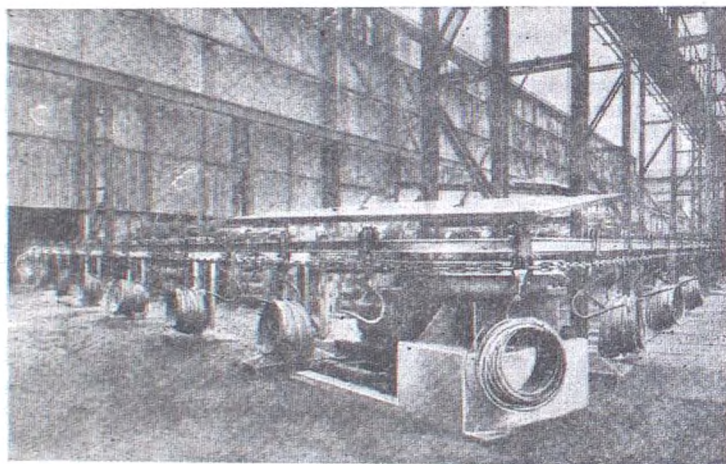
В современных конструкциях проволочных станов большое распространение получили мотовила Гаррета (фиг. 360). У этой конструкции мотовила проволока наматывается между



Фиг. 361. Стелюга для мотков.

двумя барабанами и удерживается от выпадения подвижными рычагами. После намотки *моток падает вниз*, так как удерживающие рычаги могут быть вдвинуты внутрь. Такая конструкция мотовила позволяет довольно просто механизировать уборку готовых мотков. При выпадении из мотовила мотки попадают на *транспортёр, стелюгу или крючок подвесного пути, подается на склад или непосредственно в вагоны, по пути окончательно охлаждаются*.

На фиг. 361 изображена стелюга, состоящая из ряда неподвижных параллельно уложенных рельсов, а в промежутках между ними расположены подвижные рельсы, совершающие



Фиг. 362. Подвесные крючья для уборки мотков.

качательно - поступательные движения от эксцентриков. Мотки проволоки переключаются по неподвижным рельсам при каждом повороте эксцентриков.

На фиг. 362 представлена уборка мотков по подвесному пути с крючьями. Мотки проволоки из под мотовил автоматически наеваются на крючья при помощи особого механизма, состоящего из подвижных тарелок, принимающих мотки при выпадении из мотовил. Тарелки, совершая попеременно движения сверху вниз от самостоятельного мотора, навешивают мотки на крюки подвесного пути. Длина подвесного пути достигает значительной величины, что позволяет транспортируемым моткам окончательно охладиться.

## § 67. Режущие и отделочные механизмы

К группе режущих и отделочных механизмов относятся *ножницы, пилы, правильные машины, фрезерные и сверлильные станки*. Обычно все эти механизмы устанавливаются в „отделочных“ прокатных цехов, в которых прокатываемые изделия подвергаются окончательной проработке.

Ножницы и пилы применяются для обрезки концов штуки и резки на мерные длины окончательной продукции, *как в горячем (фиг. 363), так и в холодном состоянии (фиг. 364)*.

Ножницы могут быть следующих основных типов: *рычажные, прессовые с параллельными или наклонными ножами, циркулярные (дисковые) и автоматические (летучие).*

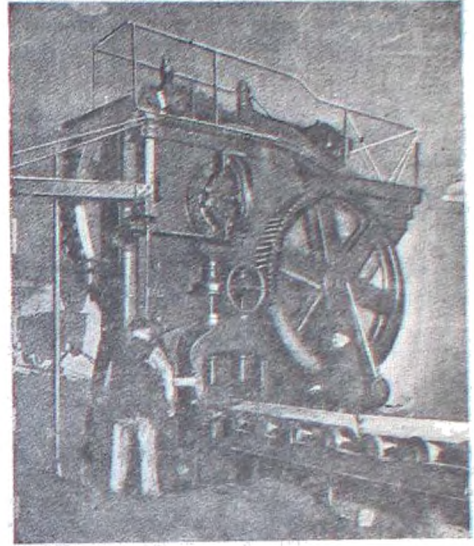
*Рычажные ножницы* (фиг. 363) употребляются для резки небольших поперечных сечений в горячем состоянии. Главным образом они применяются для резки растрепавшихся передних концов штуки во время прокатки в чистовых линиях мелкосортных станов; приводятся в движение либо от руки, либо непосредственно от клетки стана; в последнем случае ножницы работают непрерывно и располагаются на станине клетки.

Большое распространение в прокатном производстве получили *прессовые ножницы с параллельными и наклонными ножами*; они применяются для большого интервала поперечных сечений в холодном и горячем состоянии. При резке фасонных профилей ножем придают также профильную форму так, чтобы они соприкасались возможно большим количеством точек и резали за один раз. Конструкции этого типа ножиц чрезвычайно разнообразны.

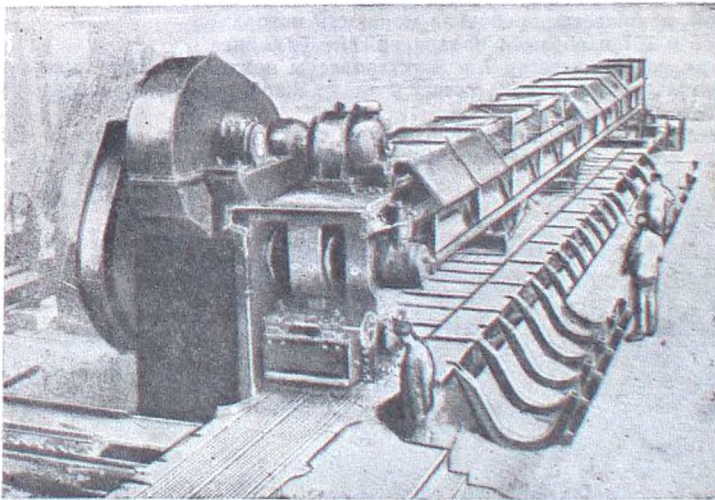
В устаревших конструкциях употреблялся гидравлический или парогидравлический привод. Такая конструкция ножиц наряду с недостатками, присущими гидравлике, вообще отличается плавностью реза, благодаря тому, что отпадают гяжелье вращающиеся части, как маховики, зубчатые колеса—не приходится опасаться ударов, вызывающих поломки отдельных деталей.

В настоящее время электропривод с успехом применяется даже в самых тяжелых конструкциях ножиц. *Обычное устройство электрических ножиц прессового (гильотинного) типа* (фиг. 363 и 364) заключается в следующем.

Подвижный нож прикреплен к ползуну, передвигается в направляющих с приспособлениями для регулирования их при изнашивании, чем достигается правильный ход ножа. Ползун приводится в движение, посредством шатуна и эксцентрика, составляющего одно целое с валом. Пуск в ход и остановка производится при помощи фрикционного сцепления.



Фиг. 363. Прессовые ножницы.

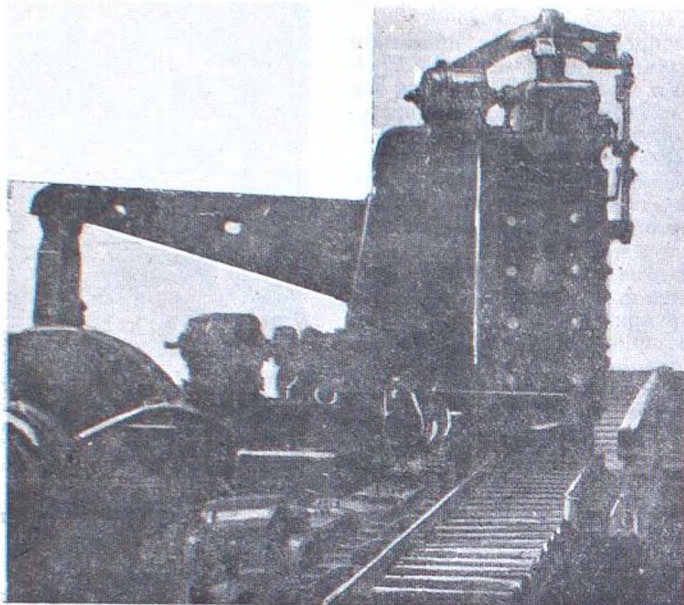


Фиг. 364. Гильотинные ножницы.

Современная конструкция ножиц тяжелого типа представлена на фиг. 365. Этот тип ножиц принят в СССР для новостроящихся цехов, в частности *такими ножницами снабжен новый советский блюминг на заводе имени т. Держинского*. Одним из преимуществ этих ножиц является полное отсутствие шатуно-кривошипного механизма, коленчатого вала и маховика, что предохраняет от поломок. Пуск в ход и остановка производится не при помощи сцеплений, а от приводного мотора *посредством автоматического релейного вклю-*

чателея нажатием кнопки; в конце реза мотор автоматически реверсируется и останавливается в начальном положении ножиц.

Экономичность такого привода очевидна, так как благодаря отсутствию холостого хода подведенная энергия расходуется на работу реза. Рез производится эластично, как и при паровом или воздушно-гидравлическом приводе, потому что скорость реза невынужденная, как в ножницах с маховиком, а в каждом отдельном случае саморегулируется сопротивлением резания. Таким образом отпадает необходимость регулирования мощности маховыми массами,



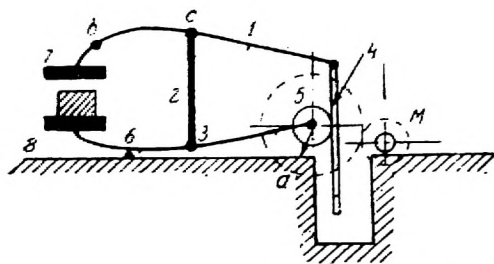
Фиг. 365. Современные ножницы тяжелого типа.

так как вследствие понижения скорости резания, в зависимости от сопротивления, до 25 % от номинальной, понижается требуемая мощность мотора.

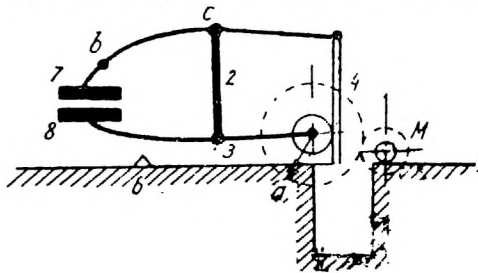
На фиг. 366 и 367 изображен привод ножниц блуминга.

На коротких плечах рычагов 1 и 3 установлены ножи 7 и 8. Оба рычага соединены между собой шарнирно штангой 2. К рычагу 1 также шарнирно присоединена зубчатая рейка 4, которая сцеплена с шестерней 5.

На оси шестерни 5 находится неподвижная точка вращения рычага 3. Если между ножами находится штука, и шестерня 5 посредством мотора М вращается так, что зубчатая



Фиг. 366. Привод в действие ножиц, 1 положение.



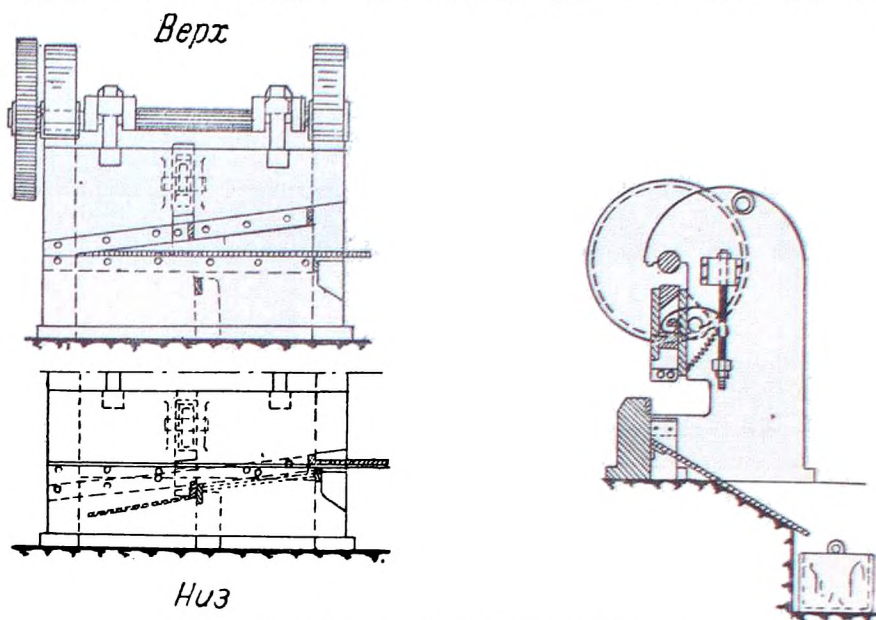
Фиг. 367. Привод в действие ножиц, 2 положение.

рейка 4 поднимается, то прежде всего верхний нож 7 приходит в соприкосновение с штукой вследствие чего шарнир 6 становится неподвижной точкой вращения рычага 1.

При дальнейшем движении зубчатой рейки 4 рычаг 1, поднимает посредством тяги 2, рычаг 3, благодаря чему производится резание штуки снизу вверх. Когда оба ножа сойдутся, мотор автоматически реверсируется, и зубчатая рейка 4 опускается. Рычаг 3 опускается до тех пор, пока не упрется в неподвижную опору 6, тогда точка С становится точкой вращения для рычага 1, и верхний нож 7 приподнимается до тех пор, пока зев ножей не откроется полностью до исходного положения (фиг. 366).

Ножницы этого типа производят три реза в минуту при резке блюсов  $\square 400 \times 400$  мм и давлении резания в 1200 т, пять резов для слябов  $800 \times 200$  мм и от 11 до 12 резов для блюсов  $\square 160 \square 160$  мм. Автоматическое регулирование числа оборотов мотора производится посредством регулятора, работающего почти без инерции. Ножницы снабжены также автоматическими предохранителями в случае перегрузки.

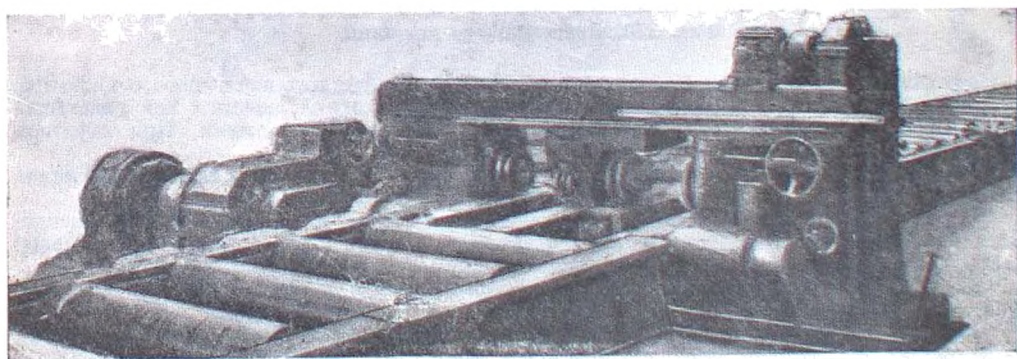
Ножницы с наклонными ножами обычно применяются для резки листов в холодном состоянии, они отличаются от других типов главным образом длиной ножа (фиг. 368). Бла-



Фиг. 368. Ножницы с наклонными ножами.

годаря наклону ножей достигается *непрерывное постепенное резание*, при этом требуется постоянное, значительно меньшее усилие, чем в случае реза широкого изделия параллельными ножами. Так, например, для резки листа толщиной в 20 мм требуется усилие в 20 т, а при резке листа той же толщины шириной в 2 м параллельными ножами потребуются усилие в 1200 т. В этом главное преимущество ножниц с наклонными ножами.

Листовые ножницы для облегчения обслуживания снабжаются так называемыми гусиными шейками, установленными перед ножницами в большом количестве в шахматном порядке.



Фиг. 369. Дисковые ножницы.

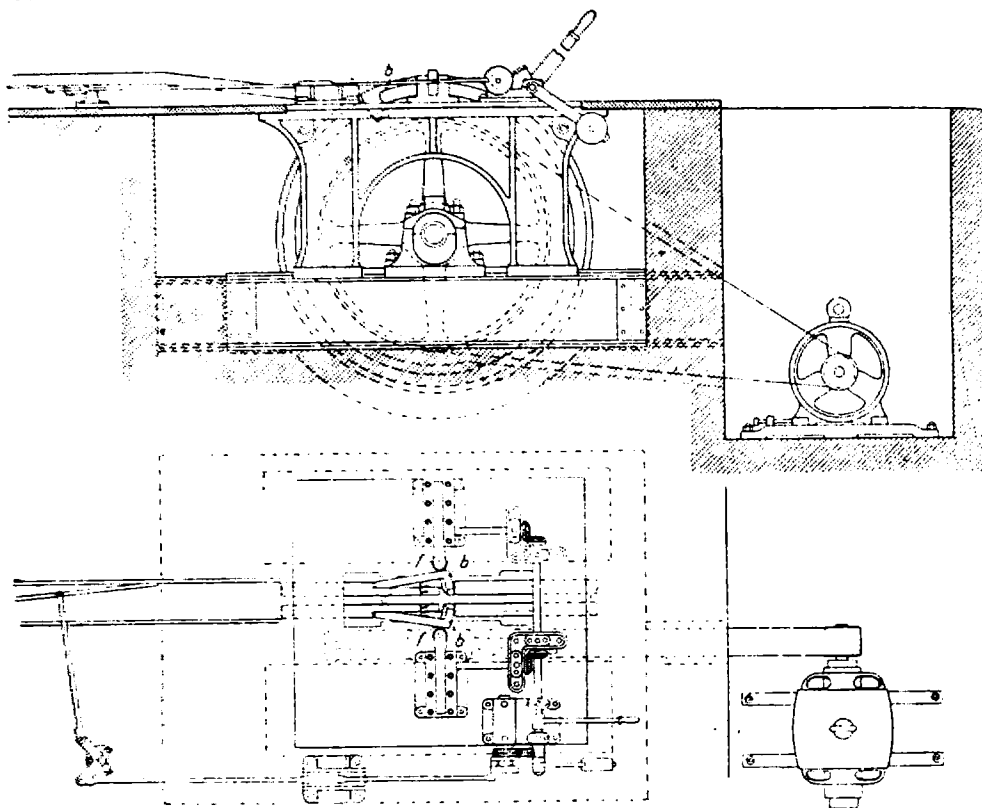
Для обрезки кромок листов непосредственно на рольгавге применяются *циркулярные (дисковые) ножницы* (фиг. 369), но эти ножницы применимы для тонких листов, не толще 6—7 мм.

Автоматические (летучие) ножницы применяются для резки заготовки или сортового железа, выходящих из последней клетки стана с большой скоростью на лету.

По конструкции различают два типа автоматических ножниц: *вращающиеся и качающиеся*.

**Вращающиеся ножницы**, применяющиеся для резки главным образом мелкосортового железа при поступлении на стеллажу состоят (фиг. 370) из вращающегося диска, скорость вращения которого согласована с линейной скоростью выхода полосы. В одном или нескольких местах диска устанавливаются шарнирно горизонтально действующие ножи *b*, которые в свободном положении всегда раздвинуты под действием пружины. При вращении диска ножи, соприкасаясь с неподвижными кулачками или роликами *f* соединяются и тем самым разрезают полосу, движущуюся между ножами по особой направляющей (трубка).

Конструкция **качающихся ножниц** представлена на фиг. 371 и 372. Главным элементом ножниц этого типа является качающаяся рама *A*, внутри которой установлено два ножа: нижний неподвижный *H* и верхний подвижный *K*, имеющий возможность поворачиваться вокруг оси *D* и связанный штангой *E* с осью *B*.



Фиг. 370. Вращающиеся ножницы.

Подвижный нож *K* тягами скреплен с поршнем гидравлического или парового цилиндра, при движении поршня вниз рама *B* поворачивается вокруг оси *A*, вместе с ней увлекается нож *K*, который, опускаясь, разрезает полосу, проходящую между ножами. При обратном ходе поршня рама и ножи приходят в исходное положение.

Скорость рамы должна соответствовать скорости движения полосы, а скорость движения поршня должна быть согласована с выбранной длиной разрезаемых штук.

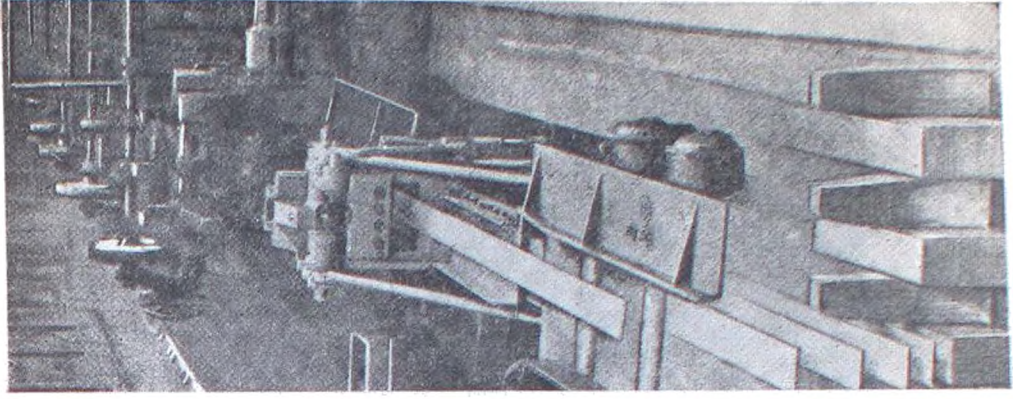
В настоящее время качающиеся автоматические ножницы получили большое распространение и довольно разнообразны по конструкции в связи с внедрением непрерывной прокатки, а, следовательно, и больших скоростей выхода штук из последней клетки.

На фиг. 373 изображены *летучие качающиеся ножницы* фирмы Демаг для обслуживания непрерывно-заготовочного стана.

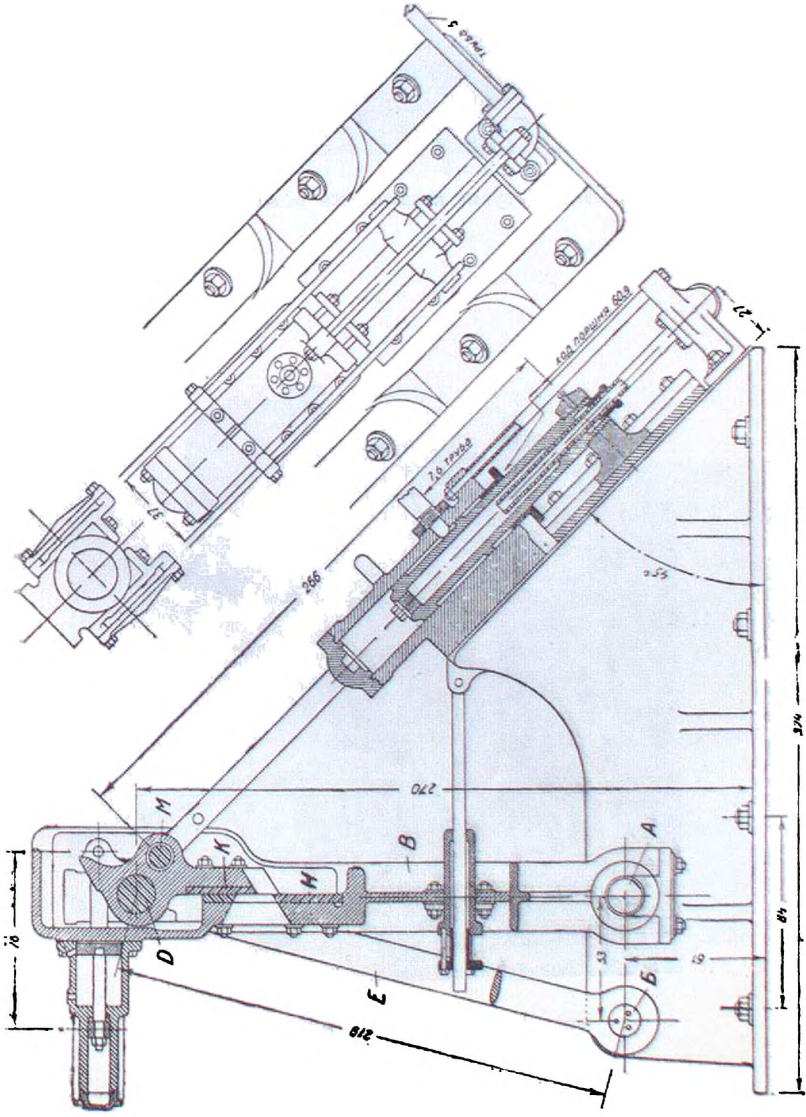
**Пилы.** В тех случаях, когда необходимо разрезать *готовое изделие* (особенно *фасонные профили*) без большой деформации кромок применяют пилы.

В прокатном производстве употребляются исключительно *дисковые пилы*. На окружности диска нарезаются зубья, но иногда резка производится и гладкими дисками. Большая скорость диска (от 50 до 120 м/сек) вызывает большое трение, повышает температуру в месте реза до 1200 — 1300°, а иногда и расплавляет металл. Зубья отрывают кусочки металла, которые, разлетаясь в сторону, сгорают.

Особое внимание должно уделяться *подаче диска во время распилок*. Подача осуществляется в некоторых конструкциях от руки (иногда разрезаемое изделие подается на диск), либо от гидравлического цилиндра или электромотора. Во всех случаях должна быть предусмотрена *регулировка скорости подачи в зависимости от разрезаемого профиля, качества металла, его температуры и скорости резания*.

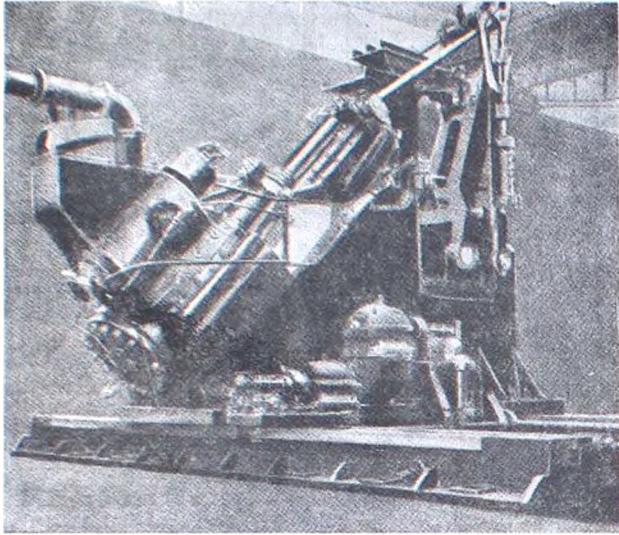


Фиг. 372. Летучие качающиеся ножицы

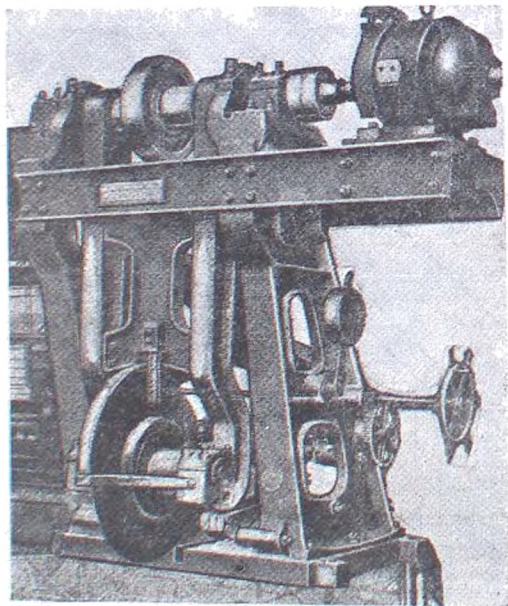


Фиг. 371. Качающиеся ножицы.

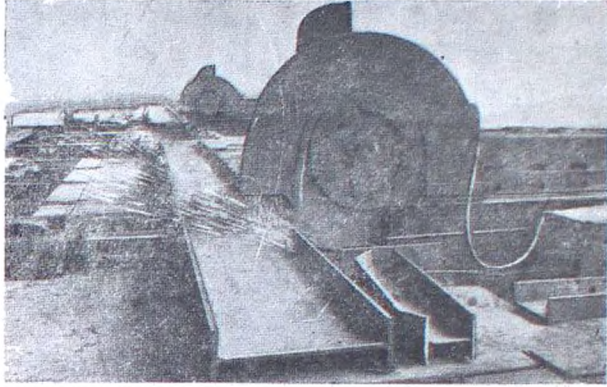




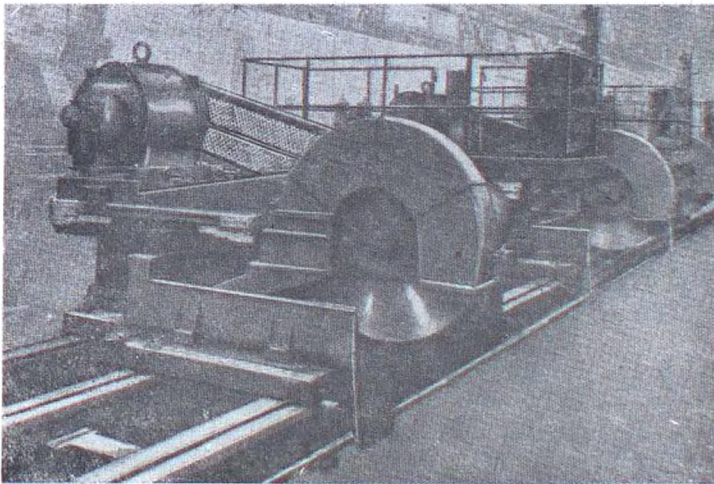
Фиг. 373. Летучие качающиеся ножницы.



Фиг. 374. Маятниковая пила.

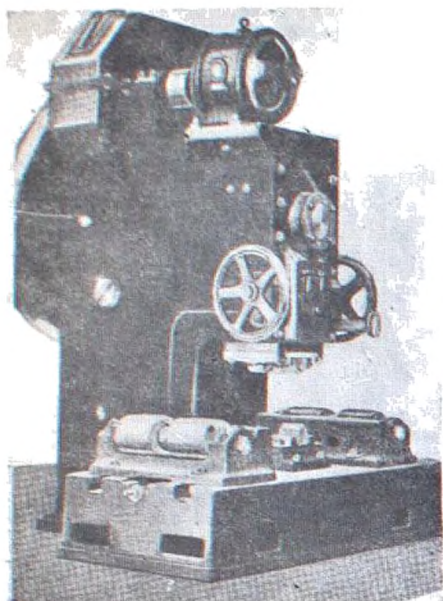


Фиг. 375. Пила на салазках.

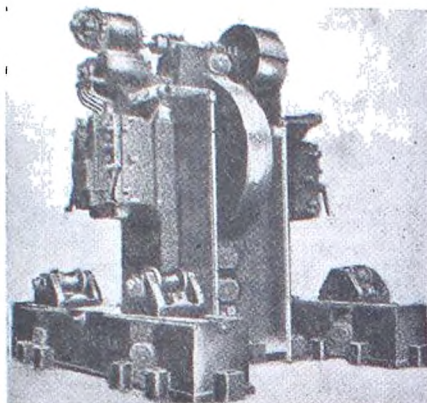


Фиг. 376. Пила на салазках.

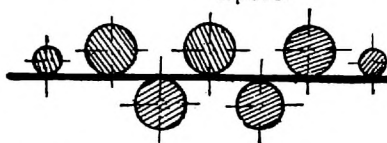
Применяются два основных типа конструкции пил: маятниковая или рычажная (фиг. 374) и пила на салазках (фиг. 375 и 376). В первом случае диск гилы установлен в подшипниках качающейся рамы (маятника) и получает вращение от мотора, установленного в верхней части при помощи двух ремневых передач.



Фиг. 377. Правильный пресс эксцентрикового типа.



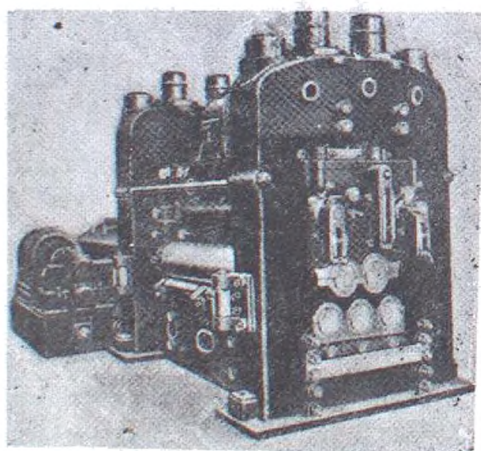
Фиг. 378. Сдвоенный правильный пресс.



Фиг. 379. Схема правильной машины для правки листов.

Пилы на салазках устроены так, что диск с приводом и передачи устанавливаются на подвижной каретке (тележка), перемещающейся в момент подачи пилы вручную либо механически.

**Правильные машины.** По способу действия (правки) различают в основном два типа правильных приспособлений: *прессовые* и *роликовые*.

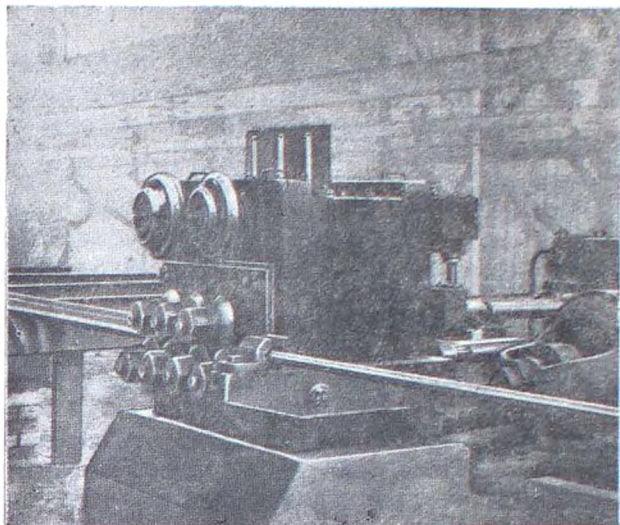


Фиг. 380. Правильная машина для правки листов.

Правильный пресс (фиг. 377) обычно делается *эксцентрикового типа*. Рабочая подвижная часть пресса (штемпель) прикрепляется к ползуну, соединенному при помощи шатуна с эксцентриком, связанного с мотором, посредством зубчатой передачи. Обычно во время правки пресс работает непрерывно. Выправляемая полоса опирается в двух точках на специальных подкладках. Давящий штемпель действует на металл через верхнюю прокладку.

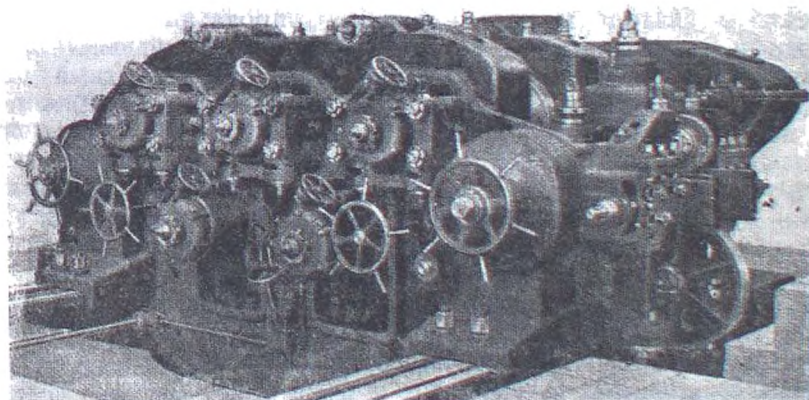
подставляемую в нужном месте вручную. Часто правильные прессы делают двойными (фиг. 378). Производительность такого прессы увеличивается вдвое без больших конструктивных усложнений.

Роликовые правильные машины различают двух основных типов: с роликами гладкими и фасонными — первые приспособлены для правки полос и листов, вторые — для фа-



Фиг. 381. Роликовая правильная машина.

сонных профилей. На фиг. 379 и 330 представлена схема и конструкция *правильной машины для правки листов*. Форма фасонных роликов должна соответствовать профилю металла, для правки которого они предназначены. На фиг. 381 изображена роликовая правильная машина.



Фиг. 382. Рельсовая роликовая правильная машина.

Нужно заметить, что рельсы, балки и швеллера правятся роликовыми машинами часто только в одном направлении, поэтому окончательная правка и доправка концов производится на правильных прессах эксцентрикового типа. Несмотря на это, производительность отделочных мастерских значительно повышается с установкой роликовых правильных машин.

Настройка и отрегулировка роликовой машины требует большой тщательности и опыта. На фиг. 382 представлена роликовая рельсовая правильная машина в собранном виде.

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ

## § 68. Структура прокатных цехов

Прокатные цехи на металлургических заводах занимают по величине и по важности одно из первых мест, наряду с доменными и сталеплавильными цехами. Разнообразие продукции прокатных цехов очень велико. Достаточно назвать всем известное железо для строительных целей (балки, швеллера, уголки, полосы, круглое, квадратное и т. п. железо), рельсы с накладками и подкладками, листы, кровельное железо, жесть, проволоку, трубы и т. д. и т. п.—все это изделия прокатных цехов. Понятно поэтому, что в *прокатных цехах*, изготавливающих столь разнообразные изделия, на одном заводе может быть *несколько*, в то время, как доменный цех имеется обычно только один и зачастую также один сталеплавильный цех.

Нередко на заводе имеются цеха сортопрокатный (среднесортный, мелкосортный и проволочный станы), рельсо-балочный, листопрокатный и кровельный. Наряду с ними иногда имеется трубопрокатный цех, реже осе-бандажный. Каждый из этих цехов в качестве сырья потребляет слитки, которые должны быть *разнообразного размера и веса в зависимости от веса и назначения изделия*. Это заставляет сталеплавильные цеха давать соответствующие развесы слитков, и так как число и разнообразие изделий очень велико, то и *разнообразие слитков должно быть также значительным*. Неудобство, которое вызывается отливкой разнообразных слитков в сталеплавильных цехах, достаточно известно.

Прежде всего следует отметить, что вес слитков, идущих на различного типа прокатные станы, колеблется в *очень широких пределах*, от 100—150 кг для проволочных и мелкосортных станов, до 4—5 т для рельсо-балочных станов.

Если мы производим отливку из 100 т мартеновской печи, то должны отлить  $100:5=20$  крупных слитков или  $100:0,1=1000$  наиболее мелких. Несомненно, подготовка канавы, разливка и уборка 20 крупных слитков потребует значительно меньше времени и места, чем те же операции на канаве при 1000 мелких слитков. В этом отношении *крупные слитки имеют огромное преимущество, особенно для печей большого тоннажа*. Помимо неудобства, связанного с разливкой металла и уборкой его с канавы, здесь еще имеется целый ряд экономических соображений, к числу которых относятся *удобства транспортировки, лучшее качество металла и т. д.*, что заставляет заводы все более и более *переходить на крупные литые слитки* с тем, чтобы в дальнейшем из них *выкатывать теобжатые слитки (называемые заготовками), которые пойдут в дальнейшем на различные станы для изготовления нужных изделий*. Новые

же заводы в настоящее время строятся *исключительно по такой схеме работы.*

Эти заготовки в прокатных цехах получают прокаткой на стане, который носит название *блуминга*. Таким образом, на современных металлургических заводах *вся сталь*, отлитая в крупных слитках, *пропускается через блуминг, дающий начало всей прокатной продукции завода.*

Такая система работы весьма развита в *Америке*, заводы которой и оборудованы соответствующими *блумингами*; отливка мелких слитков на американских заводах совершенно не производится.

В противоположность этому, на целом ряде старых заводов СССР и в странах *Европы*, еще сохранилась *прежняя система работы*, состоящая в том, что блуминг прокатывает крупные слитки на заготовку, идущую только на *рельсо-балочный стан*, а остальные станы (*сортовые, проволочные*) непосредственно из сталеплавильных цехов получают *мелкие литые слитки.*

В этой системе блуминг по существу исполняет роль *только обжимной клетки рельсо-балочного стана* и лишь в случае каких-либо причин (задержек на рельсо-балочном стане, отсутствия соответствующего рельсо-балочному стану металла, а также при прокатке качественных сортов сталей, и часто во избежание простоя) блуминг перекачивает крупные слитки на заготовки для *сортовых и проволочных станов.*

*Эта старая система работы на блуминге носит название европейской, в противоположность первой, носящей название американской и находящей в последнее время широкое распространение также во всей Европе. Американская система принимается и у нас при реконструкции и строительстве новых металлургических заводов.*

Таким образом, американский блуминг, пропускающая всю прокатную продукцию завода, естественно, должен обладать *очень большой производительностью* и это обязывает оборудовать блуминг так, чтобы он мог справиться с этой производительностью и *не задерживать работы идущих от блуминга всех станов завода.*

На современных блумингах достигается производительность до одного миллиона, иногда *1 200 000 т* в год. В таких условиях рационально производительность завода делать кратной производительности блуминга (*1 млн. т, 2 млн. т, 3 млн. т*)<sup>1</sup>.

Если пересчитать эту производительность в *1 млн. тонн* на часовую, то мы получим *не менее 150 т в час.*

Повысить производительность блуминга можно *увеличением веса прокатываемых слитков* и больше всего, *увеличением конечного сечения заготовки*, выходящей из блуминга, так как при этом *сократится число пропусков и уменьшится время*, затрачиваемое на прокатку одного слитка. Вопрос о повышении производительности блуминга, наряду с усовершенствованием его конструкции, и был решен в этом направлении на американских заводах. Из блуминга выпускаются размеры, превышающие размеры на старых европейских заводах, т. е. обычно размеры от *150×150 до 200×200 и 250×250 мм* в сечении, в то время как ранее было принято из блуминга получать преимущественно размеры от *125×125 до 150×150 мм.*

Такое изменение размеров даст меньшее число пропусков в блуминге, а это в свою очередь вызовет повышение его производительности. Если на наших старых заводах блуминги требуют для прокатки одного *3-т* слитка, *2—2,5 и 3 минуты*, то слиток более тяжелый, в *5—7 т*, на хорошо механизированных блумингах американских заводов требует для прокатки всего от *1 до 1,5 мин.*

<sup>1</sup> Магнитогорский завод будет давать до *3 млн. т*, Ново-Мариупольский до *4 млн. т* проката.

Но размер заготовок, выпущенных из блуминга американского завода, будет *слишком велик* для того, чтобы их катать *непосредственно на сортовых и проволочных станах*.

Сортовые станы требуют чаще всего размера от  $100 \times 100$  до  $175 \times 175$  мм, причем меньший размер относится к мелкосортным, больший — к среднесортным станам.

Проволочные станы требуют еще меньших размеров, а именно:  $75 \times 75$  мм, а лучше еще меньше — до  $40 \times 40$  мм. Поэтому заготовки, вышедшие из блуминга, *нерационально сразу употреблять* на сортовых и в особенности на проволочных станах.

В американской технике и здесь было найдено очень благоприятное разрешение вопроса, которое выразилось в применении *промежуточного стана*, находящегося между блумингом и последующими отделочными станами. Назначением этого стана является производство заготовок, которые рационально употреблять на сортовых и проволочных станах.

Блумсы сразу же после блуминга поступают на *заготовочный стан* и из них в несколько пропусков прокатывается нужный размер заготовок; в дальнейшем *эти заготовки поступают уже непосредственно на сортовые и проволочные станы*. Заготовочные станы по конструкции являются непрерывными станами, в которых прокатываемая штука проходит из одной клетки в другую непрерывно, без возвратов и поворотов. По роду прокатываемой продукции они носят название *непрерывно-заготовочных прокатных станов*.

На непрерывно-заготовочных станах можно получать сечение заготовок для сортовых и проволочных станов *меньшее, чем сечение заготовок, идущих непосредственно из блуминга*, даже тогда, когда последний будет выпускать наименьшее возможное для него сечение ( $100 \times 100$  мм). Из непрерывно-заготовочного стана нетрудно получить сечение, меньше, чем  $100 \times 100$  мм, например:  $75 \times 75$ ,  $50 \times 50$  и даже  $35 \times 35$  мм. Если мы будем давать такие более мелкие сечения на сортовые и проволочные станы, то этим мы *облегчим их работу* по сравнению с тем, когда они получают блумсы сечением около  $100 \times 100$  мм (а чаще всего около  $150 \times 150$  мм), что наблюдается на заводах старого типа, не имеющих заготовочных станов.

Таким образом, как мы видим, введение непрерывно-заготовочных станов позволило: с одной стороны, *облегчить работу блуминга увеличением получаемого из него конечного сечения*, с другой стороны — *облегчить работу сортовых и проволочных станов благодаря уменьшению поступающих на них размеров заготовки*. Это привело, конечно, к *повышению в значительной степени производительности как блумингов, так и сортовых и проволочных станов*. Непрерывно-заготовочный стан, обладает *большой производительностью, достаточной для перекачки на заготовку всех блумсов, и для удовлетворения заготовкой нескольких сортовых и проволочных станов*.

Из изложенного вытекает следующий поток металла в современном прокатном цехе: разлитые в изложницы на тележках *слитки поступают в стрипперное отделение* для снятия изложниц; тележки с горячими слитками подаются в *пролет нагревательных печей* (колодцев), где слитки специальными кранами сажаются в колодцы. Нагретые слитки теми же кранами вынимаются из колодцев и ставятся на тележку-опрокидыватель, подвозящую слиток к концу *рольганга блуминга*. После прокатки в блуминге на ноже производится обрезка концов, и блум поступает целиком или разрезанный на части в *непрерывно-заготовочный стан*, разделенный для удобства конструкции и возможности получения достаточно широкого сортамента заготовок на 2 группы.

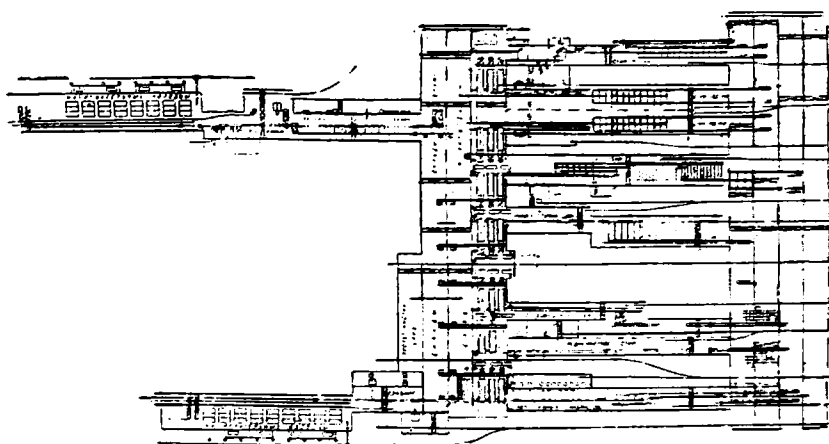
Заготовки, разрезанные после прокати на нужные длины, поступают на *склад*, являющийся одновременно и *распределительным пролетом заго-*

товок. Отсюда по мере надобности заготовки поступают в *нагревательные печи отделочных прокатных станов*, расположенных по направлению потока металла параллельно друг другу. Выпуск готовой продукции производится на склад, в большинстве случаев являющийся общим для всех отделочных станов, откуда продукция вывозится из завода.

Аналогичная схема в настоящий момент применяется и для производства листового железа. Болванки обжимаются на слябинге, где для облегчения прокатки плоских сечений, кроме горизонтальных валков, имеются вертикальные.

На фиг. 383 в качестве примера описанной схемы приведен план сортировочного цеха, спроектированных по последнему слову прокатной техники.

Введение мощных прокатных агрегатов требует их полной загрузки, ибо только в этом случае будет оправдано их строительство и эксплуатация. В особенности это относится к непрерывным станам, имеющим наибольшее число клетей и расходующим большое количество энергии на собственное вращение; стоимость установки непрерывных станов выше, нежели станом периодической прокатки с меньшим числом рабочих и



Фиг. 383. Современный прокатный цех.

особенно шестеренных клетей. Из этих соображений рациональной и рентабельной является такая организация работы, когда весь металл, поступающий из блуминга, будет идти в непрерывно-заготовочный стан, по производительности соответствующий производительности блуминга.

Наоборот, было бы весьма неправильным после блуминга разветвлять металл на два потока: один в непрерывно-заготовочный стан, второй — на рельсо-балочный стан. Отвлечение значительной доли металла вызвало бы недогрузку непрерывно-заготовочного стана со всеми вытекающими отсюда неблагоприятными последствиями. С другой стороны, разветвление потока не давало бы возможности полностью загрузить рельсо-балочный стан.

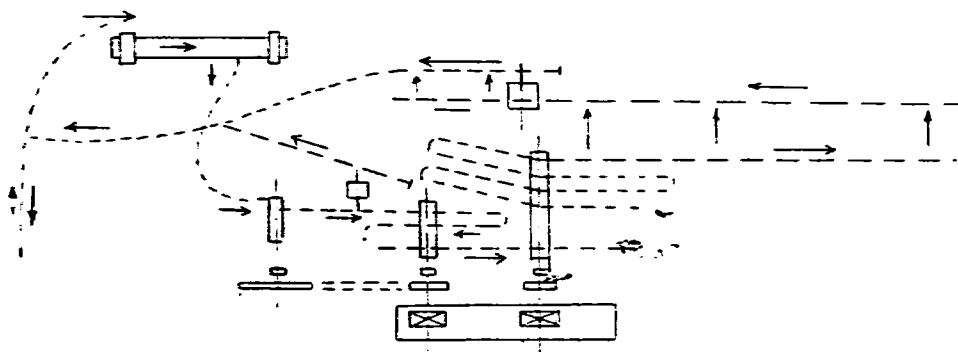
Вот почему современный рельсо-балочный цех выделяется в самостоятельную единицу с отдельным блумингом, обслуживающим исключительно рельсо-балочный стан. Из этих же соображений реконструкцию старых рельсо-балочных цехов с установкой мощного блуминга и непрерывно-заготовочного стана и оставлением старого рельсо-балочного стана следует считать как правило нерациональной.



## § 69. Принципы проектирования и организации работы прокатных цехов

Выбор структуры, т. е. типа производства, дает основание для составления *плана цеха*. Весьма существенный объем работы заключается в выполнении *техничко-экономических расчетов*, связанных с выбором типа и количества необходимых агрегатов. В основу расчетов должна быть положена ориентировка на *ведущий агрегат проектируемого цеха*, или ряда связанных между собою цехов. Так, например, ведущим агрегатом современного металлургического завода является *мощный блуминг*, и производительность завода выбирается *кратной производительности блуминга*; ведущим агрегатом внутри каждого прокатного цеха является *прокатный стан*, к производительности и сортаменту которого подбирается тип и количество печей, вспомогательных агрегатов и т. д. Произведенные на основе характеристик (производительности, сортамента и т. д.) ведущего агрегата расчеты позволяют определить *баланс металла по каждому этапу производства, тип и количество необходимых агрегатов*.

Весьма важным обстоятельством, которое всегда необходимо иметь в виду при выполнении расчетов, является введение *стандартизации*

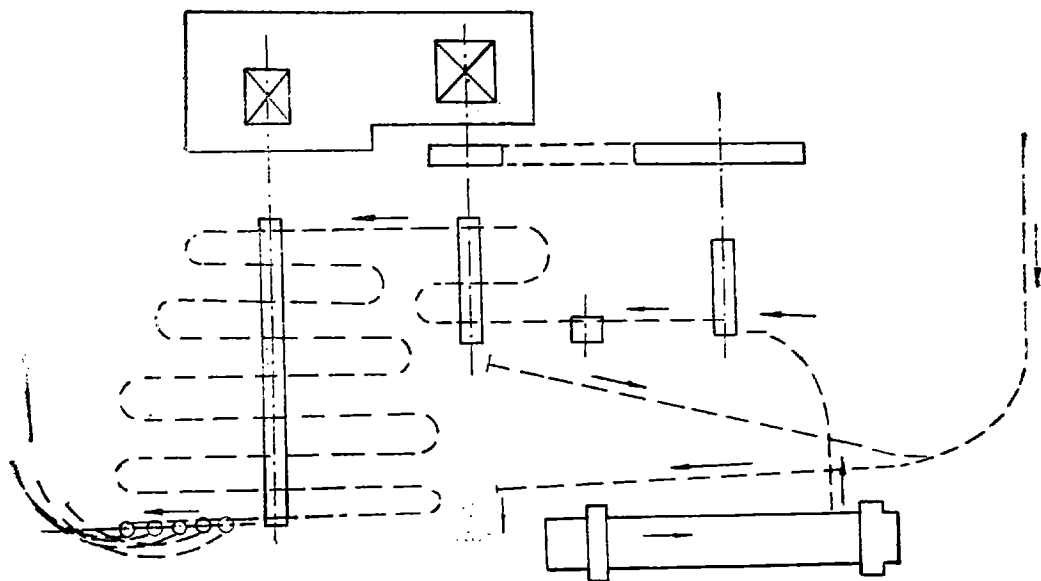


Фиг. 384. Грузовой поток мелкосортного стана 250 мм. завода им Петровского.

*при проектировании, выборе агрегатов и строительстве*. Плановая система социалистического строительства позволяет со всей полнотой использовать громадные экономические и технические преимущества стандартизации. Проектные организации Союза в этом отношении уже имеют ряд крупных достижений (стандарт доменной печи, стандартные типы прокатных цехов и т. д.), используя и в дальнейшем в этом направлении свой опыт. Строительные организации также имеют немало успехов в области стандартизации и механизации строительства. Стандартизация и тесно связанная с ней механизация ведут к громадной экономии средств, затрат человеческого труда, материалов, уменьшают число возможных ошибок и сокращают расход времени во всех этапах работы. Стандартизация, однако, не должна идти в ущерб имеющим зачастую важное значение местным особенностям, как при новом строительстве, так и при реконструкции старых заводов и цехов.

Дальнейшим важным этапом проектирования является *размещение агрегатов на плане цеха с учетом рационально составленного грузового потока*. Обеспечение *правильного грузового потока* является неотъемлемой задачей хорошей организации любого производства. В применении же к современным мощным прокатным цехам этот вопрос имеет тем более важное значение. Самым лучшим и в то же время простым является прямоли-

нейный грузовой поток, к осуществлению которого и следует стремиться. Примеры из практики старых заводов показывают зачастую весьма уродливые грузовые потоки, ведущие к тормозу в производстве. На фиг. 384 представлен грузовой поток мелкосортного стана 250 мм завода им. Петровского. Здесь *основной грузовой поток т. е. поток обрабатываемого металла, пересекает сам себя, является возвратным (готовая продукция) и встречным (слитки и готовая продукция). Вспомогательный грузовой поток, т. е. движение отходов и вспомогательных материалов, является встречным с основным потоком.* В результате неизбежны перерывы в выдаче слитков из печи, при отвозке на тележках годных изделий на склад, перерывы при уборке окалины и обрезков и т. п. Даже при



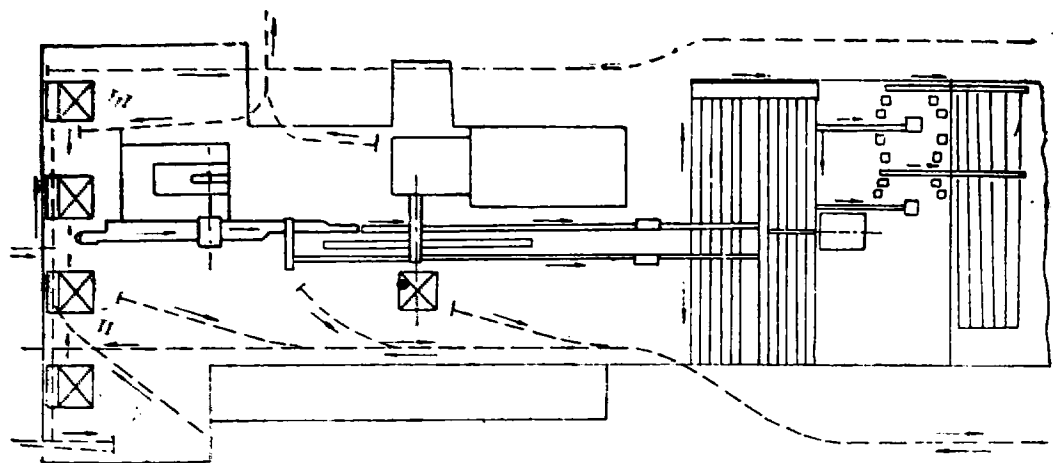
Фиг. 385. Грузовой поток проволочного стана завода имени Петровского.

невысокой на этом стане производительности, 10—15 т в час, эти, может быть на первый взгляд незаметные, перерывы снижают производительность стана на 5—7%; при повышении же часовой производительности потери в тоннаже были бы большими. Современные мелкосортные станы с производительностью 25—40 т в час *при указанной грузовой потоке вообще не в состоянии были бы развить такую производительность.*

Вторым примером неудачного грузового потока может служить поток на проволочном стане того же завода (фиг. 385). Здесь поток слитков, подвозимых на тележках к загрузочной площадке печи, пересекает поток нагретых слитков, выдаваемых из печи. В отношении вспомогательного потока наблюдаются те же недостатки, что и на предыдущем стане. Примеров таких неправильных потоков можно было бы привести очень много.

Разберем еще грузовой поток в рельсо-балочном цехе завода имени Петровского (фиг. 386). В пролет нагревательных колодцев слитки поступают несколькими путями: горячие из бессемеровского цеха по стрелке I, полугорячие и холодные из мартеновского цеха по стрелке II, небольшое количество холодных слитков поступают по стрелкам III. Около 70% составляют горячие бессемеровские слитки. Они поступают на тележках в изложницах; изложницы снимаются стрипперным краном и горячие слитки сажаются в колодцы всех имеющихся четырех групп. Посадка слитков в колодцы и выдача из них производится двумя специальными кранами Тиглера. Вынужденные пробеги этих кранов, как видно из фиг. 386, объяс-

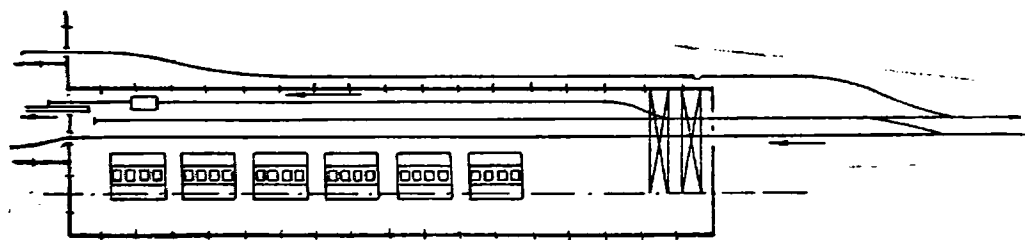
яются большими расстояниями от места разделения слитков до места их посадки в колодцы. За исключением ряда расположенной крайней 4-й группы все остальные, особенно 1-я, значительно удалены. Наиболее неблагоприятно расположение 1-ой и 2-ой групп также и в том отношении, что для посадки нагретых слитков на опрокидыватель краны должны делать значительные пробеги в обратном первоначальному направлении. Вследствие этого в группах 1-ой и 2-ой освобождение колодцев и заполнение их новыми слитками связано с значительными задержками. Такова же примерно картина и с потоком мартеновских слитков, которые поступают в другие места пролета колодцев. Рациональным исправлением столь



Фиг. 386. Грузовой поток рельсо-балочного цеха завода имени Петровского.

неудачного передвижения слитков было распределение его по двум уровням: верхнему—крановому и нижнему—взвешному. По нижнему уровню горячие бессемеровские слитки развозятся к соответствующим группам колодцев, а по верхнему производится выдача нагретых слитков к блюмингу.

На фиг. 387 представлен пролет нагревательных колодцев современного цеха. Здесь осуществлен прямолинейный поток без возвратных передвижений. С поступающих в специальное стрипперное помещение на тележках слитков снимаются изложницы, и слитки на



Фиг. 387. Пролет нагревательных колодцев современного прокатного цеха.

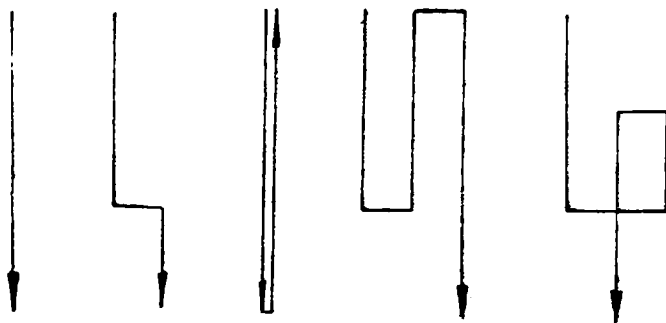
тех же тележках подаются по прямому пути в пролет нагревательных колодцев к соответствующей группе. Этим устраняются лишние пробеги крана при посадке слитков в колодцы. Выдача нагретого слитка производится на специальную тележку-опрокидыватель, подаваемую к соответствующей группе, чем также устраняется лишний пробег крана. Тележка-опрокидыватель подвозит и опускает слиток непосредственно на рольганг блюминга. Удобства и практическое значение подобной организации работы уясняется хотя бы из того, что пролет завода имени Петровского при помощи двух кранов с большим напряжением пропускает годовую производительность в 350 тыс. т металла (120 тыс. слитков); в современном же прокатном цехе пролет также с двумя кранами беспрепятственно допускает производительность в 1200 тыс. т металла (200 тыс. более тяжелых слитков) в год.

Дальнейшее движение обрабатываемого металла в рельсо-балочном цехе завода имени Петровского, начиная от блюминга и кончая пилами для горячей резки готового изделия, осуществляется по прямолинейному направлению. На стеллажах изделия претерпевают пово-

отно - возвратное передвижение, но без взаимных пересечений, что не вызывает осложнений в работе. Со стеллажей рельсы поступают по прямому пути в рельсоотделочную, а затем на склад. Вспомогательные грузовые потоки (уборка обрезков, окалины и др.) не пересекают основного потока и не вызывают задержек в нормальном производстве.

Из приведенного выясняются следующие *схемы основных грузовых потоков* (фиг. 388): *прямолинейный, прямолинейно-поворотный, возвратный, возвратно-поворотный, перекрещивающийся*. На эти основные элементы можно разложить любой сложный и запутанный грузовой поток.

Наряду с проектированием нормального грузового потока большую важность имеет вопрос об *обеспеченности грузового потока соответствующими транспортно-грузоподъемными средствами*, к числу которых относятся рольганги, шлеппера, вагонетки, железнодорожные пути, транспортеры, конвейеры, краны и т. п. Выбор рода этих средств и расчет



Фиг. 388. Схемы основных грузовых потоков.

их пропускной способности должны находиться в *тесной связи с характеристиками основных и вспомогательных агрегатов цеха*. Правильное разрешение вопроса о транспортно-грузоподъемных средствах часто позволяет облегчить работу неправильного грузового потока; наоборот, неудовлетворительные транспортно-грузоподъемные средства тормозят работу и при правильном грузовом потоке.

Выбор и нанесение грузового потока сопровождается *размещением агрегатов цеха*. Чрезвычайно существенно при этом предусмотреть возможность для *дублирования и расширения цеха*. Решение этого вопроса принципиально различно при проектировании заводов СССР и заводов в капиталистических странах.

Наши новостройки являются последним словом техники, и многие не имеют себе равных за границей. Полное и одновременное строительство заводов-гигантов привело бы к тому, что между началом строительства и его пусковым периодом прошел бы большой промежуток времени. Строительство и пуск крупных заводов по частям есть правильное решение о максимальной экономии в средствах и времени.

Всем хорошо известна разбивка строительства наших гигантов—Магнитостроя и Кузнецкостроя на *очереди: первая, вторая и т. д.* Каждая очередь должна представлять собой законченный цикл производства, т. е. связанные между собой доменные, сталеплавильные и прокатные агрегаты со всеми необходимыми вспомогательными агрегатами и подсобными цехами. Наряду с пуском в эксплуатацию такого законченного металлургического цикла производства осуществляется строительство следующей очереди и т. д. На генеральном плане цеха очередность строительства отражается в виде *детально разработанной части, относящейся к первой очереди, и контуров частей, относящихся к последующим очередям*. В настоящее время пущены в эксплуатацию первые очереди на Магнитогорском и Кузнецком заводах и идет строительство вторых очередей.

## § 70. Техничко - экономические показатели прокатного производства

При оценке прокатных агрегатов весьма важно правильно установить как *количественные, так и качественные показатели его работы. Первые позволяют определить производственную мощность агрегата, вторые выход годного металла.* Знание этих показателей необходимо при проектировании прокатных цехов для выбора характера и количества агрегатов на заданную производительность. Такие показатели могут быть определены для различных агрегатов теоретически *разложение и рабочего процесса агрегата на составные элементы*; теоретическое определение во многих случаях в применении к прокатным агрегатам наталкивается на некоторые трудности, связанные с точным установлением графика работы агрегата, точным учетом времени, затрачиваемого на ручное обслуживание процесса, практической трудностью сохранения стандартного графика работы агрегата, а также затруднительностью учета практически имеющих место случайных перебоев в работе агрегата.

По этим обстоятельствам определенные теоретически показатели иногда требуют тех или иных поправок, устанавливаемых обычно на основании опыта работы агрегатов. *Величина поправки может быть определена сравнением данных практики и теоретического расчета за определенный промежуток времени.* Малые величины поправок указывают на приближенные работы агрегата к расчетным теоретическим условиям; большие поправки, наоборот, указывают на несовершенство производства и неустановившийся, перебойный процесс.

**Теоретические и практические показатели.** Правильное установление практических и теоретических количественных и качественных показателей имеет важное значение *не только при решении вопросов проектирования, но и для контроля работы агрегатов.* Регулярный анализ данных производства и сравнение их с теоретически-возможными данными позволяет делать те или иные выводы в отношении *использования агрегата и качества его работы*, а также устанавливать *мероприятия для улучшения работы агрегата.* Данные производства могут быть получены *регулярным учетом производства*, теоретически же возможные данные устанавливаются *на основе хронометражных наблюдений и расчета.*

## § 71. Показатели использования

Любой прокатный агрегат практически не используется в течение всего календарного срока своей службы для непрерывного рабочего процесса. *Неизбежны регламентированные простои, как то: в дни отдыха, на календарные ремонты, а также случайные простои, из-за непредвиденных остановок, ремонтов и т. п. и, кроме того, может иметь место неполное использование стана в момент его работы. Степень использования агрегата уместно назвать коэффициентом использования его.* Применим это понятие о коэффициенте использования к прокатным станам.

Обозначим *полное календарное время* за известный промежуток времени (год, месяц) в часах или днях через  $T_0$ . Исключим из этого времени часы (или дни), назначенные по плану на выходные дни, праздники и прочие простои производства, в течение которых работающий персонал не находится на стане. Обозначим оставшееся, т. е. полное рабочее время, через  $T_1$ .

Коэффициент  $k_1 = \frac{T_1}{T_0}$  носит название *коэффициента рабочего времени.*

Он показывает в какой степени общее календарное время используется в качестве рабочего (включая ремонты) времени стана.

Коэффициент  $k_1$  для прокатных агрегатов сильно колеблется. Наибольшим он будет при непрерывной работе стана с несколькими лишь днями

праздников и несколькими сменами ремонтов в году. При капитальном ремонте стана  $k_1$  сильно понижается. К числу станков с графиком непрерывной работы относятся обычно блуминги и рельсопрокатные станы. При одном месяце в году капитального ремонта и при 5 праздничных днях коэффициент рабочего времени будет равен:

$$k_1 = \frac{T_1}{T_0} = \frac{365 - 30 - 5}{365} = \frac{365 - 35}{365} = \frac{330}{365} = 0,91.$$

Исключим из времени  $T_1$  время, идущее на фиксируемые простои стана по различным причинам. Тогда получим фактическое рабочее время стана, или горячее время стана  $T_2$ . Это время можно также получить на часах, соединенных с приводом стана. В момент вращения стана часы работают, в момент остановки стана часы останавливаются. Такие часы получают применение в немецкой практике; они весьма облегчают учет горячего времени стана.

Коэффициент  $k_2 = \frac{T_2}{T_1}$  носит название коэффициента горячего времени или коэффициента фактического времени работы. Этот коэффициент колеблется в широких пределах в зависимости от продолжительности простоев на календарные ремонты стана (ремонтные дни и смены), а также продолжительности простоев на случайные ремонты и случайные остановки (например, недостаток слитков, тока, рабочей силы и пр.). Если принять для блуминга ежедекадные ремонтно-предупредительные смены и 5% простоев от полного рабочего времени, то коэффициент горячего времени будет равен:

$$k_2 = \frac{T_2}{T_1} = \frac{0,95 \cdot 330 - 11}{332} = \frac{303}{330} = 0,92.$$

Для станков, имеющих более высокий процент простоев, этот коэффициент соответственно понижается.

Если для прокатки определенного количества металла, например 1 т, по хронометражным данным требуется горячее время  $T_3$ , а фактически израсходовано горячее время  $T_4$ , то коэффициент

$$k_3 = \frac{T_3}{T_4}$$

носит название коэффициента производительности стана. Этот же коэффициент может быть получен делением фактической производительности на возможную производительность по хронометражным данным за одно и то же горячее время, т. е.

$$k_3 = \frac{P}{P_0}.$$

Этот коэффициент является весьма важной величиной, характеризующей степень использования горячего времени, т. е. налаженность производства стана. Кроме того, он служит для установления норм выработки. Величина  $k_3$  для блумингов и рельсовых станков, как показывают подсчеты, обычно находится в пределах 0,8—0,95, последнее для новейших хорошо обслуживаемых станков. В среднем надо принять  $k_3 = 0,5$ .

Произведение  $k_2 \cdot k_3 = K$  дает коэффициент использования стана. Этот коэффициент есть отношение фактической производительности к возможной производительности стана при полной загрузке. Более общий коэффициент  $k_1 \cdot K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = K_0$  дает вместе со степенью использования стана также степень использования для работы стана возможного (календар-

ного) времени. Этот коэффициент назовем *коэффициентом общего использования стана*.

Для приведенных выше числовых примеров мы получим:

$$K = k_2 \cdot k_3 = 0,92 \cdot 0,9 = 0,83$$

$$K_0 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 0,91 \cdot 0,83 = 0,75.$$

Пользование этими коэффициентами позволяет сравнивать работу разных станов, а также работу и других прокатных агрегатов.

## § 72. Коэффициенты расхода

Коэффициенты расхода, или *расходные коэффициенты*, есть величины расхода различных материалов, как основных, так и вспомогательных, для получения единицы (например, 1 т) вышедшего из данного передела металла, например, прокатанного, отделанного, осмотренного. Величины, обратные коэффициентам расхода металла, носят название *коэффициентов выхода металла*. Рассмотрим основные расходные коэффициенты, т. е. коэффициенты по обрабатываемому металлу.

Обозначим вес слитков, посаженных в печь, через  $Q_0$ , а вес слитков, выданных из печи, т. е. без угара, через  $Q_1$ . Коэффициент  $\frac{Q_0}{Q_1} = p_1$  называется *коэффициентом угара металла при нагреве*. Обратный коэффициент  $\frac{Q_1}{Q_0} = b_1$  носит название *коэффициента выхода металла при нагреве*. Для нагревательных колодцев  $p_1$  колеблется в пределах 1,015—1,03, для мегодических печей 1,02—1,04.

Вес годного проката (заданный без обрезков, брака и угара на стане) обозначим через  $Q_2$ . Коэффициент  $\frac{Q_1}{Q_2} = p_2$  называется *коэффициентом расхода металла на прокатку*. Обратный коэффициент  $\frac{Q_2}{Q_1} = b_1$  носит название *коэффициента выхода металла при прокатке*. Для блумингов коэффициент расхода металла на прокатку находится в пределах 1,06—1,1; для рельсобалочных станов — в пределах 1,02—1,05.

Отделка и осмотр изделий обычно считаются одним переделом. Если  $Q_2$  — вес заданных в отделку, а  $Q_3$  — вес выпущенных (осмотренных и годных) изделий, то коэффициент  $\frac{Q_2}{Q_3} = p_3$  носит название *коэффициента выхода металла по отделке и осмотру*. Для рельсового производства коэффициент расхода металла по отделке и осмотру обычно равен 1,10—1,15.

Иногда могут быть другие комбинации переделов; например, отделка и осмотр расчлениются на разные переделы, а нагрев и прокатка в блуминге объединяются в один передел. От этого не меняется сущность определения коэффициентов, необходима только ясность в их названиях.

Произведение указанных коэффициентов:

$$P = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = \frac{Q_0}{Q_3}$$

носит название *суммарного коэффициента расхода металла на единицу годного продукта*. По аналогии произведение коэффициентов выхода:

$$B = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 = \frac{Q_3}{Q_0}$$

носит название суммарного коэффициента выхода годного на единицу слитков.

Знать эти коэффициенты необходимо для составления баланса металла, проходящего через различные переделы цеха, а также для установления веса и количества слитков, потребных из сталеплавильных цехов завода для получения заданного веса годных изделий.

## ПРОКАТКА ЗАГотовок

### § 73. Блуминги

Выше была уже указана роль блуминга как ведущего агрегата современного металлургического завода американского типа. Положительный опыт американской металлургической промышленности в настоящее время является общепризнанным, и новые заводы во всех странах строятся по американскому образцу. Ведущая роль блуминга потребовала соответствующего усовершенствования его конструкции и рационализации работы на нем. Практика выработала два основных типа блумингов: американский и европейский.

Характерной особенностью американского, обычно дуо-реверсивного, блуминга (фиг. 253) являются валки с гладкой частью и 2—3 калибрами (фиг. 117). Такая конструкция валков позволяет большую часть пропусков осуществить в гладкой части и закончить прокатку несколькими пропусками в калибрах. Манипуляции со слитком при прокатке в гладкой части значительно ускоряются, так как не требуется строгой задачи в калибр. Кроме того, в американских валках возможно прокатать плоские сечения (слябы), а для ребрового пропуска предусмотрен подъем верхнего валка до 1 м.

Европейский блуминг имеет калиброванные валки (фиг. 129), представляющие известное преимущество в смысле предохранения поверхности слитков от трещин. Диаметр валков американского блуминга 1118—1016 мм (44—40"), европейского обычно 1150 мм, так как прокатка в калибрах требует большего среднего диаметра. В остальном конструкция современных американского и европейского блумингов в общем сходна, но этот тип мощного блуминга по месту его происхождения следует считать американским.

В конструкции советских блумингов, изготавливаемых Ижорским заводом, нашли свое отражение все наилучшие достижения заграничной техники и сделаны некоторые отечественные усовершенствования. Первый советский дуо-реверсивный блуминг (фиг. 253) рассчитан на прокатку слитков весом 4,5 т в блумсы сечением  $\square$  150 мм и слитков весом 5 и 7 т в блумсы сечением  $\square$  200 мм. Размеры слитков по толстому концу приняты:

для 4,5 т	—	533 × 600 × 1804 мм
" 5 "	—	600 × 600 × 1780 "
" 7 "	—	635 × 762 × 1855 "
" 7 "	—	425 × 1175 × 1800 "

Из последнего плоского слитка прокатываются слябы (плюшки) до максимального сечения 203 × 1168 мм (8 × 46"). Развесы слитков выбраны из тех соображений, чтобы длина раскатанных блумсов не превышала 25 м; в противном случае затрудняется кантование при прокатке. Диаметр рабочих валков был выбран 1150 мм, а диаметр шестерен 1365 мм; в настоящее время предвидится переход на диаметр шестерен 1100 мм, а диаметр валков 1050 мм (по стандарту Гипромеца).

Скорость прокатки выбрана максимально до 7 м/сек в последних пропусках; это определило максимальное число оборотов стана 120 в мин. В первых пропусках скорость снижается до 3 м/сек, что соответствует 50 об/мин. (фиг. 389). В качестве привода блуминга взят мотор постоянного тока 7000 л. с. с установкой Ильгнера. Максимальный вращающий



момент приводного мотора 444 т./м. Для обжатия слитка 7 т сечением 635×762 мм в □ 200 мм необходимо 15—17 пропусков с общей продолжительностью прокатки 1 слитка в 130 сек.

Для нажима и уравнивания верхнего вала применено наиболее совершенное общее электрическое устройство (фиг. 284).

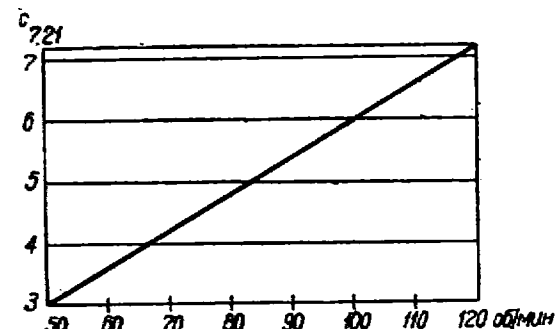
Блуминг снабжен с передней и с задней стороны манипулятором. Левая и правая стороны манипуляторов связаны между собою передаточными валами и действуют одновременно. Привод манипулятора осуществляется от электромоторов при помощи редуктора. Кантовальные крючья и линейки получают самостоятельное движение (фиг. 349).

Блуминг с обеих сторон оборудован рабочими рольгангами около 15 м длиной с максимальной окружной скоростью, соответственно скорости прокатки, до 7 м/сек.

К рабочим рольгангам примыкают раскатные рольганги длиной около 15 м, к ним—с передней стороны рольганг для подачи слитков, а с задней—выводной рольганг, подающий к ножницам. Окружные скорости последних рольгангов 3 м/сек.

Для смены валков служит специальная тележка, вкатываемая сбоку в рабочие станины блуминга (фиг. 322).

**Производительность блумингов.** Выше уже приводилась цифра *производительности*



Фиг. 389. Диаграмма чисел оборотов и скоростей прокатки советского блуминга.

*современного реверсивного одноклетьевого блуминга, принимаемая в I млн. т в год слитков.* Цифра эта, однако, является лишь округленной и ориентировочной средней. Производительность блуминга в большой степени зависит как от конструктивных особенностей его, так и от размера сечения прокатываемых заготовок, веса слитков и калибровки. Наиболее ходким сечением, прокатываемом на современном одноклетьевом реверсивном блуминге, является □ 200 мм, идущее на непрерывно-заготовочные и крупносортные станы. На рельсо-балочные станы прокатывается обычно □ от 200 до 235 мм. Эти сечения составляют 70—80% производительности блумингов. Минимальным сечением, предусматриваемым калибровкой и конструкцией блумингов, является □ 150 мм. Вес применяемых слитков обыкновенной литой стали (в том числе и рельсовой) колеблется от 5 до 7 т; на некоторых блумингах вес доходит до 9—11 т, но это обычно тогда, когда на блумингах одновременно катают и слябы.

Точное определение производительности блуминга при разных условиях его работы имеет громадное значение для проектирования и установления баланса не только прокатных, но и остальных металлургических цехов завода. Производительность блуминга может быть теоретически определена на основе его калибровки.

При решении различных задач, как проектировочного, так и производственного характера, весьма желательно производить быстрые подсчеты производительности блумингов в зависимости от сечения прокатываемых заготовок и веса слитка, но не вдаваясь подробно в вопросы калибровки. В этих целях проф. А. П. Виноградовым предложена эмпирическая формула для определения производительности современного стандартного американского блуминга:

$$P = A + B(c - 100) \text{ т в час,} \quad (1)$$

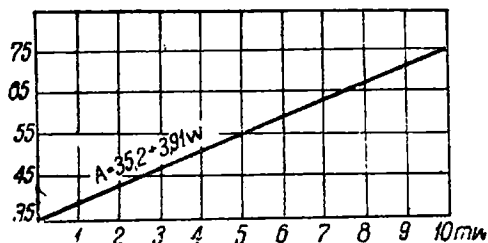
где  $c$  — сторона сечения квадратного бруса, а коэффициенты  $A$  и  $B$  зависят от веса слитка и могут быть определены из следующих выражений:

$$A = 35,2 + 3,91 \cdot W,$$

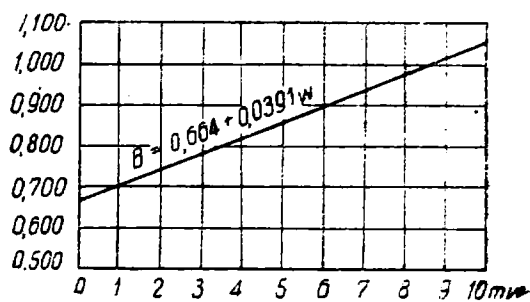
$$B = 0,664 + 0,0391 \cdot W,$$

где  $W$  — вес слитка ( $m$ ).

Графически эти выражения представлены на фиг. 390—391. По подсчетам проф. Виноградова, часовая производительность современного хорошо оборудованного американского блуминга при нормальной калибровке по этой формуле определяется с точностью около 10—15%.



Фиг. 390. Графическое представление выражения  $A$ .



Фиг. 391. Графическое представление выражения  $B$ .

Ниже для удобства пользования в таблице 39 приведена уже подсчитанная по формуле (1) часовая и месячная производительность при 6400 годовых часах рабочего времени. В таблице приняты возможные веса слитков и сечения брусков.

Таблица 39  
Производительность современного американского одноклетьевого дуо-реверсивного блуминга в зависимости от веса слитка и сечения бруса

Вес слитков ( $m$ )	Сечение бруса ( $mm$ )	Производительность ( $m$ )	
		в рабочий час	в год
2	100 × 100	43	275 000
	125 × 125	62	394 000
	150 × 150	80	512 000
	200 × 200	117	753 000
3	125 × 125	66	425 000
	150 × 150	86	550 000
	200 × 200	125	800 000
	250 × 250	164	1 050 000
4	150 × 150	92	587 000
	200 × 200	133	850 000
	250 × 250	174	1 112 000
5	200 × 200	141	900 000
	250 × 250	184	1 175 000
6	200 × 200	149	950 000
	250 × 250	194	1 237 000
	300 × 300	238	1 525 000
7	200 × 200	156	1 000 000
	250 × 250	203	1 300 000
	300 × 300	250	1 600 000

Минимальные сечения для данных весов слитков взяты здесь из тех соображений, чтобы длина блума не превышала 25 м, так как в противном случае затрудняются манипуляции при прокатке.

Из приведенной таблицы следует сделать вывод, что на производительность блуминга гораздо больше влияет размер выпускаемого блума, нежели вес слитка.

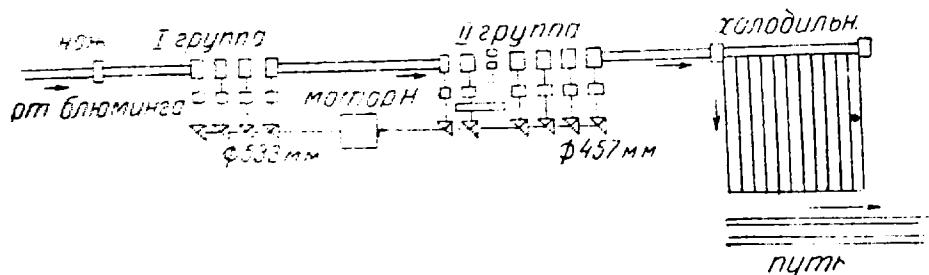
Принятая за нормальную производительность современного американского дуо-реверсивного одноклетьевого блуминга в 1 млн. т в год относится, как видим из таблицы, к слиткам весом 7 т, прокатываемым в блумсы сечением 200 × 200 мм. На том же блуминге из слитка 5 т при прокатке на сечение □ 200 мм можно получить в год 900 000 т проката, а при прокатке слитков весом 4 т на сечение □ 150 мм можно получить в год лишь 587 000 т проката. При прокатке же слитков 7 т, на сечение □ 250 мм годовая производительность достигает 1 300 000 т.

Пользуясь для ориентировочных подсчетов производительности формулой, (1) следует только иметь в виду, что данные, получаемые по таковой относятся лишь в современному американского типа дуо-реверсивному одноклетьевому блумингу. Во всех остальных случаях эта формула, основанная на эмпирических данных о производительности современных дуо-реверсивных одноклетьевых американских блумингов, непригодна, и, оставая ее общий вид, следовало бы каждый раз подбирать коэффициенты А и В. Формула эта непригодна и для определения производительности американского блуминга при прокатке специальных сталей, т. е. в условиях меньших обжатий.

## § 74. Непрерывно-заготовочные станы<sup>1</sup>

На фиг. 392 представлен непрерывно-заготовочный стан для прокатки заготовок и сутунок, установленный по американскому образцу. Перед непрерывно-заготовочным станом имеется блуминг, на котором слиток сечением □ 553 мм в 13 пропусков обжимается до сечения □ 190 мм или в 15 пропусков до □ 165 мм. После блуминга расположен нож, на котором блум может быть разрезан на нужные длины, поступающие затем в 1 группу непрерывного стана с диаметром валков 533 мм.

Число клеток в этой группе — 4, причем в этих клетях имеется по 3 калибра в каждой паре валков. Это сделано из следующих соображений. В подобного типа непрерывных станах с общим мотором для нескольких клеток, т. е. с отсутствием независимого регулирования каждой отдельной клетки, величины вытяжек в каждой клетке должны быть строго



Фиг. 392. Непрерывно-заготовочный стан для прокатки сутунок и заготовок.

согласованы с числом оборотов валков, а так как относительные числа оборотов в каждой клетке неизменны, то и вытяжки также строго определены. Раз это так, то если в такой стан мы будем задавать одно и то же начальное сечение блума, то и получать квадратную заготовку мы будем также неизменного конечного сечения.

В случае же, если желательно получить другое конечное сечение, необходимо изменить и начальное сечение, т. е. задавать другие блумсы, прокатка которых будет производиться с теми же вытяжками. Но, вследствие другого начального сечения в каждой клетке мы также будем получать другие, а не прежние сечения и потому нужно изменить размеры калибров (в случае прокатки в гладких валках, нужно изменить расстояние между валками). Таким

<sup>1</sup> Приводим здесь описание лишь нескольких наиболее типичных и современных прокатных станов.

образом, мы приходим к тому, что для каждого блума много сечения мы должны иметь в калиброванных валках другие калибры, т. е. в непрерывном стане для каждого блума должен быть свой ряд калибров.

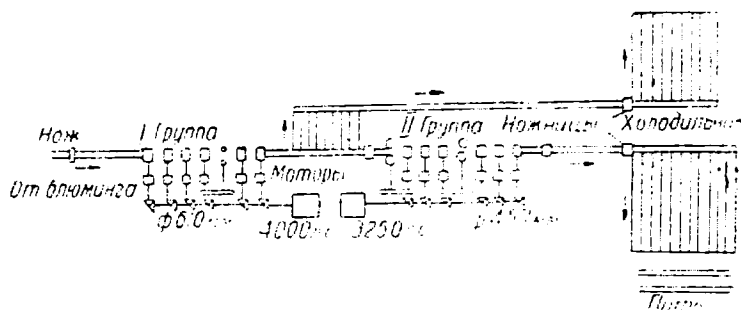
Кроме того, если даже из одного и того же блума катать разные заготовки, например, квадратную и плоскую (на штрипсы, сутунки), то опять-таки потребуются отдельные ряды калибров для квадратной и отдельный ряд для плоской заготовки. Следовательно, число рядов калибров зависит не только от числа разных блумов, идущих в непрерывный стан, но и от числа заготовок, получаемых в этом стане.

В первой группе непрерывного стана с диаметром валков в 533 мм имеется, как указано выше, 3 ряда калибров. Начальные и конечные сечения для них таковы:

Ряд калибров	Начальное сечение (блума)	Конечное сечение (заготовки)
I . . . . .	190 мм	114 мм
II . . . . .	165 "	101 "
III . . . . .	165 "	203×51 "

(для сутунки)

После первой группы на расстоянии, достаточном для полного вмещения штуки вышедшей из этой группы, установлена вторая непрерывная группа, состоящая из 6 пар горизонтальных и 1 пары вертикальных валков. Назначение вертикальных валков — дать полюсам обжатие на ребро. При прокатке квадратной заготовки вертикальные валки бездействуют. Таким образом, без больших изменений и неудобств в одном и том же непрерывно-заготовочном стане можно прокатывать как квадратные, так и плоские заготовки, что представ-



Фиг. 393. Непрерывно-заготовочный стан для прокатки заготовок и сутунок.

ляет особенно большие удобства тогда, когда стан полностью не может быть загружен прокаткой только одних квадратных или плоских заготовок и приходится катать те и другие. Понятно, что в том случае, когда стан может быть загружен полностью прокаткой только квадратных заготовок (в случае большого числа сортовых станов), необходимость в клетях с вертикальными валками (их называют *эджерами*) вовсе отпадает и их можно не устанавливать. Обе группы имеют общий мотор, передача от которого к валкам производится помощью шестерен.

Диаметр валков второй группы непрерывного стана равен 457 мм. Прокатка может происходить либо во всех клетях, либо только в нескольких первых или последних, смотря по тому, какое конечное сечение требуется получить. Если конечное сечение крупное и его можно получить только в первых клетях, то заготовка не подвергается прокатке в остальных клетях, а отводится в сторону, либо пропускается в оставшиеся клетки свободно через специальные вырезы в валках.

Таким путем во второй группе можно получить заготовки следующих конечных сечений (на фиг. приведена схема прокатки в первой и второй группах).

Из заготовки 114 мм	2	клетях в заготовку	89 или 76 мм
"	5	клетях в заготовку	63 мм
"	"	"	51 "
"	"	"	51 "
Из заготовки 101 мм	6	"	45 "
"	6	"	38 "

Из плоской заготовки 203 × 51 мм прокатывается в 6 клетях сутунка.

После выхода из второй группы штука разрезывается на ножницах и попадает на холодильник, откуда краном отгружается в вагоны для переброски к сортовому и проволочному станам.

На фиг. 393 представлен несколько измененного вида непрерывно-заготовочный стан для прокатки заготовок и сутунок, состоящий также из двух групп непрерывно-располо-

жеванных клетей. В первой группе имеется 6 пар горизонтальных и 1 пара вертикальных валков. Поступающий из блуминга блум разрезается на нужные длины на ноже и затем поступает в первую группу клетей, диаметр валков которой равен 610 мм. Здесь блумсы 203 мм прокатываются в заготовки 101 мм или сутунки 203×50 мм. Из первой группы заготовки могут быть помощью шлепперов и рольгангов поданы к ножницам и после резки уложены на особый холодильник. Заготовки такого размера могут пойти на среднесортные и мелкопортные станы.

Полосовая заготовка поступает во вторую группу, квадрат 101 мм также может поступить во вторую группу, имеющую 6 пар горизонтальных и 2 пары вертикальных валков, диаметром 457 мм.

В этой группе 101 мм обжимается на 38 мм, а полосовые заготовки в сутуночные полосы 9,3 мм толщиной и различной ширины.

По выходе из второй группы штуки разрезаются на ножницах и поступают на холодильник, откуда квадратные заготовки отгружаются на мелкопортные и проволочные станы, а сутуночные — на кровельные.

При этом, как и в предыдущем стане, помимо основных размеров заготовок, можно получить также целый ряд других размеров. Для этого можно пользоваться, как указано было выше, разными сечениями блума или производить прокатку не во всех клетях, а пропуская первые или последние.

Из всего сказанного видно, что, несмотря на отсутствие возможности менять вытяжки в клетях, все же указанными приемами удается получить на непрерывном стане довольно значительное число разных размеров заготовок, что очень важно для лучшего сочетания работы заготовочных и сортовых станов.

Что касается формы применяемых калибров, то в первой группе непрерывно-заготовочного стана обычно применяются плоские ручки, во второй ромбические и система квадрат-овал.

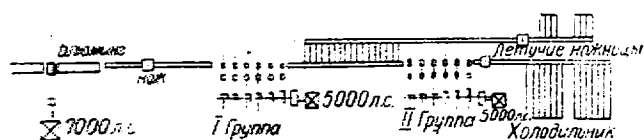
На приведенных заготовочных станах благодаря наличию эджеров (клетей с вертикальными валками) возможна прокатка плоских заготовок. Если непрерывно-заготовочный стан катает только квадратные заготовки для сортовых и проволочных станов, то необходимости в эджерах совершенно нет, и их не ставят. Подобный тип непрерывно-заготовочного стана без эджеров принят на наших советских новостройках и представлен на фиг. 394.

Нагретые в нагревательных колодцах слитки поступают для прокатки в блуминг. Вес слитков 7 и 4,5 т, сечение 762 ×

635 мм и 533 × 610 мм. В блуминге слитки прокатываются до сечения 200 × 200 мм, после чего прокатанная полоса подается к ножу. Полученные блумсы могут быть поданы конвейером в соседний пролет для отправки на сторону, но основная масса их направляется для прокатки в непрерывно-заготовочном стане, состоящем из двух групп.

Первая непрерывно-заготовочная группа состоит из 6 клетей дуо с диаметром валков 610 мм. Вращение от мотора в 5100 л. с. сообщается через коническую зубчатую передачу и шестеренные клетки у каждой клетки. В этой группе блумсы сечением 200 × 200 мм прокатываются в заготовки минимального сечения 100 × 100 мм. Средний коэффициент вытяжки равен 1,26. Число оборотов в первой клетке равно 7,5, в последней 27 в минуту. Раскатанная заготовка либо передается шлепперами на отводящий рольганг, транспортирующий ее к ножу, либо подается во вторую группу. Заготовки из первой заготовочной группы поступают на склад, откуда распределяются на мелкопортные и среднесортные станы, а заготовки непосредственно из блуминга (блумсы) — на среднесортные и крупносортные станы.

Вторая непрерывно-заготовочная группа имеет 6 клетей с диаметром валков 457 мм. Осуществление передачи от мотора той же мощности таково же, как и в первой группе. Перед входом в первую клетку второй группы заготовка обрезается с переднего конца на ножницах, приводимых в движение от вала первой клетки. Во второй группе происходит прокатка



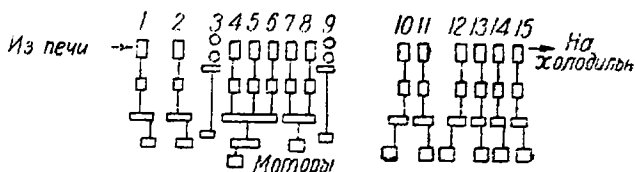
Фиг. 394. Непрерывно-заготовочный стан новых советских заводов

сечения  $100 \times 100$  мм на заготовку, минимального сечения  $40 \times 40$  мм. Средний коэффициент вытяжки 1,36. Число оборотов валков в первой клетке 29, в последней 125 в минуту.

За последней клетью установлены летучие (вращающиеся) ножницы, разрезающие прокатанную катушку на нужные длины. Нарезанные заготовки подаются по рольгангу на стеллажи, сбрасываются в пакетировочные карманы и забираются краном на склад.

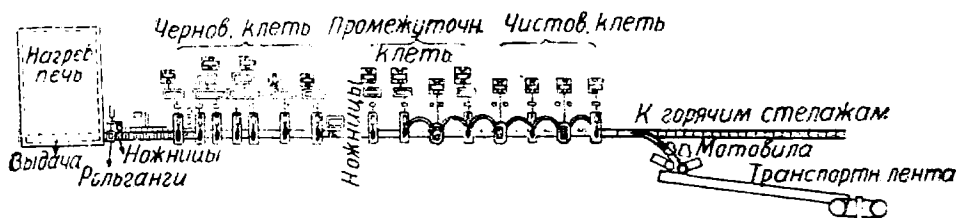
Для автоматического кантования во время прокатки в обеих группах служат винтовые проводки. Диаметры валков в группе несколько увеличиваются от первой пары к последней на 25—50 мм, что позволяет дать несколько меньшее число оборотов валков в последней клетке.

Заготовки из непрерывно-заготовочного стана поступают в сорто-прокатные и проволочные станы, которые имеют преимущественно по-



Фиг. 395. Непрерывный полосопрокатный стан завода Гэри.

лунепрерывное расположение. Прокатка производится непрерывно в обжимной группе клеток и периодически в черновой и чистовой линиях. Таким образом, можно считать, что обжимная группа сортовых и проволочных станов является как бы продолжением непрерывно-заготовочных станов. Остановимся еще на непрерывном стане завода в Гэри (Америка), часть клеток которого имеет самостоятельные (отдельные) моторы (фиг. 395). Этот стан приспособлен для прокатки листовой заготовки, вследствие чего применены клетки с вертикальными валками (эджеры). За исключением средней группы клеток, все остальные клетки приводятся от отдельных



Фиг. 396. Непрерывный стан с отдельными моторами у клеток.

регулируемых моторов. О преимуществах такой передачи уже указывалось выше. Стан этот недавно пущен и может дать до 300 000 т в год листовой заготовки шириною до 650 мм. Мощность моторов от 150 до 3000 л. с. каждый.

В последнее время станы с отдельными моторами у каждой клетки считаются новинкой прокатной техники, и они широко распространяются в Америке, несмотря на удорожание установки вследствие большого числа моторов.

В новейшей литературе сейчас большое внимание начинает уделяться вопросам электротехнического обслуживания подобных прокатных станов, как то: системе электромоторов, их мощности, числу оборотов, передаточным частям стана, системе регулирования моторов и т. п. Нужно сказать, что эти вопросы в сумме своей представляют довольно большую сложность и не нашли еще окончательного своего разрешения.

Приведем еще один пример непрерывного стана с отдельными моторами у каждой клетки. Стан Инляндской стальной компании, представленный на фиг. 396, прокатывает высококачественные сорта стали. Стан чисто непрерывного типа, причем только 2-я и 3-я, а также 4-я и 5-я клетки сдвоены передачей от моторов, все остальные клетки имеют само-

стоятельные моторы. Общее число клетей — 15, из них 7 составляют обжимные или черновые клетки, после которых имеются летучие ножницы для резки полос на нужные длины перед поступлением в последующие клетки. Для возможности прокатки полосовых изделий имеются эджеры. Так как для качественных сталей натяжение металла между клетями может повести к дефектам (надрывы), то *предусмотрена возможность образования боковых петель*.

Таким образом, настройку стана можно держать не с натяжением, как обычно, чтобы избежать риска образования петель, а даже с легким петлеванием, не боясь образования петель, если они находятся в допустимых пределах. По выходе из последней клетки прокатанное изделие может поступить или на холодильник или к моталкам для сматывания в мотки, транспортируемые к охлаждающей ленте. Общая длина пролета стана очень велика — 600 м, так как большое место занимает холодильник (135 м) и отделочные агрегаты.

## СОРТОВОЕ И ПРОВОЛОЧНОЕ ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### § 75. Сортопрокатное и проволочно-прокатное производство

Сортовые и проволочные прокатные станы предназначаются для прокатки весьма разнообразного по характеру и широкого по размерам сортамента. С точки зрения удобств прокатки, последний разбит практикой по станам: имеется сортament *крупносортных станов, среднесортных, мелкосортных и проволочных станов*. Ниже перечислен обычный сортament этих станов.

*Крупносортные станы имеют в своем сортаменте* круглое железо  $\varnothing 50$  — 120 мм, квадратное железо от  $50 \times 50$  до  $150 \times 150$  мм, полосовое железо шириною от 300 мм и ниже, балки и швеллера № 7—20, угловое железо от 75 до 125 мм.

*Среднесортные станы имеют в своем сортаменте* круглое железо  $\varnothing 25$  — 50 мм, квадратное железо от  $25 \times 25$  до  $50 \times 50$  мм, полосовое железо шириною от 120 мм и ниже, угловое железо 100 мм и ниже, балки и швеллера № 5—10, рудничные рельсы.

*Мелкосортные станы имеют в своем сортаменте* круглое и квадратное железо от 10 до 25 мм, полосовое железо шириною 60 мм и ниже, соответствующие размеры мелкого фасонного железа.

*Проволочные станы имеют в своем сортаменте* круглую (и редко квадратную) проволоку  $\varnothing$  от 5 до 10 мм, чаще всего от 5 до 7 мм.

*Указанная разбивка сортамента выработана длительной практикой и в настоящее время принимается за основу при проектировании новых станов*. Естественно, что наряду с этим вырабатывались и типы сортовых и проволочных станов в целях повышения их производительности и приспособления к прокатываемому сортаменту.

*Основным для повышения производительности является отсутствие возвратов штуки при прокатке и прокатка в одной клетке только один раз*. Это ведет к применению непрерывных станов, главной особенностью которых и является прокатка в одной клетке только один раз, а следовательно, отсутствие возвратов штуки. Далее, по характеру прокатки *непрерывные станы различаются на станы с одновремениым прохождением штуки только в одной клетке и станы с одновремениым прохождением штуки в нескольких клетках*. Для станов первого типа характер деформации металла в калибрах не отличается от обычных станов так называемой периодической (в отличие от непрерывной) прокатки. Для станов второго типа характер деформации металла дополняется наличием известного воздействия штуки, одновременно находящейся в двух или более клетках.

Как уже было указано в главе о калибровке, для возможности нормальной работы непрерывного стана с одновременным нахождением прокатываемой штуки в нескольких клетях необходимо, чтобы скорости проходящей полосы были равны скоростям (не учитывая опережения) на окружности калибров валков. В противном случае, когда окружная скорость калибра валков больше скорости штуки, будут возникать *растяжения* последней между клетями, когда же окружная скорость калибра меньше скорости штуки, между клетями будут возникать *петли*. *Образование петель допустимо лишь отчасти при прокатке полосового железа, легко избегаемого в петлю. Петли совершенно недопустимы при прокатке фасонных профилей в виду их порчи, при прокатке профилей массивного сечения, в том числе заготовок, и при прокатке весьма длинных штук (например, проволоки и мелкосортного железа), когда несовпадение указанных скоростей приводит к получению больших петель между близко последовательно расположенными клетями непрерывного стана. Для гарантии отсутствия петель в таких случаях прибегают к легкому натяжению штуки между клетями, чего можно добиться соответствующей настройкой валков.*

Натяжение сказывается на получаемом профиле, давая некоторое его *недовыполнение*. Последнее безопасно и допустимо при прокатке профилей, от которых не требуется точность сечения, например: заготовок, проволоки (идущей обычно для дальнейшей протяжки), но совершенно недопустимо для фасонных профилей (т. е. для среднесортных станов). Здесь натяжение не дает возможности правильно заполнить фасонные калибры, деформация металла в которых отличается сложностью. Прокатка с натяжением штуки должна быть избегаема также в последних (чистовых) клетях мелкосортных станов.

Из сказанного следует, что *чисто непрерывное расположение клеток пригодно главным образом только для заготовочных, полосопрокатных (листовых) и проволочных станов, отчасти для мелкосортных станов*, что и имеет в настоящее время большое распространение. Широкое применение получили также *полунепрерывные прокатные сортовые и проволочные станы*, в которых обжимные клетки расположены непрерывно, а чистовые для получения точного профиля *периодически: или в одну линию, или наиболее часто в шахматном или зигзагообразном порядке, или в несколько линий (ступенчато)*. Вместе с этим для прокатки наиболее тяжелых профилей целесообразно применение станов в одну, две или три линии, оборудованные для ускорения прокатки *подъемными столами, рольгангами и шлепперами*. На старых заводах еще в большом количестве имеются станы с малой производительностью в одну линию, или с выносом обжимной клетки, реже с разделением на три линии: обжимную, черновую и чистовую.

Ниже описываются наиболее типичные крупносортные, среднесортные мелкосортные и проволочные станы.

## § 76. Крупносортные прокатные станы

*Крупно-среднесортный стан* зав. им. Петровского, описанный ниже, принадлежит к числу *старых несовершенных, типичных для старых европейских заводов, станов* (фиг. 397). Стан состоит из трех клеток трио и одной клетки чистового дуо, расположенных в одну линию с общим приводом от электромотора 1200 л. с., 97 об/мин. Маховик имеет вес 62 т и диаметр 7,5 м. Диаметр валков 560 мм. Первая (обжимная) клетка трио оборудована с передней стороны приводным рольгангом и передвижной линейкой, а с задней стороны подъемным качающимся столом с приводным рольгангом. Вторая и третья клетки трио рольгангов и подъемных столов не имеют. Отделочная (чистовая) клетка дуо имеет рольганг с задней стороны.

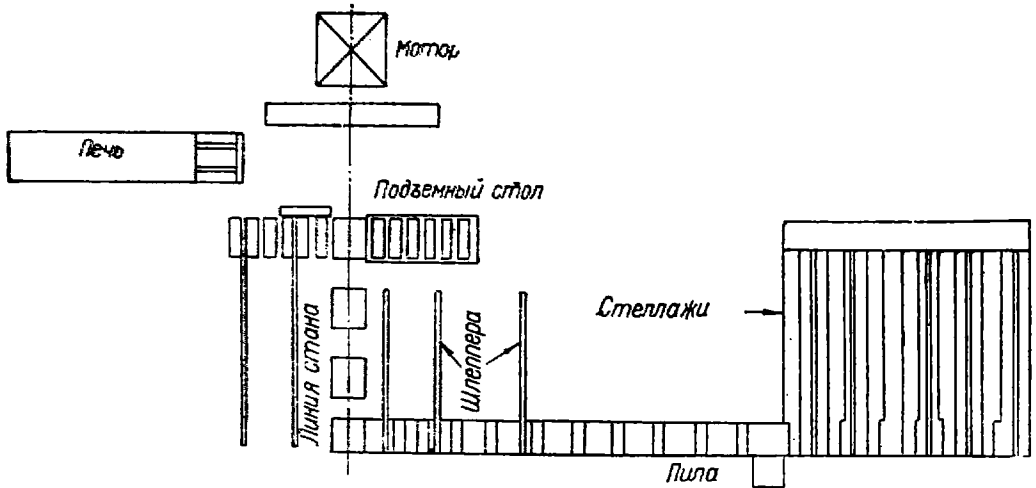


С средней стороны стана имеются шлеппера с 2 дорожками, а с задней стороны шлеппера с 3 дорожками. Шлеппера с передней стороны захватывают вес 4 клетки, с задней 2, 3 и 4 клетки.

Стан обслуживается нагревательной методической двухрядной печью внешними размерами  $19 \times 4,6$  м, работающей на угле и нефти.

На расстоянии 29,5 от оси стана расположена круглая дисковая пила для горячей резки проката; в сторону от пилы находятся горячие стеллажи.

Производительность стана равна в среднем 12 т/час фактической работы. Сортамент изделий, прокатываемых на стане из слитков  $\square$  200—150, весьма широк:  $\bigcirc$  и  $\square$  от 50 до 100 мм, полосы шириною до 200 мм при



Фиг. 397. Крупносортовый прокатный стан старого типа.

различной толщине, рудничные рельсы, швеллера и балки до № 12, рельсовые накладки и некоторые профили специального назначения.

*Недостатки установки* — недостаточная мощность электродвигателя стана, отсутствие механизации черновых клеток и неполная механизация обжимной клетки, недостаточные стеллажи. *Основным же недостатком является, расположение всех клеток стана в одну линию*, вследствие чего нельзя произвести нужную дифференциацию скоростей прокатки. В то время, как для обжимной клетки 97 об/мин. являются достаточными, в черновых клетках было бы желательно иметь около 150 об/мин. Основным мероприятием для реконструкции стана являлся бы вынос обжимной клетки в отдельную линию.

*Стан 500 мм Гэри<sup>1</sup>* (фиг. 398). Стан имеет 2 методических печи для блумсов до 4,5 м длиной, отапливаемые коксовальным газом; выдача нагретых блумсов — с торцевого конца.

Горячих ножиц между печью и станом не было. Как увидим ниже, на мелкосортных и проволочных станах длинная заготовка по выходе нагретой из печи предварительно до поступления в 1-ую клетку стана разрезается на части, соответственно длине и весу готового изделия.

Стан состоит из 8 клеток дуо (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9) и одной клетки трио (5), в которой прокатка производится лишь по одному пропуску. Таким образом, прокатка происходит максимум в 9 пропусков. Первые 5 клеток расположены непрерывно.

Прокатка производится на трех различных уровнях:

на уровне пола (0),	для клеток 1 — 2 — 3 — 4 — 5,
" — " — 500 мм	" " " " " " " " " " 6 — 7
" — " — 1000	" " " " " " " " " " 8 — 9

Между клетками 5 — 6 и 7 — 8 имеются шлеппера с бесконечными канатами.

Стан приводится в движение одним общим мотором трехфазного тока 6600 вольт, 25 периодов, мощностью 4000 л. с. с постоянным числом 147 об/мин. Холодильник горизонтальный, двойной, рельсовый, длиной 54 м. Шлеппер у подводящего рольганга с линейками, а у отводящих рольгангов — 2 шлеппера с пальцами. На пути выхода прокатанной по-

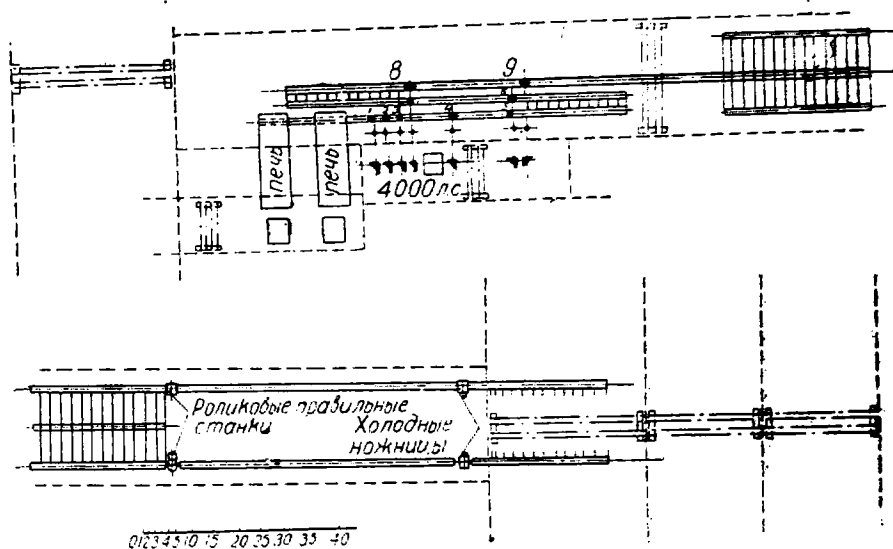
<sup>1</sup> Описание ряда приводимых здесь станов дано Ришармом.

лосы расположены два роликовых правильных станка для углового железа и двое холодных ножниц с упорами.

Для этого стана применялись блумсы сечением от  $98 \times 98$  мм до  $207 \times 267$  мм длиной 4,5 м. Наибольший вес прокатываемого блума 1930 кг, соответствовал размерам  $207 \times 267 \times 4500$  мм.

Стан прокатывал круглое железо диаметром от 51 до 152 мм, соответствующие размеры квадратного железа, полосовое от 102 до 178 мм шириной и толщиной от 6,3 до 51 мм, рельсовые подкладки и угловое железо от 77 до 102 мм. Тавровые и швеллерные балки на этом стане не прокатывались. В случае углового железа уже на 3-й клетке прокатывался черновой профиль; из этого следует, что было бы правильно добавить для этого стана еще одну клетку.

Месячная производительность стана достигала 20 000 т при работе в две 10-часовые смены. За 10 часов стан прокатывал до 550 т. Средняя месячная производительность стана 16 500 т при работе в две 10-часовые смены.



Фиг. 398. Стан 500 мм завода Гэри.

Стан 525 мм № 2 завода Саус Чикаго (фиг. 399). Горячие блумсы двумя 5-т загрузочными мостовыми кранами забираются у ножниц блуминга, загружаются в две нагревательные печи и, после подогрева в них, выгружаются оттуда для дальнейшей прокатки. Обе печи типа Сименса с 5 окнами имели под размером  $4,2 \times 10,2$  м и отапливаются генераторным газом; подогреву подвергаются обычно все блумсы.

Мотор мощностью 3000 л. с., делающий 91 об/мин., приводит в движение посредством конических шестерен первые 7 клеток стана; другой мотор мощностью 1000 л. с., делающий 130 об/мин., соединен непосредственно с 8-й чистовой клеткой стана. Оба мотора трехфазного тока, 2200 в., 25 периодов.

Стан состоит из 8 клеток, из которых 2 трио и 6 дуо, число пропусков — 10. Такой тип стана носит название зигзагообразного, или кросс-контри. Диаметр и длина валков, число оборотов и число пропусков показаны в таблице 40. Клетки 1—2—3—4 расположены в одной группе и соединены между собой рольгангами на одном уровне (А), рольганги подводят прокатываемую штуку к верхним ручьям 5-й клетки трио.

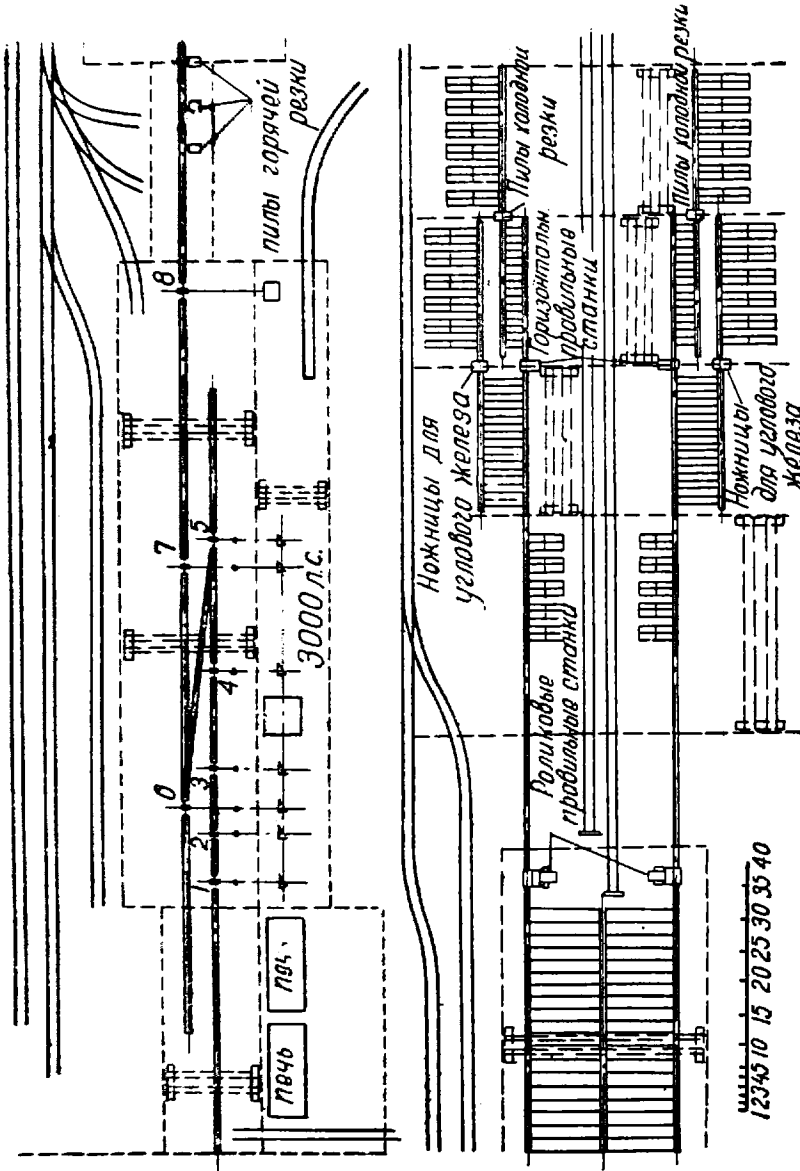
Таблица 40

Данные стана завода Саус Чикаго

Наименование	Число пропусков	Диаметр шестерен (мм)	Диаметр валка (мм)	Длина валка (мм)	Число оборот. в мин.
1-я клетка дуо . . . . .	1	600	625	1100	27
2-я " " . . . . .	1	600	625	1100	35
3-я " " . . . . .	1	600	625	1100	50
4-я " " . . . . .	1	600	625	1100	65
5-я " трио . . . . .	2	600	625	1200	80
6-я " " . . . . .	2	525	575	1200	100
7-я " дуо . . . . .	1	525	575	900	120
8-я " " . . . . .	1	525	575	900	130

Горизонтальный скошенный (наклонный) рольганг (уровень В) соединяет нижние ручки 5-й клетки трио с верхними ручьями 6-й клетки трио. Горизонтальные рольганги (уровень С) соединяют нижние ручки 6-й клетки с 7-й, 8-й клетями. Итак, рольганги стана находятся в трех различных уровнях: А, В и С. Кроме того, здесь следует отметить, что в этом крупно-среднесортном полу-непрерывном стане прокатка производится одновременно только в одной клетке, что применяется при слитках большой толщины.

На пути выхода прокатываемой штуки находятся три горячих пилы, из которых третья — на расстоянии 40,5 м от 8-й чистой клетки. Таким образом, максимальная длина прокатываемой полосы могла быть 39 м.



Фиг. 399. Стан 525 мм № 2 завода Слус Чикаго.

Холодильник, двойной, длиной 38,4 м. Кроме того, имеются два роликовых правильных стана, две ножницы для углового железа, два горизонтальных последовательных правильных стана и две холодных пилы.

Американская практика при прокатке профильного железа установила следующий порядок. Сначала производится разрезка при пиле ширины двух пил, причем горячие полосы разрезаются на длинные части, которые затем поступают на холодильник и правятся, после чего в холодном состоянии разрезаются на короткие полосы на ножницах или на холодных вилах.

Описываемый стан прокатывает бумсы сечением до 204×204 мм, 3,6 м длины, весом 1160 кг. Стан прикатывает следующий соргамент: тауровые балки от 102 до 204 мм, швел-

лера от 102 до 204 мм, угловое железо от 76 до 127 мм, двутавровые балки от 102 до 127 мм, круглое железо диаметром от 77 до 102 мм, рельсовые подкладки и накладки.

Рек ражая производительность для этого става составляла: углового железа 127 мм — 112 т в час; в одну 10-часовую смену — 639 т, в две 10-часовые смены — 1160 т, в один месяц — 20 800 т.

Стан прокатывал до 180 000 т профильного железа в год. Выход одного из блумса составляет 87%.

Стан обслуживался следующими мостовыми кранами:

- а) печной пролет имеет два 5-т загрузочных крана;
- б) главный пролет имеет два 50-т крана со вспомогательной тележкой в 15 т;
- в) пролет, где помещается двигатель, — 1 кран грузоподъемностью в 50 т;
- г) пролет, где находится холодильник, — 1 кран в 15 т;
- д) четыре пролета для правки и склада обслуживаются 6 разными мостовыми кранами.

Итого — 12 мостовых кранов.

Сравним описанный стан 525 мм со станом 500 мм за № 1 Гэри.

Две методических печи Гэри загружаются холодными блумсами 4,5 м длины; две печи Сименса стана 525 мм Саус Чикаго получают горячие блумсы длиной 3,6 м.

Достигнутые цифры месячной производительности почти одинаковы для обоих станов: 20 000 т и 20 800 т.

Стан Гэри имеет 9 клетей, из которых 3 — для непрерывной прокатки, что не дает стану большой гибкости, тогда как стан Саус Чикаго имеет 10 клетей, расположенных на таком расстоянии одна от другой, что прокатываемая полоса никогда не бывала захвачена валками двух клетей сразу (последовательная прокатка).

У стана Гэри можно иметь лишь 5 профильных ручьев, которых часто бывает недостаточно; у става же Саус Чикаго бывает до 10 профильных пропусков, как, например, для широко фланцевых двутавровых балок 127×127 мм. В результате описываемый стан мог прокатывать всевозможные профили, тогда как завод Гэри выпускал лишь угловое железо.

У стана Гэри для перехода прокатываемой полосы с одной продольной линии на другую служат два шлеппера, а у описываемого става — косяк рольганг. Последнее обстоятельство имеет то неудобство, что прокатываемая полоса поступает в 5-ю и 6-ю клетки под углом.

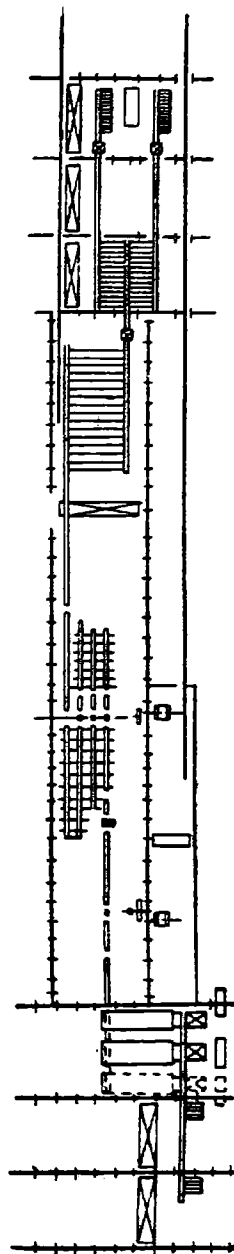
Отделка прокатанной полосы у стана Гэри производится только для угольников, достаточно хорошо выправляемых роликовым правильным станком и затем разрезаемых на холодных ножницах.

На описываемом стане производится отделка всех прокатываемых профилей, а не только углового железа, которое проходит лишь роликовый правильный станок и затем разрезается на двух ножницах для угольников. Другие профили, пройдя роликовый правильный станок, который дает удовлетворительную правку в вертикальном направлении, но не совсем достаточную в горизонтальном, поступают для дальнейшей правки в горизонтальном направлении в другие правильные станки. Правильные станки для правки в вертикальном направлении неудобны вследствие невозможности пользоваться при них приводными рольгангами спереди и сзади станка. После правки на последовательных горизонтальных правильных станках профили идут к двум холодным пилам для разрезки на мерные длины. Пилы разрезают все профили.

**Крупносортовый прокатный  $D_0=500$  мм стан по проекту стандарта Гипромеца (фиг. 400).** Стан питается блумсами 200×200 мм непосредственно с блуминга и заготовкой 150×150 мм, получаемой с первой непрерывно-заготовочной группы. Стан состоит из 5 клетей, расположенных в 2 линии.

**Первая обжимная линия** состоит из одной обжимной клетки трио  $\emptyset$  валков 700 мм. Клеть с обеих сторон оборудована подъемными столами. Валки приводятся во вращение от электромотора переменного тока 1100 кв, 600 об/мин. через редуктор.

**Вторая отделочная линия  $\emptyset$  500 мм** состоит из 3 клетей трио и 1 клетки дуо (чистой). Клетки трио оборудованы с задней стороны подъемными



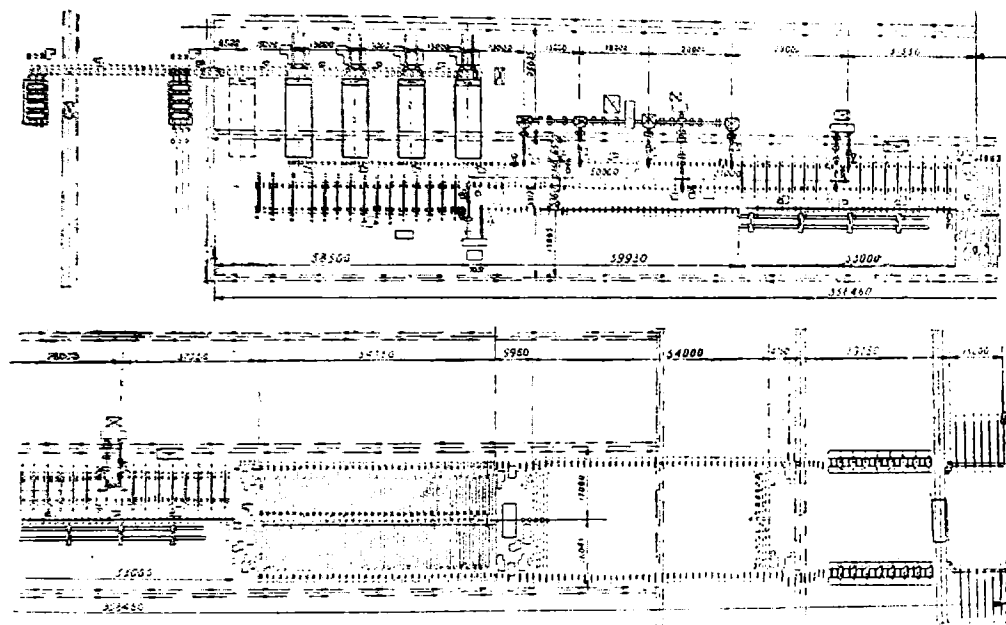
Фиг. 400. Крупносортовый стан 500 мм по проекту Гипромеца.

столами. Валки приводятся во вращение от электромотора 2250 кв, 360—590 об/мин. через редуктор.

Расстояние между первой и второй линиями равно 65 м. Стан оборудован рольгангами, шлеперами, ножницами для обрезки переднего конца заготовки и дисковой пилой для резки готовой полосы в горячем состоянии.

Разрезанные изделия поступают для остывания на стелюги, затем подаются по рольгангу к правильной машине, откуда по рольгангу и через промежуточные стелюги передаются или к ножницам (для разрезки сортового железа) или к пиле (для разрезки швеллеров и балок). Предельная производительность стана равна 200 000 т в год проката.

Как видно, для прокатки крупных сортов на стороне полунепрерывных станов нет особых преимуществ в производительности, вследствие



Фиг. 401. Крупноразмерный стан 500 мм Магнитогорского завода.

чего проектом стандарта Гипромеца и предусмотрен для производительности 200 000 т в год механизированный стан в две линии (с выносом обжимной клетки).

Крупноразмерный стан  $D_0=500$  мм Магнитогорского завода (фиг. 401). Стан запроектирован для прокатки следующего сортамента: двутворное железо № 10—20, швеллерное железо № 12—18, угловое железо от  $80 \times 80$  до  $180 \times 180$  мм, полосовое железо от  $100 \times 12$  до  $60$  и от  $200 \times 12$  до  $40$  мм, круглое и квадратное железо от  $42$  до  $80$  мм, рельсы рудничные от  $9$  до  $18$  кг/пог. м.

Прокатка ведется из заготовок, получаемых из 1 непрерывно-заготовочной группы или непосредственно из блуминга, сечением от  $210$  мм и ниже при длине  $4,5$  м.

Перпендикулярно зданиям блуминга и впереди всех сортовых станов располагается заготовочное здание из 3-х пролетов, в котором сортируется большая масса заготовок по размерам и качеству и распределяется для прокатки на сортовых станах.

Для транспортирования заготовок со склада заготовок к печам служит рольганг, идущий от заготовочных пролетов к 5 печам. По бокам рольганга имеется 2 решетки, на которые складывается заготовка кранами.

Решетки снабжены шлепперами, которые способны двигать одновременно до 8 заготовок сечения 200×200 мм.

Рольганг, подводющий заготовку к печам, длиной 96 м, размерами роликов  $\varnothing$  600 мм и длиной бочки 1700 мм, имеет 5 самостоятельных приводов с конической передачей. В пределах рольганга вблизи каждой печи ставятся подъемные приспособления, при помощи которых группа заготовок поднимается на высоту рабочей плиты печи. Рядом с этими подъемными приспособлениями, из коих предварительно устанавливаются только 3 для предусмотренных пока 3 печей, стоят 3 толкающих прибора.

Между подъемными приспособлениями и печью имеется еще короткая решетка, через которую должны проходить загружаемые в печь заготовки, вследствие чего перед каждой печью накапливается небольшой запас заготовок. Приспособление для подъема болванок устроено так, что после приподнимания его во время работы толкающего прибора, другие заготовки могут беспрепятственно проходить под подъемным приспособлением и могут быть загружены и другие печи.

Перед печами в транспортирующем рольганге устанавливаются весы для взвешивания заготовки с автоматическим аппаратом для записи веса 1 штуки.

Нагревательные печи для стана рассчитаны на длины заготовки в 4,5 м производительностью 30—33 т/час, с подвесными сводами, топливо—смесь доменного и коксового газов. Производительность стана до 180 т в час.

Заготовки в печах передвигаются толкающими приборами (вталкиватели), а с передней торцевой стороны печи выдаются на печной рольганг, подающий в первую клетку стана.

Печной рольганг подобно тому, как и транспортный, разделен на три части, каждая из которых имеет свой независимый привод, так что, в зависимости от свободы пути, заготовка может быть остановлена или пущена в ход.

Размеры рольганга: длина 40 м,  $\varnothing$  роликов 450 мм и длина роликов 700 мм.

Прокатный стан состоит из 9 клеток, расположенных по трем линиям (продольным).

Первые 4 клетки с валами диаметром 630 мм и приводятся в действие моторам в 3000 л. с. при 300 оборотах в минуту. Работа мотора сообщается при посредстве передачи цилиндрическими шестернями на продольный вал, делающий 75 оборотов в минуту, который при посредстве 4 конических зубчатых передач приводит в действие через шпинделя и соединительные муфты шестеренные валки и валки рабочей клетки.

Следующая, 5-я, клетка имеет валки диаметром 540 мм. Длина бочек у всех валков 9 клеток равна 905 мм. Позади 5 клетки происходит передача прокатываемого материала в поперечном направлении при посредстве шлеппера в сторону второй линии. На второй линии расположены клетки 6-я, 7-я и 8-я. Позади 8-й клетки происходит передача полос шлепперами в поперечном направлении в сторону третьей линии, на которой установлена последняя 9-я отделочная клетка.

Клетки 5-я и 6-я приводятся в действие от мотора при посредстве двойной цилиндрической зубчатой передачи, такой же привод поставлен и у клеток 8-ой и 9-ой, тогда как клетка 7-я имеет отдельный мотор с одинарной цилиндрической передачей.

Приводной мотор первых 4 клеток—трехфазного тока без регулировки скоростей, а приводные моторы для отдельных клеток рассчитаны на постоянный ток с регулировкой числа оборотов от 300 до 600 в минуту. У обоих двойных приводов мощность равна 2500 л. с., у одинарного привода 1500 л. с.

Транспортирование прокатываемого материала между прокатными клетками производится рольгангами, причем последние до 3-й клетки такие же,

Таблица 41

## Скорости прокатки

Клетки	м/сек	Клетки	м/сек
1 . . . . .	0,9	6 . . . . .	1,8 до 3,6
2 . . . . .	1,15	7 . . . . .	2,25 до 4,5
3 . . . . .	1,56	8 . . . . .	2,65 до 5,3
4 . . . . .	2,00	9 . . . . .	3 до 6
5 . . . . .	1,4 до 2,8		

как и печной рольганг, т. е. с приводом при посредстве конических колес, тогда как остальные рольганги до первой пилы оборудованы электро-роликками системы Демаг.

*Можно ограничиться в некоторых случаях 7 проходами вместо 9, для чего позади 4-й клетки устроена шлепперная система, при помощи которой металл от 4-х клеток может быть продвинут непосредственно к 7-й клетки второй линии.*

Перед каждой клетью имеются кантовочные аппараты. После выхода из 9-й клетки полоса попадает в сферу рольганга пил. Рольганг у пил получает привод посредством конических зубчаток, размеры его: диаметр роликов 400 мм и длина роликов 680 мм.

Для подразделения тех полос, которые должны распиливаться, служит 5 пил, из коих 4 могут передвигаться по направляющим, тогда как ближайшая к стелюге последняя пила устанавливается неподвижно. Позади этой последней пилы имеется форштос.

После выхода из рольганга пил полоса попадает на входной рольганг стелюги, которая расположена по обеим сторонам последнего. Стелюга состоит из входного рольганга длиной 56 м, диаметром роликов 400 мм и длиной роликов 680 мм с приводом конических зубчаток системы канатных шлепперов, из 8 шлепперных путей для транспортирования полос с рольганга на стелюгу, собственно цепной стелюги, состоящей из 75 шлепперных путей, системы вимплеров для передачи материала со стелюг на отводящий рольганг, состоящий из гребенок, которые расположены парно, плотно друг к другу и приводятся в движение посредством двух поставленных под углом 180° эксцентрикков наподобие эксцентрикковых стелюг.

Для транспортирования материала от стелюг к ножницам и правильным машинам с обеих сторон стелюги имеются отводящие рольганги длиной 124 м каждый, состоящие из электрораликов  $\varnothing$  300 мм и длиной 1000—1400 мм. В конце стелюги с каждой стороны устанавливаются 2 ножниц для холодной резки.

Позади отводящих рольгангов расположены правильные машины; пока предполагается поставить только 2 правильные машины, но если они не справятся с программой прокатки, то будут поставлены еще две.

За правильными машинами располагаются отгрузочные рольганги с индивидуальным приводом роликов и отгрузочные приспособления.

Для обслуживания и монтажа стана и моторных помещений устанавливаются 2 мостовых электрических крана с пролетом 31,5 м, грузоподъемностью 30/7,5 и 5 т и один мостовой электрический кран с пролетом в 24 м, грузоподъемностью 25/5 т.

## § 77. Среднесортные прокатные станы

Описываемый ниже среднесортный прокатный стан зав. им. Петровского принадлежит к числу старых типов станов, распространенных на старых европейских заводах. Стан (фиг. 402) имеет две линии, приводимых помощью канатной передачи от общего электромотора трехфазного тока 2000 л. с., 210 об/мин. Чистовая (отделочная) линия  $\varnothing$  430 мм соединена с мотором

непосредственно и имеет 4 клетки трио и одну клетку (чистовую) дуо. Обжимная клетка  $\varnothing 465$  мм вынесена на расстоянии от чистовой линии, имеет маховик весом 30 т и делает 120 об/мин. С передней стороны обжимная клетка оборудована кантовальными щитами и приводным рольгангом. Кроме этого, никакой механизации на стане не имеется. Между обжимной и чистовой линиями находится нож для обрезки переднего конца заготовки. Для резки готовых полос служит дисковая пила. Стеллажей нет; разрезанные полосы остывают на плитах и убираются с территории стана мостовым краном.

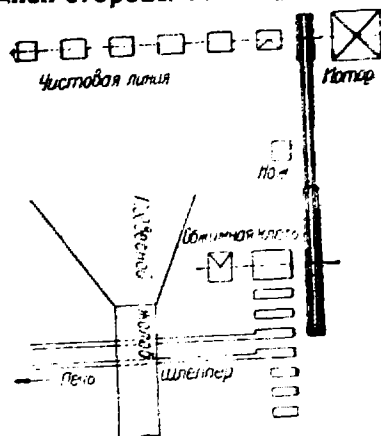
На стане прокатывается из слитков  $\square$  150 мм круглое железо 40—45 мм, полосы от 45 до 65 мм шириною и разной толщины, рессоры, рудничные рельсы, уголки 50×50 мм, 60×40 мм и 60×60 мм. Производительность стана в горячий час достигает максимально 15 т, в среднем же 10 т.

Недостатками стана являются теснота территории, отсутствие механизации чистовой линии, а также излишне высокая скорость прокатки на крупных сортах, благодаря отсутствию регулировки числа оборотов.

Стан 350 мм ГЭРИ типа кросс-контри (зигзагообразный) (фиг. 4С3) Стан имеет 2 методических однорядных нагревательных печи, отапливаемых генераторным газом. Длина блума 4,5 м. Из 8 клеток стана 5 клеток дуо, 2 трио и 1 клетка с вертикальными вальками, помещенная впереди чистовой клетки. Вследствие большого расстояния между клетями прокатываемая штука находится одновременно лишь в одной клетке. В клетях дуо производится по 1 пропуску, в трио — по 2 пропуску, итого 9 пропусков (не считая клеток с вертикальными вальками).

Клетки трио (5-я и 6-я) не имеют подъемных столов, прокатываемая штука после пропуска падает на рольганг и возвращается им к клетке; между 5-ой и 6-ой клетями имеется наклонный рольганг.

Первые 6 клеток приводились от мотора трехфазного тока 3200 л. с., 94 об/мин., 7-я клетка имеет отдельный мотор в 650 л. с., 188 об/мин. Число пропусков, окружная скорость валков и число их оборотов в каждой клетке указаны в таблице 42.



Фиг. 402. Среднесортный прокатный стан старого типа.

Таблица 42

Данные среднесортного стана 350 мм зав. Гэри

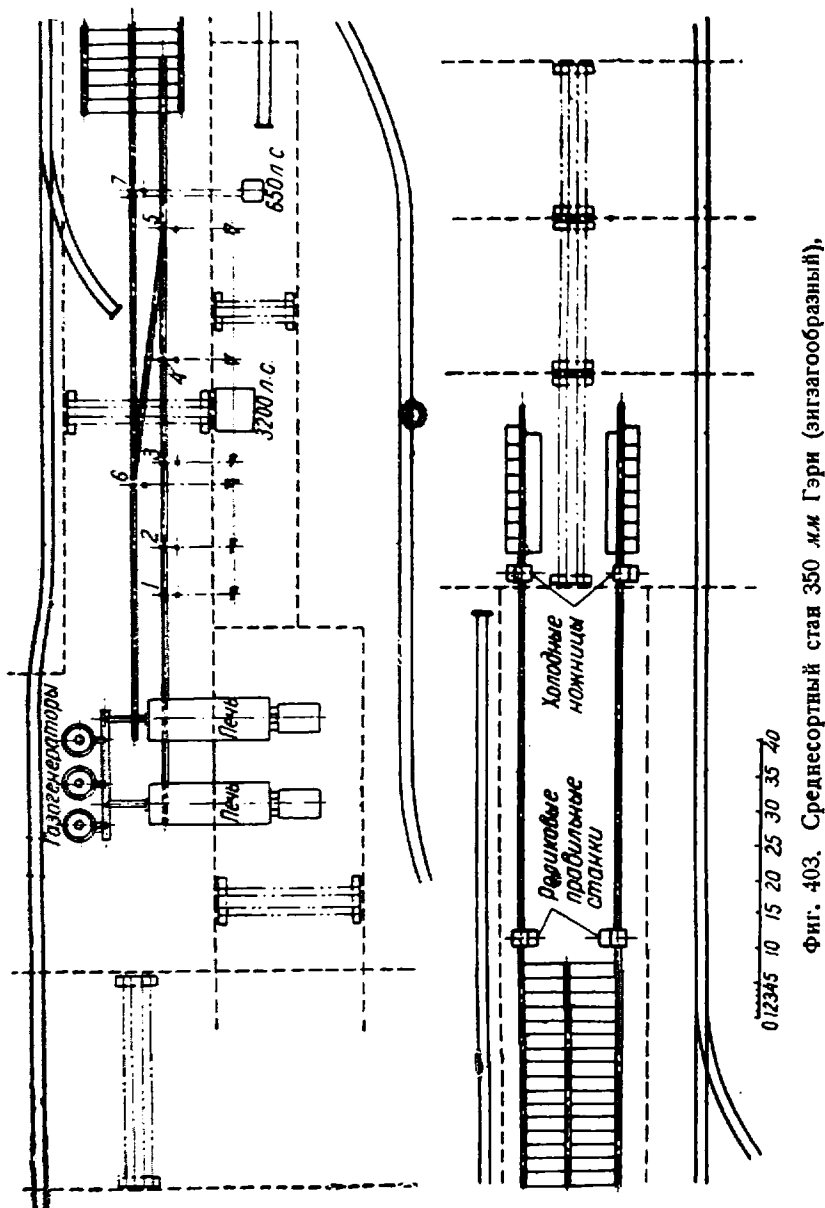
Наименование клеток	Число пропусков	Число оборотов в мин.	Окружная скорость валков (м сек)
1 клетка дуо . . . . .	1	40	0,72
2 " " . . . . .	1	55	1,01
3 " " . . . . .	1	75	1,38
4 " " . . . . .	1	95	1,75
5 " трио . . . . .	2	140	2,59
6 " " . . . . .	2	191	3,49
7 " дуо . . . . .	1	190	3,48
ИТОГО . . . . .	9		

Двойной холодильник имеет 45 м в длину и 13,8 м в ширину. На холодильнике, состоящем из рельсов, полосы передвигаются шлепперами и стаскиваются на отводящие рольганги, в конце которых установлено 2 роликовых правильных ставка и 2 холодных ножица с механическим упором.



На стане прокатываются блюмы сечением  $127 \times 127$ ,  $114 \times 114$  и  $98 \times 98$  мм. Сортамент става, таков:  $\square$  и  $\square$  от 32 до 77 мм, полосовое железо до 127 мм шириной, угловое железо от 65 до 89 мм, двутавровое и швеллерное железо 77 и 102 мм. Месячная производительность стана около 11 000 т при работе в две 10-часовые смены.

Остановимся теперь на описании *среднесортного стана полунепрерывного типа, принятого нашими проектными организациями, как стандартный тип* (фиг. 404). Стан имеет диаметр 350 мм (по диаметру чистовых



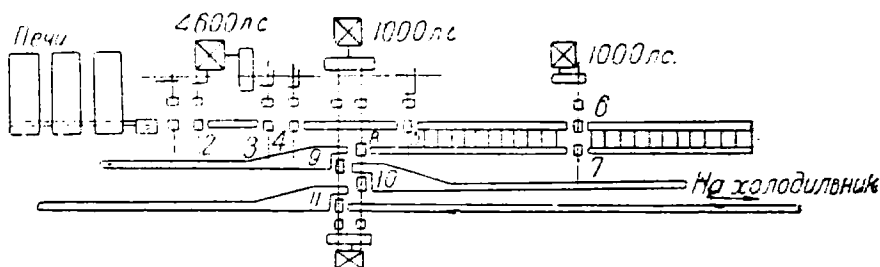
Фиг. 403. Среднесортный стан 350 мм Гэри (зигзагообразный),

клетей). Заготовка сечением  $150 \times 150$  мм и  $100 \times 100$  мм поступает из 1-й непрерывной заготовочной группы. Стан катает круглое железо от 25 до 75 мм  $\varnothing$ , квадратное от 22 до 70 мм  $\square$ , полосовое 150 мм и ниже, угловое 100 мм и ниже, балки и швеллера № 5—10.

Первые 7 клеток стана, являющиеся обжимными и черновыми, имеют диаметр 450—400 мм. Расположены они следующим образом: *первые 4 сгруппированы по 2 клетки вместе; расстояние между остальными клетями таково, что прокатка происходит одновременно только в одной клетке, из-за необходимости ранней профилировки при прокатке некоторых про-*

филей; 6-я и 7-я клетки расположены не последовательно, как предыдущие, а рядом в одну линию. Это сделано ради уменьшения общей длины пролета стана и без того достигающей вместе с печами и складом 350 м. Валки первых пяти клеток имеют или общий мотор мощностью 4600 л. с., передача от которого осуществляется с помощью общего вала и шестеренных конических колес, или клетки попарно приводятся отдельными моторами.

Чистовые 4 клетки с диаметром валков 350 мм расположены в так называемом шахматном порядке, при котором полоса в каждой клетке прокатывается только один раз. Из одной клетки в следующую полоса передается ролями, часть роликов которых расположена под некоторым углом к оси роляганга (косой роляганг). При вращении косых роликов полоса получает не только поступательное движение, но и перемещение в сторону, т. е. к следующей клетке. Для точного направления в калибры служат щиты. Валки по две пары приводятся от двух одинаковых моторов в 1000 л. с.



Фиг. 404. Среднесортный полунепрерывный шахматный стан по проекту Гипромеза.

Прокатка может происходить в 9 и в 11 пропусков, для чего с одной и с другой стороны линии с 6-й и 7-й клетками имеются передаточные шлеппера. Если прокатка производится в 9 пропусках (при наиболее крупном сортаменте стана), то линия с 6-й и 7-й клетками останавливается.

Поступающее из последней клетки по ролягангу готовое изделие попадает на холодильник длиной в 75 м и площадью в 900 м<sup>2</sup>. Тип холодильника двусторонний, что дает возможность работать на 2 правильных машинах и 2 ножницах. Нарезанные изделия поступают в пакетировочные карманы, откуда забираются мостовым краном. Подробнее об отделочной мастерской сказано на стр. 290—291. Ширина пролета стана 25 м. Производительность стана 180 000 т в год, т. е. в среднем около 170 т в смену или 25 т в час.

Описанные типы станов: кросс-контри и шахматный в настоящее время являются наиболее распространенными среднесортными полунепрерывными станами. Главное их преимущество — сравнительно небольшая длина, благодаря зигзагообразному и шахматному расположению чистовых клеток, и высокая производительность, благодаря непрерывному расположению обжимных клеток и возможности прокатки в стане одновременно нескольких полос. Кроме того, эти станы весьма удобны при широком сортаменте.

## § 78. Мелкосортные прокатные станы

На фиг. 405 дан мелкосортный прокатный стан старого типа зав. им. Петровского, распространенный на старых европейских заводах. Стан  $\varnothing$  330 мм имеет две линии: обжимную и чистовую. Обжимная линия имеет 1 обжимную клетку трио  $D_0 = 500$  мм, чистовая линия имеет 2 клетки трио и 3 клетки дуо-переменное и 1 клетку дуо-чистовую. Привод обжимной и чистовой линий осуществляется от общего электродвигателя, расположенного по оси чистовой линии, 1600 кв, 300 об/мин. Передача вращения на обжимную

линию производится помощью каватной передачи через шкив и маховик диаметром 6,3, весом 30 т. Число оборотов обжимной клетки 119 об/мин.

В обжимной клетке производится 9 пропусков. Клеть оборудована с передней стороны приводным рольгангом и кантовальными щитами. С задней стороны имеется подвесной крючок для подъема болванки с нижнего уровня на верхний. Клеть обслуживают с передней стороны 1 вальцовщик, с задней стороны 1 вальцовщик и 1 крючечник.

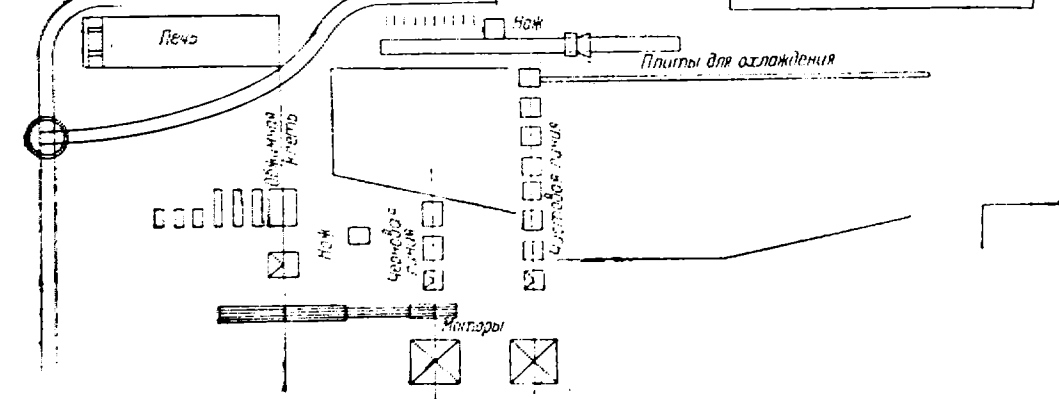
В 1 клетке трио *чистой линии* производится 2 или 3 пропусков без петель. Перед первым пропуском производится обрезка переднего конца штуки, перед вторым — заднего.

В последующих клетках прокатка производится *петлями вручную*. С передней и задней стороны чистой линии под уложен ровными чугунными плитами, на которые выпускаются штуки из валков. Из последней клетки прокатанные штуки поступают на плиты с дырами, на которых охлаждаются, сдвигаются скребками и помощью таскалки подаются под нож для разрезки. Нарезанные пачки складываются на тележки, транспортируемые *вручную* на склад изделий. Для разрезки длинных горячих полос, превышающих длину охлаждающих плит, на последних имеется передвижной ручной нож. Стан обслуживается методической 2-х рядной печью, отапливаемой углем и нефтью.

На стане из слитков  $\square 150$  мм прокатывается круглое и квадратное железо от 19 до 30 мм и полосовое шириною от 30 до 60 мм при разной

толщине. Производительность стана в среднем 12—13 т проката в час. Для увеличения производительности необходимо сократить число пропусков в обжимной клетке, применить обводки на чистой линии и поставить холодильники.

Вторым примером старых типовых мелкосортовых станов, приспособленных для прокатки наиболее мелких сортов, может служить стан зав. им. Петровского, представляемый на фиг. 406,  $D_0 = 250$  мм, состоящий из трех линий: обжимной, черновой и чистой.



Фиг. 406. Мелкосортный стан в 3 линии старого типа.

Производительность стана в среднем 12—13 т проката в час. Для увеличения производительности необходимо сократить число пропусков в обжимной клетке, применить обводки на чистой линии и поставить холодильники.

Вторым примером старых типовых мелкосортовых станов, приспособленных для прокатки наиболее мелких сортов, может служить стан зав. им. Петровского, представляемый на фиг. 406,  $D_0 = 250$  мм, состоящий из трех линий: обжимной, черновой и чистой. Обжимная линия имеет 1 клетку трио

$D_0 = 420$  мм. В ней производится 9 пропусков. Клеть оборудована спереди приводным рольгангом и кантовальными щитами; сзади имеется лишь подвесной крючок. Таким образом, эта клеть совершенно такая же, как и обжимная клеть предыдущего стана.

*Черновая линия* имеет 2 клетки трио  $D_0 = 330$  мм. Привод черновой и обжимной линией осуществляется от общего электромотора в 1200 л. с., расположенного в одну линию. Передача вращения осуществляется канатами с помощью шкива и маховика  $D = 5,8$  м весом 26,6 т. Число оборотов черновой линии 300 в минуту, обжимной — 124 об/мин. В черновой линии производится 3 пропуска: 2 в 1-й клетки и 1 во 2-ой. Передача штуки из 2-го в 3-й пропуск механическая по обводке. Из 1-го во 2-й пропуска штука задается вручную задним концом с предварительной его обрезкой на ноже-кусачках.

Из черновой линии штука передается по жолобу непосредственно в 1 пропуск *чистой линии*, где производится 5 или 7 пропусков. Число клеток в чистой линии — 7. Из 1-й во 2-ую клеть штука передается механически по обводке, во всех остальных клетях *вручную вальцовщиками*. Спереди чистовая линия оборудована карманами для петель, сзади имеются ровные чугунные плиты. Привод чистой линии осуществляется от самостоятельного электромотора, расположенного по оси линии. Мощность мотора 1660 л. с., число оборотов 492 в минуту.

Из последнего пропуска прокатанные готовые штуки поступают на *плиты с дырами*, на которых остывают, сдвигаются скребками, укладываются на таскалку, помощью которой подаются под нож для резки. Нарезанные пачки транспортируются на тележках *вручную* на склад готовых изделий. Так как длина готовой штуки превышает длину охлаждающих плит, то на последних в конце имеется передвижной нож для резки.

Стан обслуживается методической 2-рядной нагревательной печью. Слитки сечением  $\square 150$  мм, весом в среднем 0,15 т. На стане прокатывается круглое и квадратное железо от 14 до 18 мм и соответствующие полосы, но можно катать и  $\varnothing 10-12$  мм, сматывая его на передвижные моталки, устанавливаемые на плитах. *Производительность стана в среднем 10-12 т в час*. Основными недостатками стана является большое число пропусков в обжимной клетке, вследствие чего она является узким местом стана, недостаточная мощность мотора черновой линии, отсутствие механического холодильника, недостаточная производительность печи.

Стан 250 мм № 6 завода Дюкенъ компании Карнеги (фиг. 407). Склад заготовки  $63 \times 63$  мм и  $38 \times 38$  мм, длиной 9 м, имеет пролет 24 м. В нем заготовка раскладывается двумя рядами: склад обслуживает мостовым краном А. Заготовка укладывается на два наклонных стола 8, откуда один рабочий сталкивает ее на рольганг, доставляющий заготовку в печь С.

*Нагревательная методическая печь с толкателями* имеет под 9,9 м шириной и 9,6 м длиной. Рольганг входит внутрь печи, где 5 его роликов охлаждались водой.

Позади печи имеются 5 толкателей, соединенных с кривошипом, приводимым в движение мотором в 30 л. с., 230 в, 600 об/мин. Стержни толкателей ходят между двумя коробками охлаждаемыми водой; с — выталкиватель, действующий при помощи двух роликов трения, d — два подающих ролика у выхода нагретой заготовки из печи.

Эта печь нагревает заготовку в количестве, необходимом для производства 20 964 м годного круглого железа в месяц, что является рекордом для работы подобной печи.

*Ножницы у печи*. У выхода из печи помещены горячие ножницы для резки заготовки на 2 или на 3 части, если это необходимо.

Прокатный стан обслуживается одним мотором мощностью 1500 л. с. трехфазного тока 6300 в, 25 периодов, с числом оборотов от 162 до 182 в мин. Мотор при обычной работе перегружается на 35%, т. е. с 1500 на 2000 л. с.

Стан — 250 мм № 6 состоит из четырех обжимных клеток Е, с соответствующими 4 шестеренными клетями для непрерывной прокатки и из следующего количества чистовых клеток для прокатки петлями:

FF — две клетки с двумя шестеренными клетями:

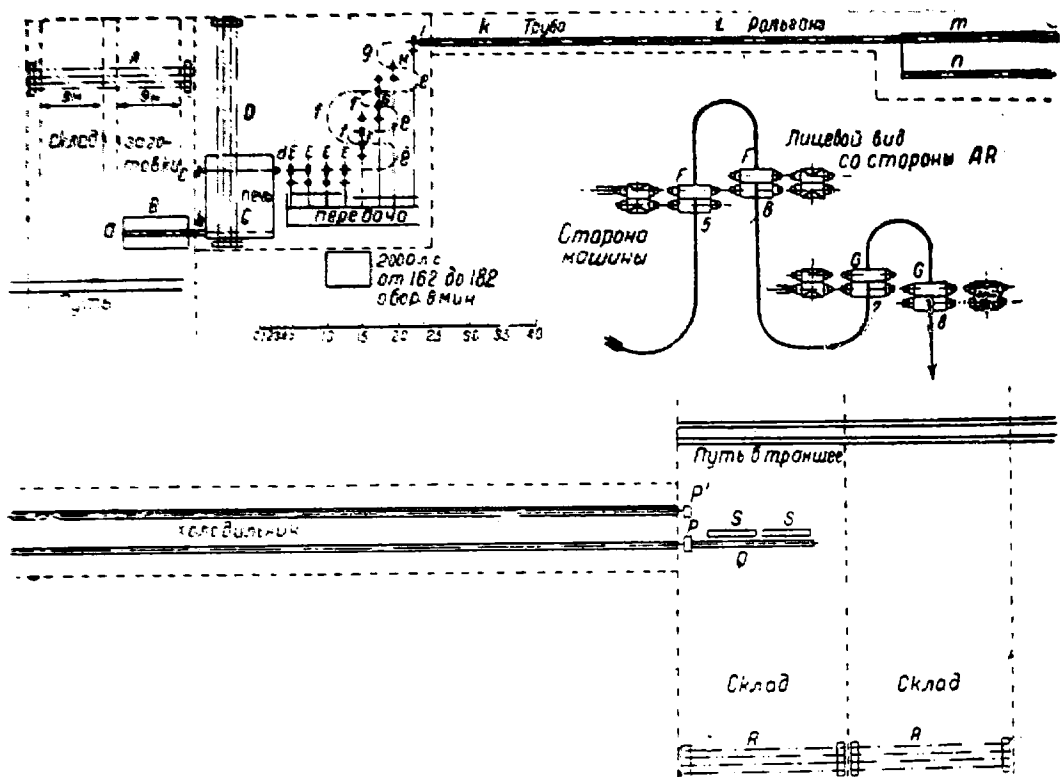
gg — "

Н — клеть с одной шестеренной клетью;

l — "

На фиг. 407 показан передний вид дуо-клетей FF и gg.

Как указано, каждая из 10 клеток прокатного стана имеет свою отдельную шестеренную клетку, что позволяет давать валкам каждой клетки свою скорость. Передача от мотора к 4 приводным валам для клеток периодической прокатки — канатная. Клетки 1—2—3—4 имеют



Фиг. 407. Мелкосортный стан № 6 завода Дюкень.

между осями шестерен 300 мм, а клетки 5—6—7—8—9 и 10 — 250 мм. Число оборотов в минуту валков каждой клетки при числе оборотов мотора 162 и 182 указано в таблице 43.

Таблица 43

Данные мелкосортного стана № 6  
завода Дюкень

№ клетки	Числа оборотов валков	
	При 162 об/мин. мотора	При 182 об/мин. мотора
1 . . . . .	53,7	60,5
2 . . . . .	77,4	83,3
3 . . . . .	111	124
4 . . . . .	158	178
5 . . . . .	224	252
6 . . . . .	224	252
7 . . . . .	290	326
8 . . . . .	290	326
9 . . . . .	345	388
10 . . . . .	384	432

После механической выдачи заготовки из печи при помощи подающих роликов *d* полоса, прокатываемая на стане, попадает на холодильник без всякого применения рабочих рук. Передача из клетки в клетку, как квадрата *e* сзади, так и овала *f* спереди, производится автоматически.

Благодаря разным скоростям валков, в различных клетках получают петли очень небольшой длины, что является непременным условием хорошо поставленной прокатки.

У выхода из отделочной клетки № 10 помещена труба *K* 25 м длиной и роульганг *h* с коническими роликами и с канатной передачей длиной 45 м.

**Ножницы и склад.** Ножницы *P* могут резать до 20 шт. круглых прутков толщиной 25,4 мм сразу и имеют роульганг *Q* с упором длиной 18 м; при них 2 кармана *S* и *S* на коромыслах десятичных весов; оба кармана могут работать совместно, что позволяет взвешивать прутки длиной до 18 м. Кроме того, были установлены ножницы *P*, для брака. Склад состоит из двух пролетов по 24 м, обслуживаемых двумя мостовыми кранами *R*, *R*. Изделия грузились на платформы вагонов, находящиеся на одном уровне с полом мастерской, так как железнодорожный путь находится в траншее.

Прокатка круглого железа на этом стане из квадратной заготовки 63×63, 51×51, 44×44 38×33 мм происходит в пределах диаметров от 9,5 до 28,6 мм.

Круглое железо диаметром от 9,5 до 12,7 мм получается в 10 пропусков; круглое железо диаметром от 12,7 до 19 мм — в 8 пропусков; диаметром от 19 до 25,4 мм — в 8 пропусков, хотя достаточно и 6 пропусков. При 8 пропусках применяют между клетями 5 и 8 автоматическую проводку для овалов, очень крупную по размерам. Заготовкой 38×38 мм пользуются очень редко.

Прокатывавшееся круглое железо имеет длину 130 мм и укладывается на холодильнике длиной 135 м. Круглое железо при разных диаметрах имеет следующий вес при длине 130 м:

диаметр круглого железа (мм) . . . .	19	15	13	11
соответственный вес (130 м длиной) (кг)	283	183	137	101
соответственная заготовка (мм) . . . .	63×63	51×51	44×44	38×38

Для других размеров круглого железа необходимо заготовку при выходе из печи резать на горячих ножницах, чтобы готовое круглое железо не превысило длины 130 м.

Кроме аппаратов *e* для квадратов и автоматических очень крупных проводок *f* для овалов, применяется автоматическая проводка *g* для овала спереди отделочной клетки.

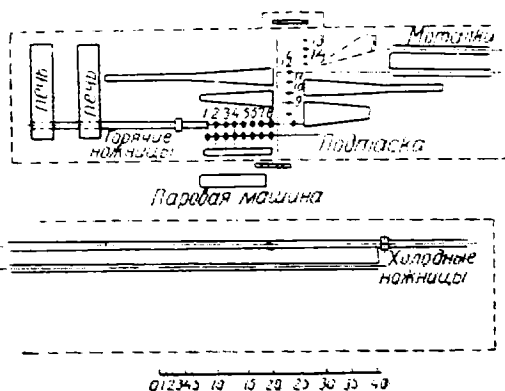
Стан 275 мм компании Эпстон-Нет (фиг. 408). Этот стан состоит из следующих частей:

- 1) двух методических печей для блюмов длиной до 3,3 м, отапливаемых пылевидным углем, с выдачей в торцевом конце;
- 2) ножниц для горячей резки;
- 3) обжимной непрерывной линии 350 мм из 8 клеток дуо с одной парой подводных роликов;
- 4) 1-й чистовой линии 275 мм из четырех клеток трио;
- 5) 2-й чистовой линии 200 мм из двух клеток дуо;
- 6) одинарного холодильника 90 м длиной с выходным роульгангом против 12-ой клетки с ножницами для холодной резки и с упором;
- 7) двух моталок.

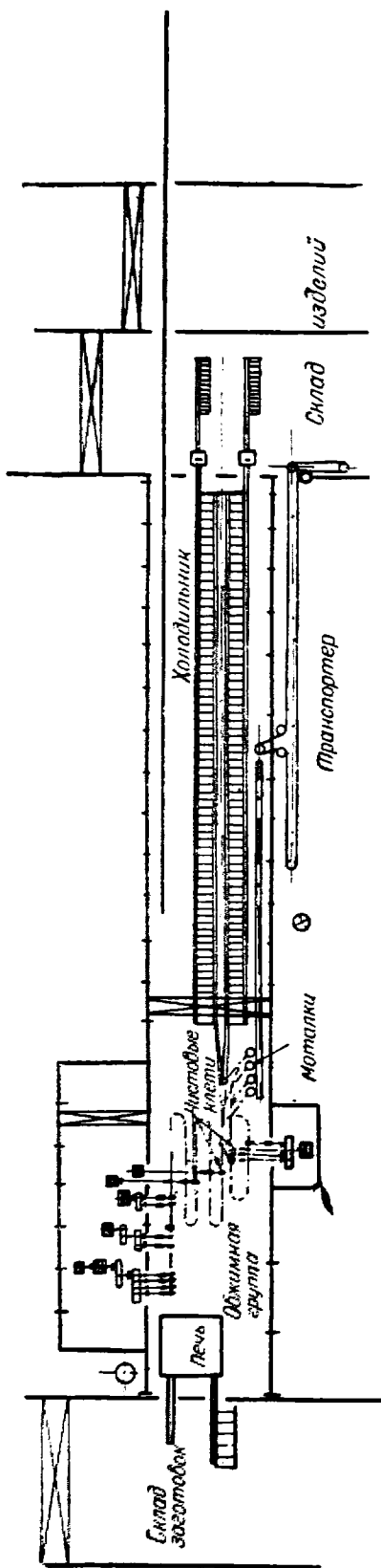
Стан прокатывает блюмы 102×127 мм и 127×149 мм наибольшей длины 3,3 м. Из блюма 102×127 мм прокатывается круглое железо диаметром 9,5 мм в 14 пропусков. Круглое железо стан прокатывает диаметром до 51 мм. У клеток 9—10—11—12 прокатка идет вручную в карманах. Круглое железо диаметром 12,7 до 9,5 мм прокатывается петлями от 12-й клетки к 13-й и 14-й. На моталку можно навивать круглое железо диаметром от 9,5 до 19 мм. Но железо диаметром от 9,5 до 12 мм изготавливается на этом заводе редко; его предпочитают приобретать на стороне. Прокатываемое на стане круглое железо идет на заклепки и болты, а полосовое — на изготавливаемые на заводе гайки. Производительность стана в среднем равна 491 т в сутки при работе в две 10-часовые смены.

Стан страдает следующими недостатками:

- 1) для всех 14 клеток — одна лишь паровая машина;
- 2) 8 клеток обжимной непрерывной линии 350 мм не разделены на группы;
- 3) имеется лишь 4 чистовых клетки 275 мм, вследствие чего невозможно прокатывать фасонные профили, за исключением мелких угольников;
- 4) на стане — две клетки вспомогательной чистовой линии 200 мм, в которых приходится петлей пересекать выходящую из последней клетки полосу.



Фиг. 408. Мелкосортный стан 275 мм Эпстон-Нет.



Фиг. 409. Мелкосортный стан современного типа.

Стан современного типа. Описываемый ниже мелкосортный стан  $D_0=250$  мм можно считать наиболее совершенным и соответствующим для нового строительства (фиг. 409). Методическая нагревательная печь имеет в ширину 10,5 м и в длину около 10 м и приспособлена для прокатки заготовок 9 м длиной, сечением от  $\square 65$  до  $\square 38$  мм. Непосредственно у печи расположена непрерывная обжимная группа в 4 клетки  $D_0=300$  мм, на расстоянии 5,5 м от нее расположена непрерывная группа в 2 клетки, а от нее на расстоянии 5,5 м — еще непрерывная группа в 2 клетки. Все 3 группы обслуживаются самостоятельными электромоторами мощностью 1000, 500 и 500 л. с.

Чистовая линия расположена 2 ступенями по 2 клетки в каждой ступени. Передача штуки производится с задней стороны стана обводками, с передней — помощью вальцовщиков. Диаметр валков чистовой линии 250 мм, число оборотов от 300 до 450 об/мин.

Выходящая из чистовой клетки штука поступает на двоянный холодильник длиной 90 м, откуда остывшие штуки по рольгангу поступают под нож для резки, сбрасываются в карманы, увязываются в пачки и убираются краном на склад или поступают в погрузку.

На стане прокатывается мелкосортное железо от 35 мм  $\angle$  до 14—12 мм, производительность достигает в среднем 18—20 т/час.

Для возможности прокатки мелких сортов и тонкого оброчного железа и проволоки имеется 4 дополнительных клетки  $D=200$  мм, из которых 8 в непрерывной группе. После 12 клетки штука по обводке поступает петлей в 13 клетку, а затем петлей по обводке задается в 14, 15 и 16 клетки непрерывной группы. Из последней клетки, имеющей от 60 до 90 об/мин., готовое изделие поступает на установленные по близости моталки, с которых мотки поступают на транспортер для их амьдения, а затем на бесконечную цепь, с которой погружаются в вагоны. Наиболее мелкими размерами, прокатываемыми в стан, являются  $\angle$  и  $\square 6,25$  мм тонкое оброчное железо соответствующего погонного веса.

Годовая производительность стана в среднем на всех сортах 95 000—115 000 т. Клетки 13—16 работают только при прокатке наиболее мелких сортов, в остальное время выключаются. Обслуживаются они электромотором 500 л. с. Стан, как видим, весьма гибок по своему применению и может служить для различного сортамента.

## § 79. Проволочные прокатные станы

На фиг. 410 дан проволочный прокатный стан старого типа зав. им. Петровского, встречающийся (в нескольких вариациях) на старых европейских заводах. Стан состоит из трех линий: обжимной, черновой и чистой.

Обжимная линия имеет 1 клеть трио  $D_0=455$  мм, оборудованную спереди приводным рольгангом и кантовальными щитами, сзади — подвешенным крючком. Число оборотов валков клетки 140 в минуту, маховик  $D=5,8$  м весом 26,5 т. Число пропусков — 9.

Черновая линия имеет 3 клетки переменное дуо  $D_0=330$  мм, в которых производится 3 пропуска. Число оборотов валков 266 в минуту. Привод черновой и обжимной линий осуществляется от общего электромотора мощностью 1500 квт, установленного на оси черновой линии. Прокатка производится петлями, передача штуки из клетки в клетку — с помощью обводок.

Из черновой линии штука овального сечения по желобу поступает прямо в 1 пропуск чистой линии  $D_0=300$  мм, имеющей 9 клеток переменное дуо. Привод осуществляется от самостоятельного электромотора мощностью 1850 квт, 594 об/мин. Прокатка в чистой линии производится петлями, для помещения которых с обеих сторон линии имеются карманы. Передача переднего конца штуки сзади производится автоматически помощью проводок, спереди — вальцовщиками. При 594 об/мин. и  $\varnothing 300$  мм скорость прокатки достигает 9 м/сек, что можно считать близким к пределу (практически установлена предельно допустимая скорость до 10—11 м/сек) при ручном обслуживании прокатки.

Стан обслуживается методической 2-рядной нагревательной печью. Сечение слитков  $\square 150$ , вес 0,12—0,15 т. На стане прокатывается проволока  $\varnothing$  от 5,5 до 7,5 мм. Средняя производительность стана 12—13 т в час, что соответствует 2,5 непрерывно идущим ниткам, или 4 действующим параллельно калибрам чистой клетки.

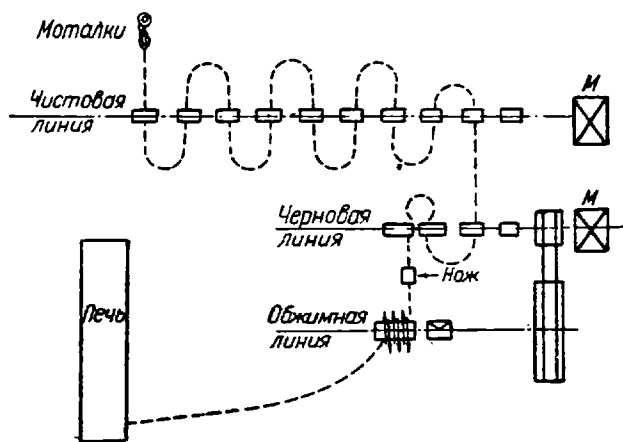
Узким местом стана является печь и обжимная клетка, число пропусков в которой необходимо было бы уменьшить. Чистую линию целесообразно было бы разбить на 2 для дифференциации скоростей и уменьшения длины петель, что и осуществлено на некоторых проволочных станах.

Проволочный стан завода в Алабама Сити. На этом стане системы Гаррета-Кромвеля (фиг. 411), прокатываются блумсы  $102 \times 102$  мм, весом 136 кг. Для нагрева блумсов имеются 4 методические печи шириной 2,1 м, отапливаемые газом от 8 генераторов.

Проволочный стан состоит из обжимной непрерывной группы с 6-ю клетями диаметром 400 мм, черновой и чистой линиями с 6 ступенями скоростей, изменяющимися на чистой линии по 2 клетки. Чистая линия с диаметром валков 275 мм имеет 625 об/мин. Обжимные клетки от 1-й до 6-й приводятся в движение от паровой машины тандем-компаунд с диаметрами цилиндров  $850 \times 1350 \times 1500$  мм, делающей 65 об/мин.

Нужно отметить, как довольно редкое явление, применение паровых машин при современных прокатных станах.

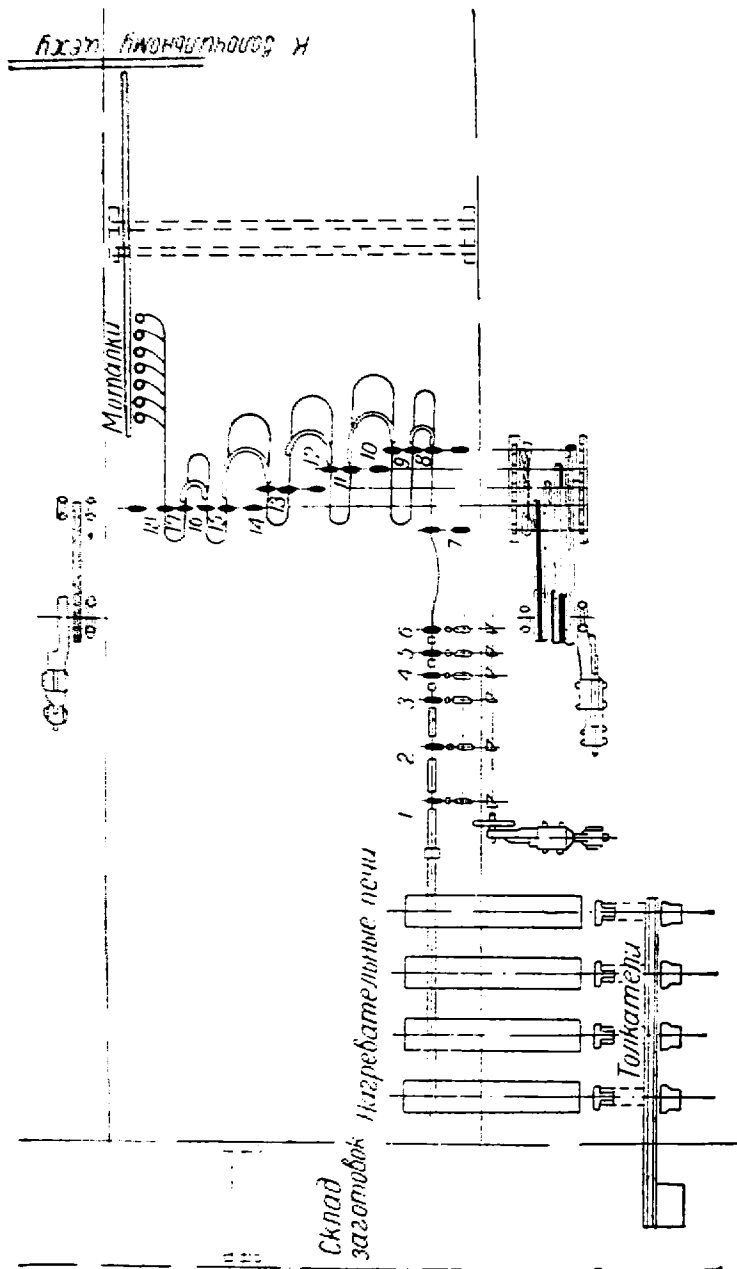
Десять клеток, от 7-й до 16-й, приводятся в движение от второй паровой машины тандем-компаунд с диаметрами цилиндров  $1200 \times 2100 \times 1000$  мм, делающей 80 об/мин. Две последние клетки, 17-я и 18-я, приводятся в движение от третьей паровой машины тандем-компаунд  $675 \times 1150 \times 1050$  мм, делающей 100 об/мин. Полоса при проходе через клетки 1-ю.



Фиг. 410. Проволочный прокатный стан старого типа.



2-ю и 3-ю не захватывается последующими вальцами, т. е. прокатка идет последовательно, а не одновременно. Между 6-й и 7-й клетями полоса выгибается волной, а между 7-й и 8-й клетями натягивается. На последней, 18-й, клетке имеется 7 коробок и соответственно 7 моталок. Проволока диаметром 5,25 мм прокатывается из блума 102×102 мм в 18 пропусков. Карманы для петель короткие; так, например, спереди 17-й и 18-й клетей длина карманов



Фиг. 414. Проволочный стан завода Алабема-Сити.

составляет всего лишь 24 м. Эта длина — весьма небольшая при прокатке проволоки диаметром 5,25 мм, если вес блума 136 кг — и допустима лишь благодаря изменению скоростей в каждой паре чистовых клетей. Уклон карманов составляет  $11\frac{1}{2}\%$ . В последней клетке одновременно прокатывается проволока в 5–6 витков, а иногда и в 7 витков. Диаметр прокатываемой проволоки — от 5,25 до 9,5 мм.

Производительность стана при прокатке проволоки диаметром 5,25 мм в 11-часовую смену составляет 341 т. Месячная производительность в одну 11-часовую смену достигает 7400 т, что составляет среднюю производительность при работе в одну смену  $7400 : 25 = 296$  т. Средняя суточная производительность при прокатке диаметром от 5,25 до 9,5 мм в одну

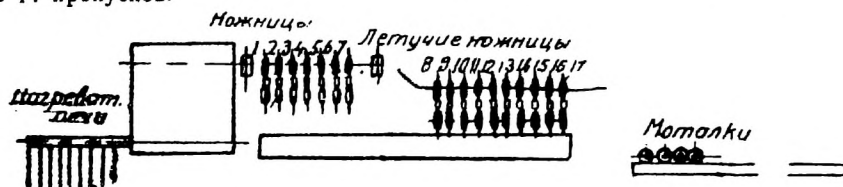
41-часовую смену составляет 258 т. Годовая производительность при работе в одну смену составляет  $258 \times 300 = 77\,400$  т.

Проволочные станы Моргана на заводе в Угрэ и в Ля-Шиер (фиг. 412). После успеха достигнутого непрерывным проволочным станом Моргана на заводе в Сент-Дени, о-во Угрэ Мариэ построило стан Моргана сначала в Угрэ (Бельгия), а затем в Ля-Шиер (Лонгви, Франция). Обе установки — совершенно одинаковы, и оборудование состоит из следующих частей:

- 1) одной нагревательной печи для заготовки длиной 9 м с двумя генераторами (фиг. 413);
- 2) ножиц для разрезки полос на части (фиг. 414);
- 3) черновой линии, состоящей из 7 клетей с диаметром валков 300 мм;
- 4) паровых летучих ножиц;
- 5) чистовой линии с 10 клетями с диаметром валков 250 мм;
- 6) четырех моталок с транспортной лентой.

На этих станах одновременно прокатывается проволока в две нитки.

Проволока диаметром 5 мм из заготовки  $50 \times 50$  мм, длиной 9 м и весом 170 кг прокатывается в 17 пропусков.



Фиг. 412. Проволочный стан завода в Угрэ.

Месячная производительность проволочного стана при прокатке проволоки от 5 до 10 мм в Угрэ при работе в три 8-часовые смены составляет 10 600 т. На заводе в Ля-Шиер могла быть достигнута такая же производительность.

Проволочный стан Моргана на заводе Уайтекер - Глесснер в Портсмуте. Установка включала в себе следующие части (фиг. 415):

- 1) одну нагревательную печь для заготовки длиной 9 м,
- 2) одни ножицы у печи для разрезки полос на части (фиг. 416);
- 3) обжимную линию, состоящую из 7 клетей с диаметром валков 300 мм;



Фиг. 413. Общий вид непрерывного проволочного стана.

- 4) паровые летучие ножицы;
- 5) черновую линию, состоящую из 4 клетей с диаметром валков 250 мм;
- 6) 2 отдельные чистовые линии, состоящие из 6 клетей с диаметром валков 250 мм;
- 7) 6 моталок и 6 конвейеров с муфелями во избежание окисления металла и для получения некоторого отжига.

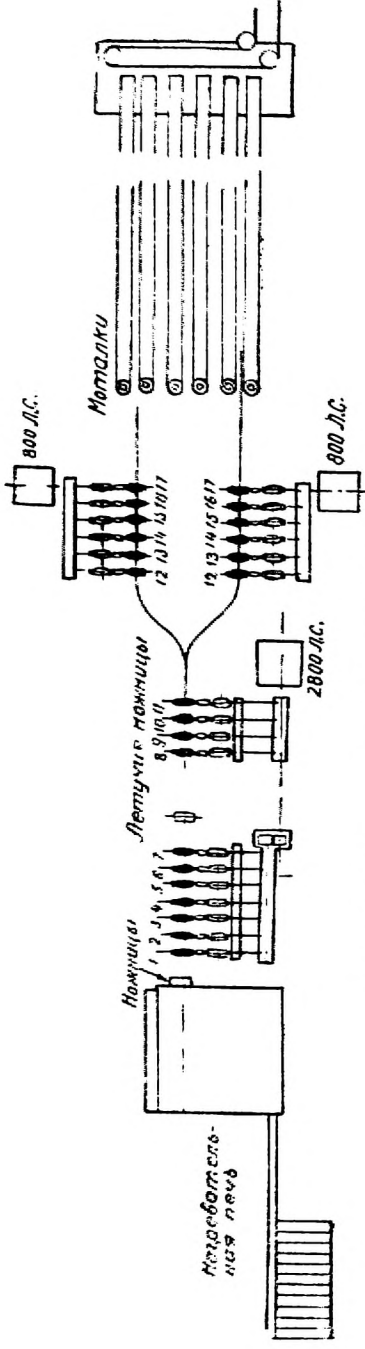
Проволока диаметром 5 мм прокатывается из заготовки  $44 \times 44$  мм весом 135 кг в 17 пропусков. До 11-го пропуска включительно проволока прокатывается в две нитки, но в каждой чистовой линии — в одну нитку. Первые 11 клетей приводились в движение от мотора постоянного тока мощностью 230/1400 л.с. с 400—200 об/мин. Каждая из двух чистовых линий по 6 клетей приводится в движение от мотора мощностью 800/255 л.с. с 706/320 об/мин.

Этот стан мог дать месячную производительность в 10 000 т.

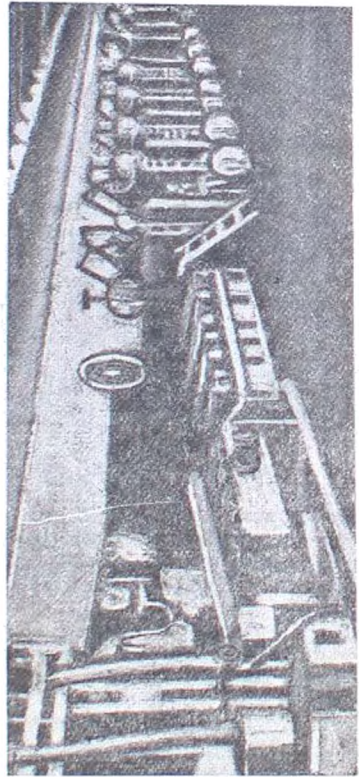
Проволочный стан в Ферфильде, Алабама, Американского сталепроволочного о-ва (фиг. 417). Установка эта состоит из следующих частей:

- 1) двух нагревательных печей<sup>1</sup>;

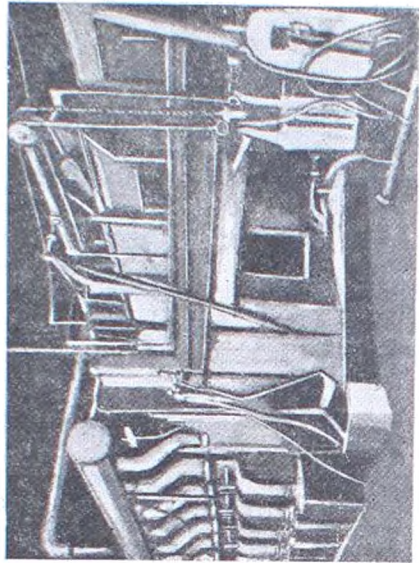
<sup>1</sup> На фигуре показана одна печь.



Фиг. 415. Проволочный стан завода Уайткер-Глесснер.



Фиг. 414. Вид ножниц и непрерывного проволочного стана.



Фиг. 416. Вид печи, ножниц и первых клелей непрерывного стана.

2) обжимной линии, состоящей из 10 клеток диаметром 425 мм, расположенных в 3 группы, и черновой линии, состоящей из 4 клеток с диаметром 350 мм, расположенных в 2 группы. Все 14 клеток приводятся в движение от одного мотора мощностью 2600 л. с.;

3) первой чистой линии, состоящей из 4 клеток в две группы с диаметром валков 300 мм и приводимой в движение от мотора мощностью 1300 л. с.;

4) второй чистой линии, состоящей из 4 клеток в две группы с диаметром валков 300 мм и приводимой в движение от мотора мощностью 1600 л. с.;

5) восьми моталок и общего транспортера.

Проволока диаметром 6,25 мм прокатывается из блума 102×102 мм в 22 пропуска; в дальнейшем имелось в виду вести прокатку в 20 пропусков.

Этот стан очень гибок, так как петли между двумя парами клеток легко увеличивают свою длину, в особенности в трех последних линиях.

Максимальная производительность для 5,25 мм проволоки — 19 т в час — соответствует прокатке в 19:5,5 = 3,5 нитки на чистой клетке 275 мм при 600 об/мин.

Опишем теперь непрерывный проволочный стан, который принят Гипрометзом в качестве стандартного (фиг. 418). Стан состоит из 17 клеток разбитых на две группы. Диаметр стана 250 мм.

Первая группа имеет 7 клеток дуо с диаметром валков 300 мм. Из широкой печи, нагревающей заготовки длиной 9 м, последние перед поступлением в первую клетку *разрезаются на ходу*, что позволяет задержать в печи для уменьшения охлаждения заднюю часть заготовки. Сечение заготовок от 40×40 до 60×60 мм. Валки первой группы приводятся от одного мотора 1500 л. с. с помощью передачи. По выходе из последней клетки первой группы полоса разрезается на летучих ножницах и поступает во вторую группу.

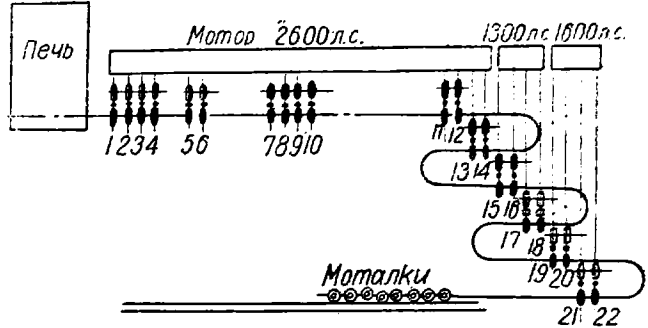
Вторая группа расположена на расстоянии 6 м от первой для возможности образования петли. Группа имеет 10 клеток дуо с диаметром валков 250 мм. Каждая пара валков с помощью передачи приводится от самостоятельного мотора мощностью 800 л. с.

Готовая проволока, прокатываемая в 2 нитки, *смотывается в мотки*; число моталок — 4. С моталок мотки поступают на конвейер, откуда для полного охлаждения они подвешиваются на *подвесной транспортер* с крюками на расстоянии 1,2 м и отправляются на склад или для погрузки.

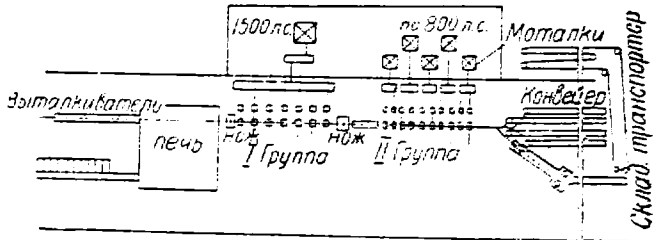
На стане предусмотрена прокатка и *обручного железа*, для чего установлен вибратор, 2 вертикальных мотовила и конвейер для мотков.

Производительность стана 120 000 т в год. Эта производительность не является предельной для проволочных станков. При прокатке в ступенчатом полунепрерывном проволочном стане в 5—6 ниток производительность превышает указанную цифру 120 000 т в год. Поэтому с непрерывными проволочными станками конкурируют *полунепрерывные станы*, наиболее удачный тип которых (предлагаемый фирмой Фрейн) описывается ниже (фиг. 419).

Стан  $D_0 = 250$  мм обслуживается 2 действующими и 1 запасной печами, в которых нагреваются заготовки сечением  $\square 100$  мм. Печи имеют



Фиг. 417. Проволочный стан в Ферфильде.



Фиг. 418. Непрерывный проволочный стан по проекту Гипрометза.

лобовую выдачу, и подающие на рольганг заготовки поступают к ножу для обрезки неровных концов и для разрезки на части. Разрезанные заготовки поступают в непрерывную обжимную группу, состоящую из 6 клетей с общим приводом от электромотора 1750 л. с. На расстоянии 7,6 м от этой группы установлена 1 клетя дуо с самостоятельным мотором 120 л. с. Диаметр валков этих 7 клетей 300 мм.

Чистовая линия имеет 5 ступеней, расположенных (ради укорочения общей длины стана) обратно ходу прокатки. В первой линии 3 клетки, в остальных линиях по 2. В каждой клетке стана производится по 1 пропуску, итого 18 пропусков. С задней стороны чистой линии передача прокатываемой штуки из клетки в клетку производится через обводки, с передней стороны — помощью вальцовщиков. Диаметр валов чистой линии 250 мм; для уменьшения длины петель в последующих клетках линий диаметр несколько увеличивается. Спереди и сзади чистой линии оборудована карманами для помещения петель. Каждая ступень имеет самостоятельный электромотор, за исключением 3-й и 4-й ступеней, имеющих общий мотор. Мощность моторов: 1-я линия — 1750 л. с., 2-я линия — 1300 л. с., 3-я и 4-я линии — 2750 л. с., 5-я линия — 1200 л. с. Число оборотов валков: 1-я линия — 180 об/мин., 2-я линия — 257 об/мин., 3-я линия 334 об/мин., 4-я линия — 435 об/мин., 5-я линия 510 об/мин.

Таким образом, здесь мы имеем стан с *доставочной дифференциацией скоростей* при наиболее компактном расположении, уступающем, однако, расположению непрерывного проволочного стана, где все клетки поставлены последовательно.

На стане прокатывается проволока до минимального диаметра 5 мм. Производительность стана в среднем 25—30 т в час, 175 000—200 000 т в год. Она является высокой благодаря одновременной прокатке 5—6 ниток в чистой клетке, хотя скорость прокатки не превышает 9 м/сек (в непрерывных станах она доходит до 20—22 м/сек).

Проволока по выходе из чистой клетки сматывается в мотки на 7 моталках, из которых 1 является резервной. Далее мотки поступают на *транспортер*, а с него на *бесконечную цепь* и т. д., как и в предыдущем стане.

На этом стане возможно прокатывать заготовку и меньшего сечения; для этого необходимо поставить широкие печи и уменьшить число клетей в обжимной группе или число ступеней на одну. Благодаря отсутствию натяжения прокатываемой штуки, на ступенчатом

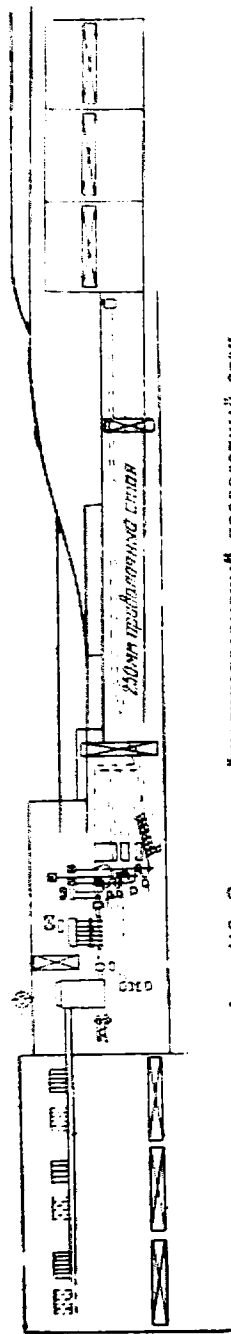
стане (с прокаткой петлями) можно получить более точный профиль проволоки.

## РЕЛЬСОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### § 80. Рельсовое производство в СССР

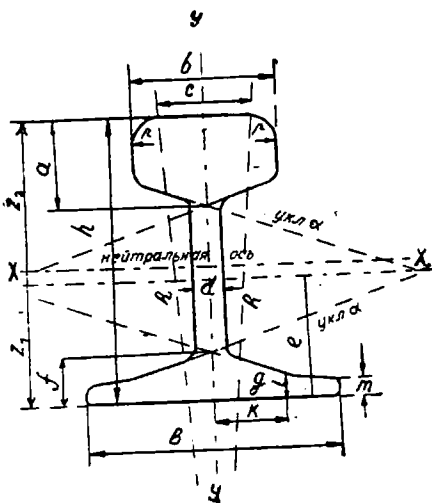
Реконструкция железных дорог и строительство новых дорог в СССР требует громадного количества рельсов. При общей протяженности железных дорог Союза в настоящее время до 80 000 км на них уложено около

Фиг. 419. Современный полу непрерывный проволочный стан.

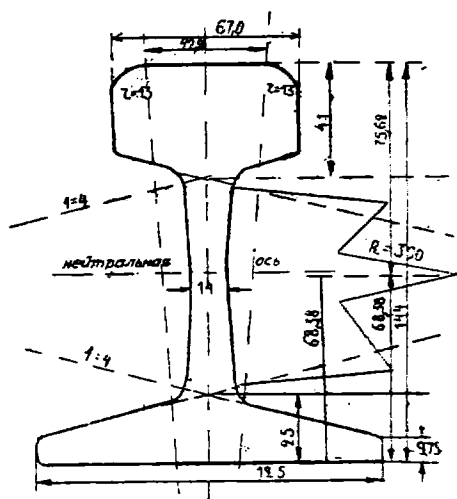


8 000 000 т рельсов. Если считать средний срок службы 15—20 лет, то для одной только замены уложенных рельсов на существующих дорогах требуется в год 400 000—500 000 т. Годовая потребность значительно возрастает, если принять во внимание строительство новых железных дорог (магистраль Москва-Донбасс, реконструкция и строительство дорог промышленных районов, железные дороги новых фабрик и заводов и т. д.), а также строительство трамваев, городских дорог и замену рельсов для них. Чтобы охарактеризовать возросшую потребность в рельсах, достаточно указать, что во второй пятилетке потребуется свыше 1 000 000 т рельсов в год.

Задача металлургической промышленности и рельсопрокатного производства Союза заключается таким образом не только в максимальном повышении производительности рельсовых цехов старых заводов, но и в форсированном строительстве и пуске рельсовых цехов на новых металлургических заводах-гигантах, в первую очередь Магнитогорском<sup>1</sup>,



Фиг. 420. Профиль рельсов Виньоля



Фиг. 421. Запроектированный новый профиль рельса.

и Ново-Мариупольском (Азовсталь). К концу второй пятилетки значительная часть производства рельсов будет сосредоточена на этих заводах-гигантах.

**Задача рельсового производства в СССР.** Вопросы количества и качества особенно тесно связаны между собой в рельсовом производстве. Если всего только на 1 год, т. е. на 5—7%, удлинить срок службы рельсов, то это будет равносильно годовой экономии в металле, равной 15 000 т. По имеющимся данным, возможно увеличить срок службы рельсов, по крайней мере на наиболее истираемых участках, до 1,5—2 раз. Таким образом, *вопрос о качестве и службе рельсов вырастает в громадную народнохозяйственную проблему в СССР*, где в течение ближайшего времени будет еще чувствоваться недостаток в металле, часть которого из рельсового производства возможно было бы обратить на другие нужды. Экономия при удлинении службы рельсов сопровождается еще экономией от уменьшения частоты смены рельсов в путях, которая вызывает большие затраты и затрудняет регулярное движение поездов.

Требуемое качество равно, как и профиль (форма) рельсов, устанавливаются соответственно условиям службы таковых в пути. Эти условия

<sup>1</sup> Кузнецкий рельсопрокатный цех вступил в строй действующих.

чрезвычайно разнообразны и тяжелы, *все время ужесточаясь*. Поэтому к качеству рельсов предъявляются все большие и большие требования и этот вопрос вырос в весьма серьезную *рельсовую проблему*.

**Размеры железнодорожных рельсов.** В настоящее время повсеместное распространение получили *железнодорожные широкоподошвенные рельсы Виньоля*. По размерам и весу их 4 типа: I-а, II-а, III-а, IV-а, наиболее тяжелый тип I-а, наиболее легкий IV-а. Форма этих рельсов совершенно одинакова (фиг. 420).

В последнее время разработан *новый тип рельсов I-р* для главных магистралей СССР, по весу немного тяжелее рельса Виньоля типа 1-а (45,288 кг в 1 пог. м и 43,567 кг в 1 пог. м) и по форме отличающийся *отсутствием изгиба пяты и округленностью шейки* радиусом 300 мм (фиг. 421), что допущено для увеличения прочности пяты и мест соединения шейки с головкой и пятой. Размеры указанных типов рельсов приведены в таблице 44.

Таблица 44

Размеры стандартных рельсов

Тип рельсов	h	B	a	b	c	d	e	f	g	k	m	r	R	α	Геом. вес 1 пог м (кг)
IV-а	120,5	100,6	40,0	53,5	32,0	12,0	51,0	21,5	13,00	23,25	9,0	11,68	213,6	1:2,75	30,890
III-а	128,0	110,0	37,0	60,0	37,5	12,0	57,0	23,0	11,04	35,83	9,0	12,00	300,0	1:3	33,480
II-а	135,0	114,0	40,0	68,0	43,9	13,0	59,5	24,0	10,82	39,52	9,0	13,00	300,0	1:3	38,416
I-а	140,0	125,0	44,0	70,0	46,0	14,0	60,5	25,0	13,00	36,00	10,0	13,00	300,0	1:3	43,567
I-р	144,0	125,0	41,0	67,0	42,8	14,0	68,38	25,0	—	—	9,75	13,00	300,0	1:4	45,288

Что касается длины железнодорожных рельсов, то в настоящее время *стандартной длиной является 12,5 м*. В ближайшее время намечен переход на 15-м рельсы. За границей переходят на 25 — 30-м рельсы; прокатка этих рельсов предполагается и в СССР при строительстве новых рельсо-прокатных цехов. Дальнейшее увеличение длины невозможно из-за условий их транспортирования. Для уменьшения же числа стыков применяется сварка.

## § 81. Служба и качество рельсов

Рельсовая проблема, под которой мы понимаем весь комплекс вопросов, относящихся к службе, качеству и производству рельсов, возникла с первых же моментов эксплуатации рельсов на железных дорогах, т. е. еще в первой половине прошлого столетия. К рельсам, как ответственным изделиям, долженствующим удовлетворять ряду условий в службе, с самого начала их применения дороги — потребители стали предъявлять требования, обеспечивающие их нормальную службу. Удовлетворение этих требований ставило зачастую в затруднительное положение заводы-поставщики и вызывало добавочные расходы в производстве. Уже издавна известны возникающие на этой почве между обеими сторонами споры и недоумения, которые и побуждали в результате к установлению *правил сдачи-приемки рельсов* вначале на основе частных договоров между заводами-поставщиками и дорогами-потребителями; затем установление правил сдачи-приемки, впоследствии названных „техническими условиями“ на рельсы, перешло в руки государственных органов.

*Развитие и изменение технических условий на рельсы шло параллельно с изучением рельсового дела.* Основными этапами, характеризующими движение отечественной рельсовой проблемы, явились исследования ряда *рельсовых комиссий*, послужившие основой для уточнения или изменения технических условий. Первый циркуляр, утверждающий технические условия, был опубликован в 1878 г. В 1884 г. созывается первый рельсовый съезд, в 1896 г. — второй. На втором съезде было доложено о работе первой рельсовой комиссии Верховского, однако изменение технических условий 1878 г. последовало лишь в 1897 г., после работ следующей рельсовой комиссии, созданной в 1894 г. В этих технических условиях были отброшены требования железных дорог, страдавших от *чрезмерной мягкости и текучести русских рельсов*. Но жесткие технические условия были непосильны для заводов, отказывавшихся от рельсового производства, и в 1900 г. были введены новые, облегченные технические условия.

Одновременно в 1889 г. была создана новая рельсовая комиссия, работавшая до 1906 г. Помимо всестороннего изучения рельсов, снятых с пути, рельсовая комиссия 1899—1906 гг. поставила своей задачей *изучение условий производства и связанного с этим качества рельсов*. Результаты своей работы рельсовая комиссия опубликовала в нескольких томах трудов, представляющих ценный вклад в рельсовую проблему. Рельсовая комиссия на основе своих работ сделала выводы о химическом составе, механических свойствах, макро и микроструктуре, износе и смятии рельсов, а также о влиянии условий производства на качество и службу рельсов. На основе работ рельсовой комиссии 1899—1906 гг., в 1908 г. были введены новые технические условия.

Однако уже в 1911—1912 гг. произошло массовое смятие рельсов, принятых по новым техническим условиям. Образованная в 1913 г. рельсовая комиссия внесла проект новых технических условий, утвержденных в 1914 г. Эти условия были более жесткими и требовали обязательных границ в отношении химического состава, ударной пробы при  $-15^{\circ}\text{C}$ , высокого предела пропорциональности и температуры конца прокатки не выше  $950^{\circ}$ . Но технические условия 1914 г. не были введены, и до 1924 г. действовали технические условия 1908 г.

Новые технические условия были введены в 1924 г. *Низкое и ненадежное металлургическое производство не дало возможности в то время поднять требования к качеству рельсов*. Плохая служба рельсов потр-бовала нового и более основательного изучения рельсовой проблемы, с целью чего в 1926 г. при НКПС было созвано особое рельсовое совещание, внесшее проект новых технических условий, а в 1927 г. была создана *Особая рельсовая комиссия*, работы которой в настоящее время продолжают исследовательскими институтами. Деятельность этой особой рельсовой комиссии сопровождалась весьма оживленным обсуждением рельсовой проблемы на страницах журналов. На основе работ рельсовой комиссии Общесоюзным комитетом по стандартизации в 1931 г. был утвержден общесоюзный стандарт технических условий на рельсы.

*Основные положения новых технических условий сводятся к следующему:*

1. Все утяжеляющиеся условия службы рельсов в пути (от увеличения скорости движения и веса подвижного состава) требуют *повышения качества рельсов*.

2. Уже в настоящее время имеется значительный *разрыв между существующим количеством рельсов и требованиями к ним*. Гарантия нормальной службы рельсов требует немедленного устранения этого несоответствия путем *коренного улучшения качества рельсов*.

3. *Между службой рельсов в пути и качеством их еще до сих пор не найдено ясной и точной связи*, что затрудняет решение рельсовой проблемы.

4. Должна быть гарантирована *стандартность рельсового производства*, ибо это позволяет рассчитывать на получение *однородной рельсовой продукции и облегчает контроль ее качества*.

5. Контроль стандартности рельсового производства в первую очередь достигается *контролем химического состава рельсовой стали*. Отсюда возникает требование *определенных границ для химического состава*.

6. Основой механических испытаний является попрежнему *ударная (копровая) проба*, причем для условий СССР целесообразно ударную пробу производить и при *пониженной температуре*.

Особые указания в технических условиях должны быть даны в отношении *внешних пороков*, величина которых для гарантии нормальной службы рельсов должна быть ограничена.

Пределы содержания углерода для марганцевой стали 0,48—0,65%, для бессемеровской стали 0,40—0,54%, марганца 0,60—0,90%, фосфора для марганцевой стали не выше 0,04%, серы не выше 0,05%; для бессемеровской стали фосфора не выше 0,072%, серы не выше 0,06%. Временное сопротивление не ниже 70 кг/мм<sup>2</sup>. При ударе рельсы должны давать стрелу прогиба в 90 мм, не ломаясь, после первого же удара с определением высоты не более 60 мм.

## § 82. Пороки при изготовлении рельсов

К порокам рельсов относятся *дефекты, обнаруживаемые при их изготовлении и при службе*.

Что касается первых, то основными являются:



1) *наружные пороки*, т. е. пороки поверхности рельсов: *плены, рванины, волосовины, песочины*;

2) *остатки усадочной раковины, шлаковины и др недостатки макро-структуры рельсов*;

3) *неправильный профиль и размеры*; сюда относятся: *кривизна, перекосы*, неправильно просверленные дыры, заломы торцов, превышение пределов допусков по размерам и весу;

4) *несоответствие требованиям приемочных механических испытаний*,

Все эти пороки, в той или иной мере влияющие на службу рельсов в пути, в количественном своем выражении могут быть от едва заметных и уловимых до явно выраженных и несомненно вредных. Вообще же говоря, идеально чистую поверхность готовых рельсов с незапряженным металлом получить весьма трудно. Поэтому желательно очень четко определять степень порока, до которой рельс может быть признан годным, ибо по незначительному и несущественному дефекту хороший в общем рельс может быть отнесен к числу плохих.

В технических условиях приемки имеются по этому поводу указания, например глубина поверхностного порока не должна превышать 1 мм, но разнообразие и степень допускаемых пороков практически невозможно точно регламентировать. Персонал, производящий слачу-приемку рельсов, в этом отношении до известной степени предоставлен сам себе и действует по своему усмотрению и собственному опыту. В практической работе на том или ином заводе устанавливаются более или менее определенные признаки и границы, по которым рельсы относятся или к числу безусловно годных—I сорт, или к числу негодных для употребления на железных дорогах—II сорт. Последний с успехом может быть использован на нужды самих заводов для укладки в заводские пути, а также на разные строительные цели и пр. Негодные и для последних целей рельсы, имеющие весьма крупные пороки, называются *заводским браком или III сортом* и назначаются в переплавку.

Выход рельсов I сорта является достаточно ярким *качественным показателем работы рельсопрокатного, сталеплавильного и частично доменного цехов*, поскольку на качестве металла отражается работа всех этих взаимно связанных металлургических производств. Качество выплавляемых чугуна и стали на заводах значительно колеблется, в зависимости не только от работы самих металлургических цехов завода, но и от работы вспомогательных цехов, качества поставляемого сырья и т. д. Поэтому в разное время и на разных заводах выход рельсов I сорта подвержен довольно значительным колебаниям от 65 до 85%.

*Основной массой пороков рельсов являются наружные пороки и преимущественно плены и рванины.*

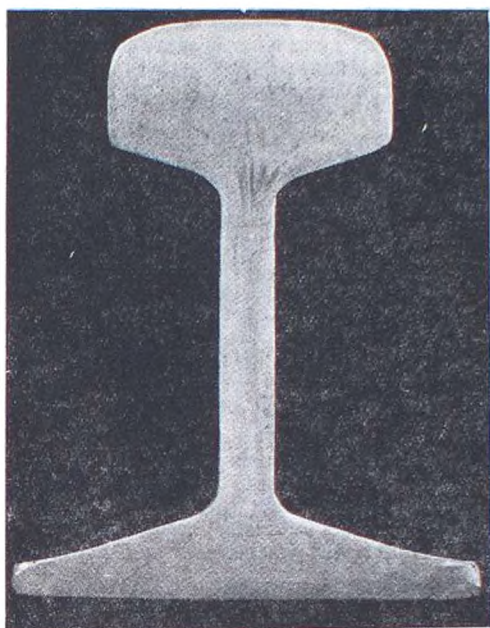
Весьма характерны данные исследования, проведенного на заводе им. Петровского<sup>1</sup>. Установлено, что *повышение содержания серы в бессемеровской стали на 0,01% увеличивает брак рельсов приблизительно на 5%*. *Наилучшее содержание Mn в стали—около 0,9%*. Установлено, что *горячие и весьма холодные плавки дают повышенное количество брака*. Что касается условий разливки, то *наилучшие результаты были получены при средней скорости разливки (1,25 т) в теплые (150—200°) изложницы*. Особенно существенное значение имеет *чистота разливки* стали. *Заплески стенок изложниц при разливке дают увеличение количества плен и рванин.*

Исследованием установлено, что *наибольшее количество брака по пленам и рванинам дают рельсы, выходящие из низа болванки*. Так, например, на последние пятые рельсы падает 35—40% брака, на четвертые рельсы 20—25%, на третьи 15—20%, на вторые по 10—12%. Это связано с условиями разливки стали и охлаждения слитков.

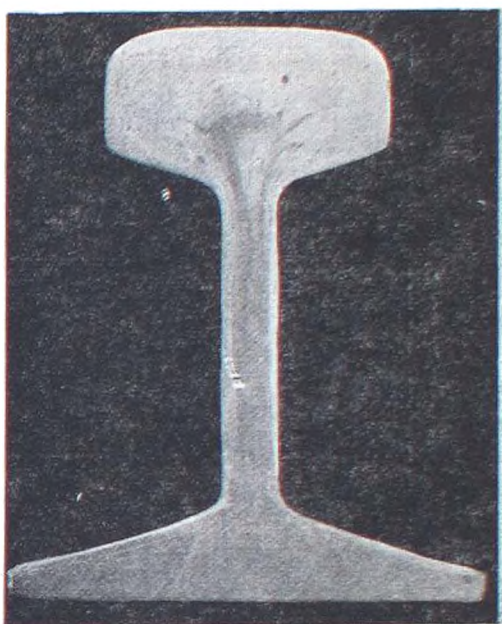
Что касается попадания *усадочной раковины и ликвации* в рельсы, то величина ее зависит как от условий разливки и остывания слитков, так и от величины обрезки усадочного конца при прокатке. На фиг. 442 представлена макроструктура нормального рельса, на фиг. 423—макроструктура с ярко выраженной ликвационной зоной, на фиг. 424—темп-

<sup>1</sup> А. П. Чекимарев, Исследование причин брака в рельсовом производстве, журн. „Уголь и железо“, 1929 г., № 44.

лет со следом усадочной раковины, указывающий на недостаточную величину обрезки головного конца.



Фиг. 422. Макроструктура нормального рельса.



Фиг. 423. Рельс с ярко выраженной ликвиационной зоной.



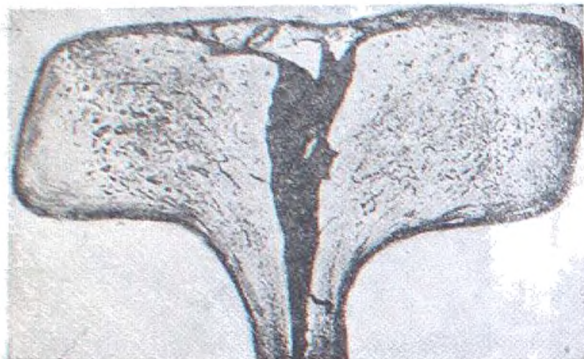
Фиг. 424. Темплет с остатком усадочной раковины.

Пороки, относящиеся к *неудовлетворительности профиля и размеров*, связаны с *неправильными калибровкой и настройкой прокатных валков*.

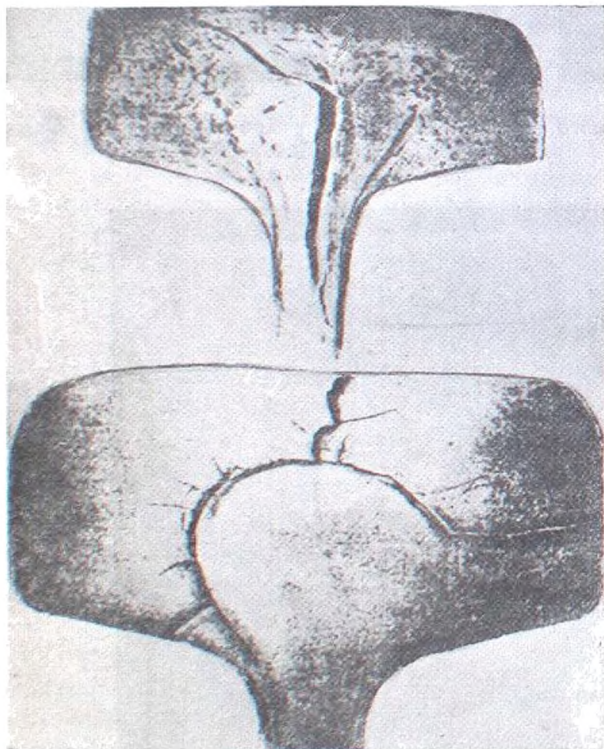
## § 83. Пороки рельсов в службе

К числу пороков, обнаруживаемых при службе рельсов в пути, относятся *разъединение, трещиноватость, хрупкость, износ и смятие*.

Разъединению подвергаются рельсы, уложенные *в старых местах и в атмосфере едких испарений*. Разъединение, достигающее до 5 мм по толщине шейки, распространяется под влиянием наличия включений, рассеянных во всей массе металла.



Фиг. 425. Образование продольной трещины в рельсе.

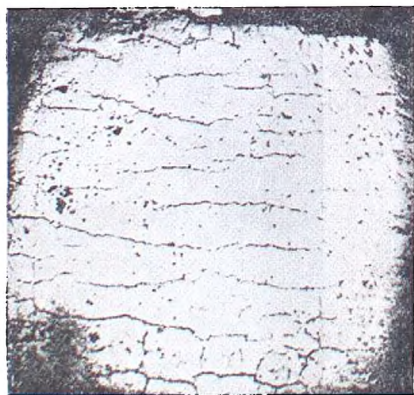


Фиг. 426. Образование продольной трещины в рельсе.

Появление трещин в рельсах при их службе весьма существенно, но до сих пор не изучено полностью. Различают *продольные и поперечные трещины*. По исследованиям Фремона, продольные трещины образуются под влиянием усадочной раковины, постепенно растущей и раскрывающейся при наличии включений (фиг. 425). Вообще трещины обычно соединяют порочные места (включения) в рельсах (фиг. 426).

Поперечные трещины — мелкие и неглубокие, до 1 мм (фиг. 427 и 428). Появление этих трещин Фремон объясняет закалкой поверхностного слоя при интенсивном трении, вызываемом *интенсивным буксованием или усиленным торможением колес*.

В истории рельсового дела известны случаи *внезапной поломки рельсов*, до того времени не имеющих никаких видимых пороков и отличавшихся достаточной однородностью металла. Исследования показали, что причиной поломки оказывается *усталость металла* в результате длительных повторно-переменных нагрузок под действием катящихся колес.



Фиг. 427. Поперечные трещины на рельсе (вид сверху).

Первопричиной явилось образование микроскопической трещины вокруг микропорока от местной пластической деформации. Дальнейший рост трещины приводит к внезапному излому, ибо здоровое сечение рельса уже не в состоянии выдерживать нагрузки. Характерной для подобного излома является его раковистая поверхность (фиг. 429).

Основными причинами *хрупкости* являются повышенное содержание фосфора (более 0,1%), повышенное содержание углерода (более 0,5%) при одновременно повышенном количестве марганца (более 1,2%), низкая по механическим качествам микроструктура металла (крупно-слоистый перлит, Видманштетова структура), неоднородность макроструктуры,

наличие остающихся от прокатки и дальнейшей отделки (правки) внутренних напряжений и т. п. Хрупкость увеличивается при понижении температуры воздуха.

Что касается *износа и смятия*, то эти пороки являются главными бичами при службе рельсов. В целях изучения причин смятия и износа рельсов были проведены многочисленные наблюдения, исследования и испытания, в том числе работы всех рельсовых комиссий.



Фиг. 428. Поперечная трещина под микроскопом.



Фиг. 429. Раковистый излом от усталости.

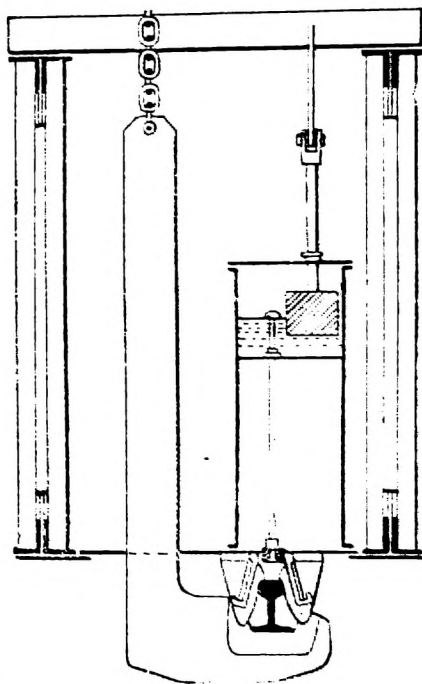
В результате можно считать установленным, что причины кроются, с одной стороны, в утяжеленных условиях службы рельсов в пути, с другой — в недостаточно высоком качестве рельсового металла. На улучшение качества рельсов и должны быть направлены основные усилия в уменьшении смятия и износа таковых. Пути улучшения качества рельсов, помимо более тщательного соблюдения нормальных условий их производства, являются также термическая обработка рельсов и применение специальных добавок в рельсовый металл.

## § 84. Термическая обработка рельсов

Термическая обработка дает значительное повышение прочности и сопротивляемости износу рельсов. Наиболее старый и распространенный способ обработки, который появился в начале текущего столетия, — это *способ Зандберга*, состоящий в *закалке поверхности катания рельса*. Закалке подвергается горячий рельс, вышедший из стана и разрезанный под пилою. Рельс поступает на стеллажи к специальному аппарату для закалки.

На фиг. 430 представлено устройство описываемого типа. Трубки служат для направления на головку рельса струи воздуха, подводимого от вентилятора в воздушный коллектор. В последнем имеется груз подвешенный на тягах. Подъемные и опускание этого груза изменяет уровень воды в коллекторе и этим дает возможность впускать то или иное количество воды в трубку. Трубка оканчивается специальным распыляющим устройством. Рельс помощью тяг прижимается к специальным козырькам и в таком положении удерживается до окончания обрызгивания струей воздуха с pulverизированной водой. Регулирование охлаждения головки рельса можно производить с помощью клапанов и вентилях, подводящих воздух в воду, а также положением груза. Давление воздуха в холодильнике держится немного более 1 атм.

Закалка прекращается, когда головка не доведена до полного охлаждения, чтобы оставшееся тепло внутренней части головки после прекращения охлаждения могло бы отчасти произвести отпуск закаленной поверхности (иначе был бы риск получить на поверхности мартенситовую структуру). Продолжительность охлаждения — обычно 1—1,5 мин. Обработанный



Фиг. 430. Разрез аппарата Зандберга.

ный таким образом рельс получает в верхней части головки сорбитную структуру, которая является наиболее подходящей.

Процесс Зандберга, примененный в конце империалистической войны на металлургических заводах Америки, а затем и на заводах Англии, довольно быстро обнаружил свои достоинства, так как сорбитные рельсы стали изнашиваться значительно меньше обычных.

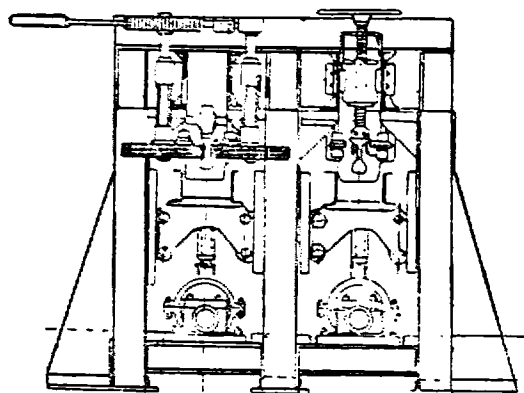
Железные дороги и трамвайные управления во многих отзывах единодушно признают, что сорбитные рельсы изнашиваются на  $80-90\%$  меньше, нежели обычные. Особенно они хороши для закруглений и для путей с подъемом, на которых, по причине постоянного торможения и скольжения колес, происходит быстрое срабатывание рельсов. Так, напр., на одном участке Лондонской городской ж. д. износ рельсов был очень велик, но мартеновские рельсы хорошего качества служили в среднем 10 месяцев, сорбитные же 33 месяца. В другом случае было зафиксировано, что износ сорбитных рельсов был на  $85\%$  ниже износа обычных рельсов.

Если принять во внимание ту большую стоимость, с которой связана укладка новых рельсов в пути, то станут вполне понятными те громадные преимущества, которые получают благодаря удлинению срока службы рельсов. Удорожание рельсов при такой обработке было очень незначительное — не более  $10\%$  от обычной стоимости, но зато это давало огромные преимущества.

Следует отметить, что сорбитные рельсы не только меньше истираются, но также более прочны и надежны при службе в пути. Пробой на удар было обнаружено, что сорбитные рельсы дают меньший прогиб и выдерживают большее число ударов, нежели обычные.

Проникновение обработки достаточно глубокое — до  $10-15$  мм, что не меньше, чем толщина допускаемого износа.

Несколько на другом принципе построен способ термической обработки рельсов, осуществляемый на французских заводах *Neuves-Maisons*. На фиг. 431 представлен поперечный разрез аппарата для закалки рельсов, работа которого состоит в следующем. По выходе из прокатного стана и после разрезки под пилою горячей рельс заводится в аппарат. Аппарат имеет балки, длиной равные длине рельса, на которых укреплен ряд ступенчатых роликов, вращающихся вокруг своей вертикальной оси (правая часть фиг. 431). Ниже на эксцентриковых тягах укреплена ванна, которая получает от электрического мотора качательное движение вверх и вниз. Вода в ванну подводится по трубкам и количество ее



Фиг. 431. Разрез аппарата Neuves-Maisons.

может быть регулируемо помощью вентиляей. Аппарат двусенный, т. е. вмещает одновременно 2 рельса.

Рельс втягивается в аппарат силою трения вращающихся горизонтальных роликов о шейку рельса. Рельс опирается пятою на ступенчатые ролики, а сверху он прижимается для правильной установки в аппарате холостыми роликами, нажимаемыми помощью винтов на пяту рельса.

Рельс располагается на такой высоте, чтобы уровень воды в ванне захватывал достаточную для закалки часть головки. Когда рельс втянут в аппарат, мотор пускается, ванна подымается вверх и вниз, и рельс попеременно погружается в воду и вынимается. Для предупреждения коробления рельс удерживается сверху нажимными роликами; вода в ванне постоянно сменяется приточной холодной водой, количество которой зависит от температуры, которую хотят держать в ванне. Закалка производится приблизительно в течение 1 минуты, после чего аппарат останавливается, и рельсы из него выталкиваются. Меняя число и частоту колебаний в ванне, а также количество сменяемой воды, можно по желанию придать рельсу нужную степень закалки.

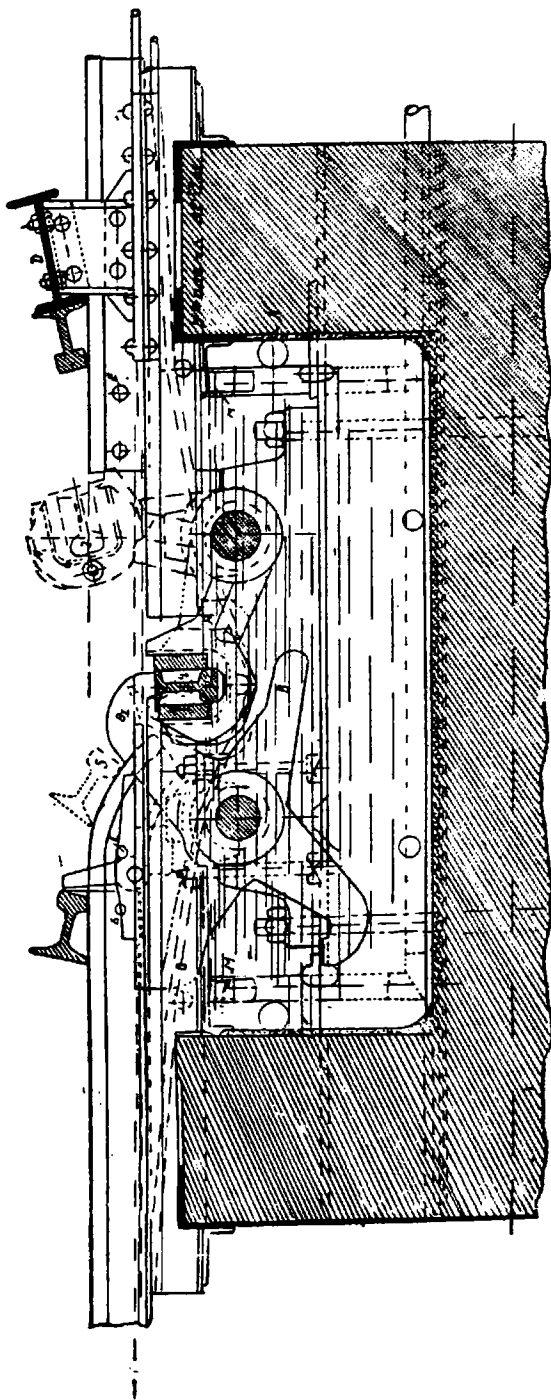
Обработанные рельсы поступают на стеллажи, где производится их самоотпуск, как и в описанном выше способе. По отзывам французских заводов, подобная термическая обработка рельсов дает такой же эффект, как и способ Зандберга, но преимущество здесь состоит в том, что расходуется значительно меньше воды.

Механические испытания, проведенные с обработанными таким образом рельсами, показали значительное увеличение сопротивляемости рельса удару, а также улучшение по другим механическим качествам (на разрыв и на удлинение). Работа этих рельсов в пути доказала, что истираемость их, так же, как и обработанных предыдущими способами, значительно ниже, нежели у обычных не обработанных рельсов. Подобная обработка производится на некоторых заводах во Франции в заводском масштабе, что свидетельствует о хорошем действии применяемого для термической обработки аппарата.

На заводе имени Петровского в Днепропетровске в виде опыта была произведена термическая обработка рельсов, напоминающая обработку на французских заводах (фиг. 432). Рельс опускали головкой в ванну и держали в этой ванне без перерывов, а затем, не доводя охлаждения головки до конца, рельс вынимали, и таким образом происходил самоотпуск

его головки. Были также произведены опыты и с прерывистой закалкой, однако конструкция самого аппарата <sup>1</sup> такова (фиг. 432), что закалка с перерывами неудобна.

Работа аппарата состоит в следующем. После разрезки под пилою рельсы поступают на стеллажи, по которым специальной балкой, укрепленной на шлепперах, передвигаются к

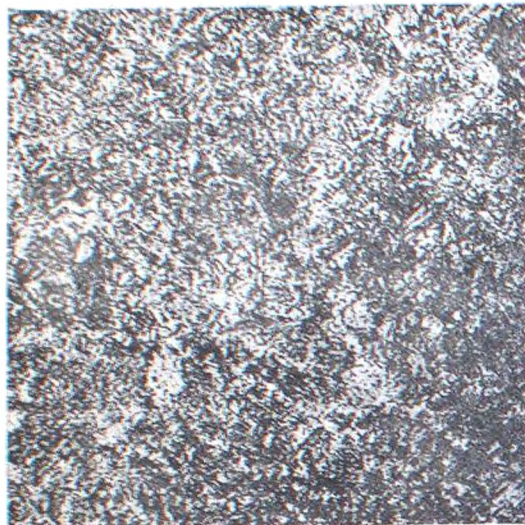


Фиг. 432. Аппарат Казакова и Селезнева для закалки рельсов.

аппарату и опускаются поочередно головкой книзу в ванну. В последней рельс покоится в специальных лапах, а сверху, для предупреждения коробления, он прижимается рычагами. Уровень воды в ванне поддерживается таким образом, чтобы головка погружалась в воду

<sup>1</sup> Авторы этой конструкции инж. П. Ф. Казаков и Г. Я. Селезнев.

приблизительно на 20 — 25 мм. Уровень воды регулируется отводными трубами, а температура воды зависит от протекающего ее количества, регулируемого вентилями в подводящих трубах. По прошествии 30 — 40 сек. рычаги приводятся в движение, и рельс выбрасывается из аппарата на сторону, противоположную задаче. Затем поступает следующий рельс и т. д. Аппарат этот недавно построен, и были произведены лишь первые испытания его.



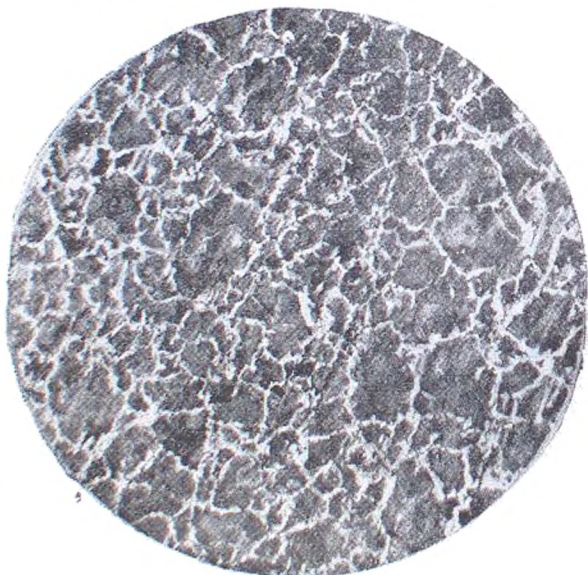
Фиг. 433. Сорбитная структура обработанного рельса.

Предварительные результаты испытаний показали, что при такой обработке структура рельсов значительно улучшается, механические качества, особенно сопротивление удару под копром, также значительно повышается. Следовательно, такой способ термической обработки рельсов, как и предыдущие способы, дает должный эффект. Однако из области опытов завод имени Петровского пока не вышел.

В заключение следует отметить, что были произведены опыты так называемой *полной термической обработки*, т. е. закалка всего профиля рельса до полного его охлаждения в воде, и так как такие рельсы были бы хрупкими и непригодными к службе, то после этого производится полный отпуск рельса в печи с нагревом до температуры приблизительно 600°. Идея этого способа принадлежит проф. Грум-Гржимайло<sup>1</sup>. В последние годы за границей про-

изведены опыты полной термической обработки с благоприятными результатами.

Из разбора всех приведенных способов термической обработки несомненно ясно, что *все они дают значительно улучшенную структуру рельсов, приближающуюся к сорбитной* (фиг. 433), которая является наилучшей; на фиг. 434 представлена обычная перлитовая структура рельсов без обработки. Также несомненно, что *часть этих способов доказала свою полную пригодность и возможность осуществления в массовом масштабе*. Однако для бесперебойной работы в массовом масштабе требуется еще очень много опыта, требуется большая работа над конструкцией аппаратов, которые справились бы с таким массовым производством, как производство рельсов.



Фиг. 434. Перлитовая структура необработанного рельса.

Преимущества, которые можно достигнуть благодаря термической обработке рельсов, заключающиеся в *огромной экономии рельсового металла и в уменьшении частоты сменяемости рельсов*, требуют дальнейших исследований и опытов. Такие опыты в настоящее время в широком масштабе проводятся в СССР.

## § 85. Рельсовый металл

В качестве рельсового металла широко употребляется *мартеновская, бессемеровская и томасовская сталь*. В СССР распределение металла можно оценить так: 50% бессемеровского, 35% мартеновского и 15% томасовского. В ряде европейских стран (Германии, Бельгии, Люксембург и др.) большой удельный вес, благодаря наличию фосфористых руд,

<sup>1</sup> Журнал „Уголь и железо“, № 7, 1926 г.

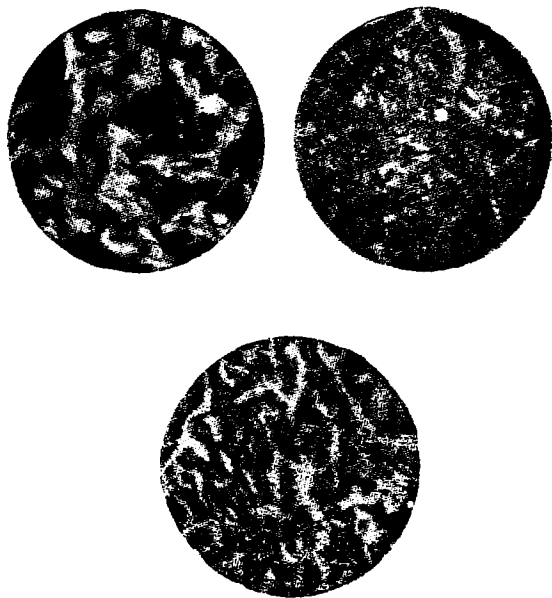
занимает томасовская сталь для рельсов. В Америке рельсы изготавливаются почти исключительно из мартеновской стали.

Выбор рода стали для рельсов следует производить, исходя из *наилучшего соответствия требуемым свойствам рельсов*. Кроме того, выбор рода стали определяется *наличием соответствующих сырых материалов доменной плавки*. Вопрос о наиболее подходящем для рельсового производства роде стали еще до сих пор является спорным. Различия в свойствах мартеновской стали по сравнению с конверторной при том же химическом составе заключаются в *большей твердости и упругости конверторной стали при несколько пониженном ее удлинении*, вследствие чего конверторные рельсы содержат меньше углерода. В бессемеровской стали содержится повышенное количество серы и особенно фосфора, что, наряду с присутствием некоторого количества азота, *повышает упругость стали*, понижая ее износ и смятие и делая ее прекрасным материалом для рельсов. Но вместе с тем увеличивается хрупкость, повышается опасность поломок бессемеровских рельсов. Конверторная сталь дешевле на 3—4 рубля тонна. Капитальные затраты и сроки строительства конверторного производства также в 2—3 раза меньше.

Поэтому вопрос о выборе рода рельсового металла сводится к *вопросу о наличии чистых для бессемерования руд*; в случае их отсутствия необходимо прибегать к мартеновскому металлу, что и наблюдается в настоящее время в ряде стран и прежде всего в США. При наличии фосфористых руд следует пользоваться томасовским производством стали для рельсов. В настоящее время у нас вопрос о выборе рода стали находится в полосе дискуссии и исследований, причем после имевшего место в последние годы отказа от конверторного (бессемеровского) процесса наблюдается поворот в сторону последнего.

Стремление уменьшить износ и смятие рельсов уже сравнительно давно привело к мысли о применении *специального металла для рельсов*. Еще в 1910 г. было выдвинуто предложение катать «двухслойные» рельсы, головка которых состояла бы из более твердого металла. В последние годы в этом направлении ведутся работы также за границей. Но гораздо большее применение получило введение в рельсовый металл *специальных легирующих добавок*, повышающих механические качества рельсов. Выбор той или иной добавки решается, с одной стороны, улучшающим ее влиянием на качество стали, а с другой — экономическими соображениями.

Довольно значительное распространение в Америке получили *марганцовистые рельсы* (много- и среднемарганцовистые), рельсы с *присадкой титана* (до 0,1%)<sub>0</sub>. В Англии были произведены опыты применения *хромистых рельсов* (до 1% хрома), в Америка — *ванадиевых*. Введением названных элементов достигалось *значительное повышение механических качеств и сопротивляемости рельсов истиранию*. Временное сопротивление повышается на 30—40%<sub>0</sub>, предел упругости на 40—50%, износ уменьшается в 1,5—2 раза. Перспективы применения рельсовой стали с примесью *хрома, ванадия и титана* открылись в СССР в связи с переработкой титано-



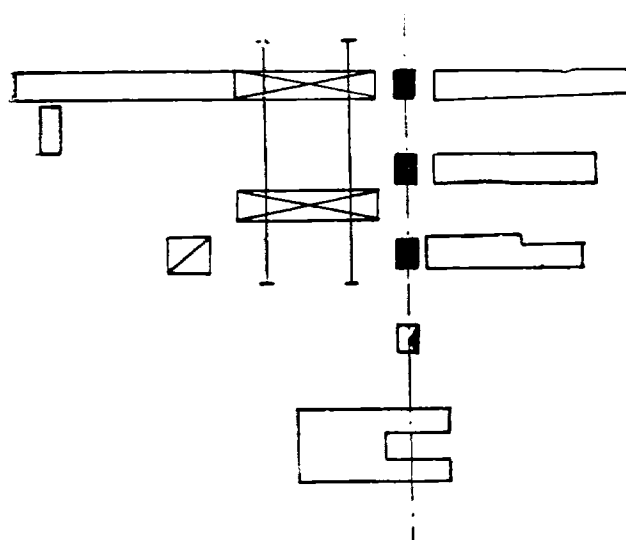
Фиг. 435. Микроструктура хромаванадиевотитанистого рельса.



магнетитовых руд Урала. Опыты изготовления рельсов из стали, выплавленной на чугуна из этих руд, показали *весьма хорошие результаты*, а именно повышение предела упругости до 50% и временного сопротивления до 20%. Металлографическое исследование показало *исключительно мелкозернистую структуру* (фиг. 435). Такие рельсы оказались *более стойкими в отношении сопротивления удару*. Наконец, применение добавки до 2—2,5% никеля при одновременной добавке до 0,5—0,7% хрома дало возможность в Америке получить рельсы, износ которых вдвое меньше даже марганцовистых. Наличие залежей Халиловских хромоникелевых руд дает возможность произвести исследование качества рельсового металла из этих руд в течение второй пятилетки. Возможность СССР по применению специального и недорогого рельсового металла весьма широка, и в этом направлении также должна быть произведена разработка рельсовой пороблемы.

### § 86. Рельсовые и рельсо-балочные прокатные станы

Перейдем к вопросу о прокатке рельсов. В Европе преимущественное распространение получили *дуо-реверсивные рельсо-балочные станы*, расположенные в одну линию, в которых прокатываются железнодорожные рельсы, балки, швеллера и крупное сортовое железо. Наиболее частый тип стана—*реверсивное дуо в 3 клетки с обслуживающим блумингом*—приведен на фиг. 436. Такие станы имеются в СССР на старых рельсопрокатных заводах: имени Петровского, Енакиевском и Сталинском. Наиболее

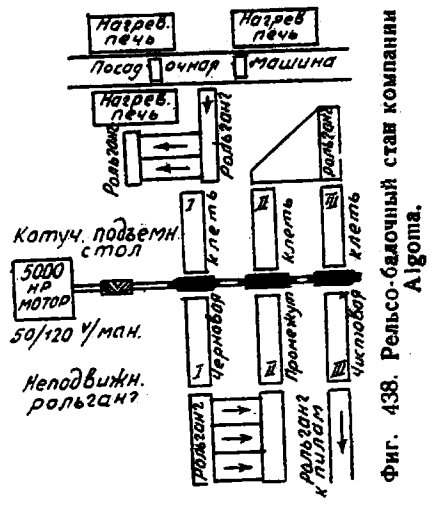


Фиг. 436. Рельсо-балочный стан в одну линию старого типа.

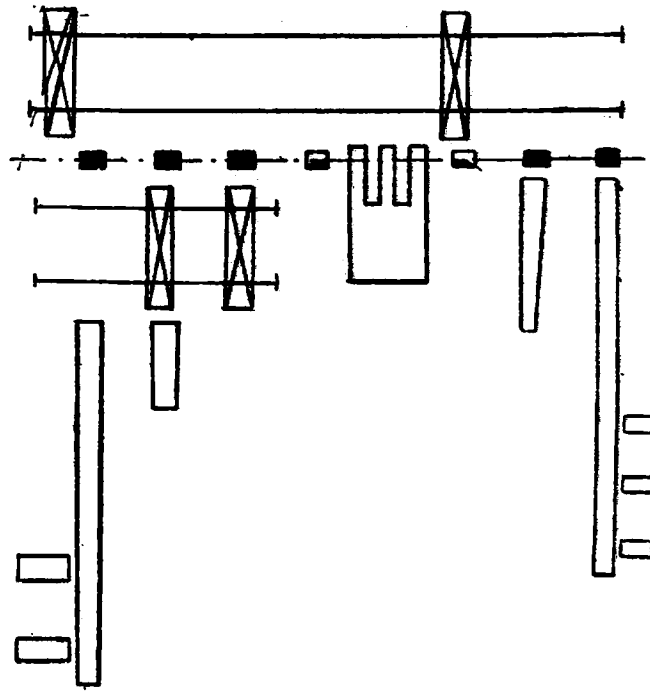
распространенное число пропусков 9—11. Возможная годовая производительность стана 300 000—400 000 т проката, фактически же станы старых заводов из-за изношенности оборудования дают меньше: 250 000—300 000 т и даже 200 000 т в год. На фиг. 437 представлена схема рельсо-балочного стана завода имени Дзержинского. Здесь в одну линию расположено 5 рабочих клетей, по одну сторону машины 3, по другую—2. Первая сторона—балочная, вторая—рельсовая. Недостатком такого стана является наличие только одного двигателя, вследствие чего прокатка одновременно может происходить *только на одной стороне: рельсовой или балочной.*

В результате производительность такого стана измеряется такой же величиной, как и предыдущего. Добавление еще одного двигателя позволило бы удвоить производительность.

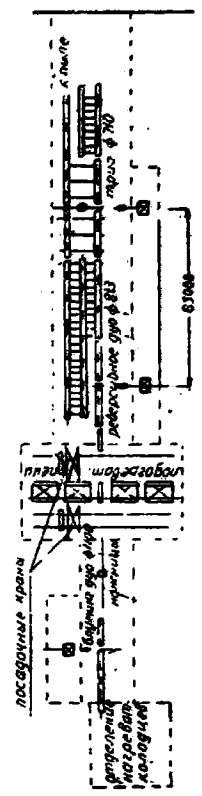
Американские рельсо-балочные станы значительно разнообразнее. Обычно применяются либо станы трио нереверсивные в одну линию, либо комбинированные станы дуо и трио в несколько линий. На фиг. 438 представлен рельсо-балочный стан трио Канадской компании Algoma. Стан имеет 3 клетки, из которых 2 трио и 1 дуо. Блумсы затем подогреваются в печи и попадают на стан, обслуживаемый с обеих сторон подвижными качающимися столами. В результате удачной организации обслуживания, прокатка возможна одновременно в 3 клетях, что позволяет достичь производительности при прокатке тяжелых рельсов до 150 т в час. При



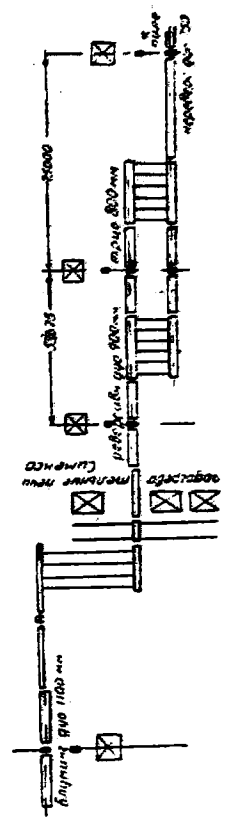
Фиг. 438. Рельсо-балочный стан компании Algotma.



Фиг. 437. Рельсо-балочный стан завода им. Дзержинского.



Фиг. 439. Рельсо-балочный стан в 2 линии.



Фиг. 440. Рельсо-балочный стан Кузнецкого завода.

разнообразном сортаменте—из рельсов, балок, уголков и пр.—стан дает до 4500 0 т проката в год.

Весьма распространены в Америке *рельсо-балочные станы с разделением на две линии* (фиг. 439). В черновой клетке после подогрева блумсов производится 5 пропусков, в чистовой линии имеется 2 клетки трио, в которых производится по 2 пропуска, и 1 клетка дуо (чистовая) с 1 пропуском. Производительность такого стана 600 000—700 000 т рельсов в год.

На фиг. 440 представлен *рельсо-балочный стан Кузнецкого завода*. При проектировании завода было предусмотрено, что блумсами будет снабжаться не только рельсобалочный, но и другие станы. Для увеличения производительности блуминга сечение блумсов было принято  $\square 305$  мм. Блумсы после подогрева в печах прокатываются в „малом“ блуминге, выпускающем  $\square 200$  мм, а остальные клетки представляют собственно рельсо-балочный стан. Проектные данные этого стана приведены в таблице 45.

Таблица 45

Проектные данные Кузнецкого рельсо-балочного стана

№ пропуск.	№ клетей	Попер. сечение (см <sup>2</sup> )	Коэф. вытяжки	Длина после проп. (м)	Средн. скор. прок. (м/сек)	Продолжит. проп. (сек.)	Продолж. пауз (сек.)	Полное время прок. (сек.)	Паузы на передачу из клетки в клетку (сек.)
0	—	930	—	3,0	—	—	—	—	—
1	1	744	1,250	3,75	1,9	2,0	7,5		
2	1	649	1,146	4,2	2,0	2,1	4,5		
3	1	550	1,180	4,9	2,2	2,2	4,5		
4	1	497	1,107	5,4	2,3	2,3	7,5		
5	1	380	1,308	7,0	2,5	2,8		39,4	23,0
6	2	318,8	1,192	8,3	3,3	2,5	4,5		
7	2	274,7	1,160	9,7	3,3	3,0	4,5		
8	2	226,3	1,210	11,3	3,3	3,4	4,5		
9	2	186,6	1,214	14,3	3,3	4,4	7,5		
10	2	127,4	1,460	20,9	3,3	6,4		40,7	8,0
11	3	108,1	1,170	24,5	3,3	7,4	7,5		
12	3	92,1	1,174	29,0	3,3	8,8	5,0		
13	3	66,5	1,380	40,0	3,3	12,1	5,0		
14	3	54,5	1,218	49,0	3,3	15,0		60,8	8,0
15	4	51,0	1,070	52,5	3,3	15,9			
Всего	1—4	—	—	—	3,15	90,3	62,5		39,0

Производительность этого стана по проекту 440 000 т в год при смешанном сортаменте: рельсы, балки, уголки и др.

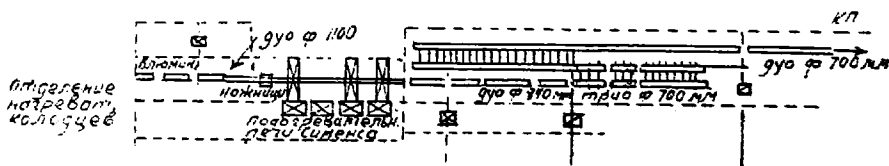
На фиг. 441 представлен *разработанный Гипрмезом типовой рельсовый стан с годовой производительностью 700 000 т рельсов*. Блумсы подогреваются в печах Сименса и поступают в первую дуо-реверсивную клетку  $\varnothing 840$  мм, снабженную нижним приспособлением. Здесь делается 5 пропусков, последний пропуск производится в фасонном (разрезающем) калибре. Во второй линии  $\varnothing 710$  мм, являющейся черновой, имеется 2 клетки трио и 1 клетка дуо. Здесь производится  $3+1+1=5$  пропусков. Последний пропуск производится в отдельно вынесенной клетке дуо,  $\varnothing 710$  мм.

Черновая линия обслуживается передвижными подъемными столами с ролягангами. Проектные данные этого стана приведены в таблице 46. Стан катает только рельсы.

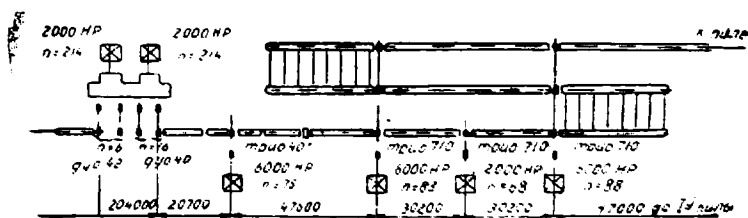
Таблица 46

Проектные данные типового рельсового стана

№ пропуск.	№ клетей	Попер. сечение (см <sup>2</sup> )	Коэф. вытяжки	Длина после проп. (м)	Средн. скор. прок. (м/сек)	Продолж. проп. (сек.)	Продолж. пауз (сек.)	Полное время прок. (сек.)	Паузы на передачу из клетки в клеть (сек.)
0	—	567	—	4,6	—				
1	1	418	1,356	6,3	2,0	3,2	4,5		
2	1	349	1,200	7,6	2,3	3,3	4,5		
3	1	286	1,220	9,3	2,5	3,7	4,5		
4	1	216	1,325	12,3	2,8	4,4	4,5		
5	1	151	1,430	17,6	3,2	5,5		38,1	20,0
6	2	128	1,180	20,8	3,3	6,3	7,5		
7	2	111	1,160	24,2	3,3	7,4	7,5		
8	2	83	1,350	32,6	3,3	9,9		38,6	20,0
9	3	65	1,271	41,3	3,3	12,5			20,0
10	4	55,6	1,169	48,2	3,3	14,6			8,0
11	5	51,0	1,090	52,5	3,3	15,9			
Всего	1—5	—	—	—	3,2	86,7	33,0		68,0



441. Рельсовый стан по проекту Гипромеза.



Фиг. 442. Полунепрерывный рельсовый стан завода Гэри.

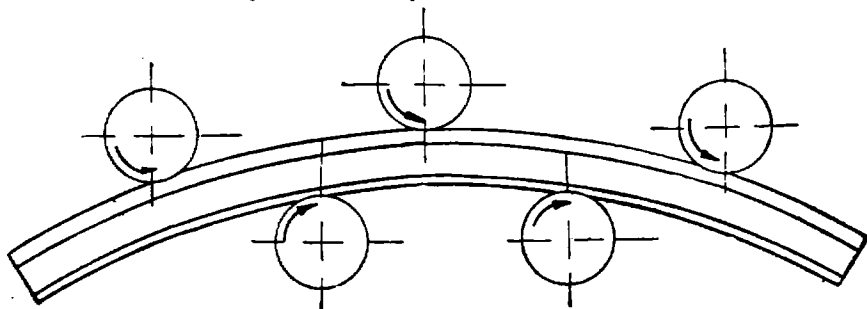
Стремление к достижению более высокой производительности, до 1 млн. т в год, привело к появлению в Америке *рельсового стана полунепрерывного типа на заводе в Гэри*. Схема расположения и прокатки в этом стане приведена на фиг. 442. Идея непрерывной прокатки получила таким образом свое осуществление в области наиболее тяжелых станов. В настоящее время в новостроящихся металлургических гигантах СССР—Маг-

нитогорском и Ново-Мариупольском заводах — предположены к строительству наиболее мощные в мире рельсовые станы с годовой производительностью на 1 000 000 — 1 200 000 т рельсов каждый. К установке предполагаются непрерывные или полунепрерывные рельсовые станы.

Из описания рассмотренных рельсовых и рельсо-балочных станков видно, что существенным отличием американской системы от европейской является подогрев блумсов, дифференцированное расположение клетей станков, представляющих комбинацию дуо и трио, с целью увеличения производительности, однако степень использования клетей европейских станков выше. Европейские станы нужно считать недостаточно мощными для полной загрузки современных блумингов, поэтому новое строительство рельсовых станков должно идти по пути применения схем с дифференциацией линий и клетей.

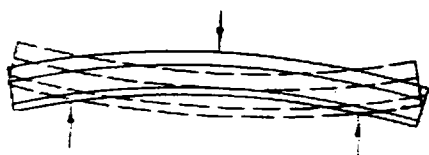
## § 87. Правка, отделка и осмотр рельсов

Дальнейшие операции после прокатки, т. е. их охлаждение, правка и отделка, имеют весьма существенное влияние на качество готовых рельсов. Благодаря своей несимметричности рельсы после остывания остаются изогнутыми на головку, и требуется их холодная правка. Для уменьшения величины изгиба после остывания рельсы в горячем виде после разрезки под пилою подвергаются вынужденному изгибу в противоположном



Фиг. 443. Горячий загиб рельса в станке.

направлении, для чего употребляются роликовые загибные станки (фиг. 443), в которых рельсы пропускаются благодаря приводному вращению роликов. Горячие рельсы поступают на горячие стеллажи, а отсюда после остывания попадают для правки либо в правильные штемпельные прессы, либо в роликовые прессы. Правка в первых происходит участками при постепенном передвижении рельса, помещаемого на 2 опоры. Посредине нажатием пуансона (фиг. 444) производится выправление, связанное с остаточными деформациями, вызывающими внутренние напряжения от правки. С целью уменьшения напряжений желательнее, чтобы холодные рельсы до правки были более прямыми и чтобы правка производилась при малой „подаче“ рельса под пресс. Производительность прессы 20—30 рельсов в час.



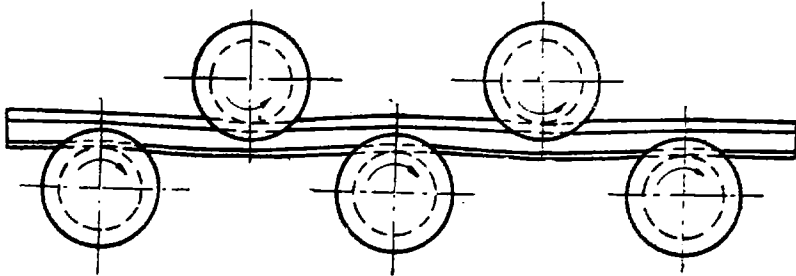
Фиг. 444. Выпрямление рельса в штемпельном прессе.

Непрерывность в правке достигается на роликовых прессах производительностью до 50 — 80 штук рельсов в час (см. § 67). Правка в роликовых прессах производится следующим образом: рельс пропускается между верхним и нижним рядом роликов, причем расстояние между роликами регулируется, чтобы участок рельса, находящийся между тремя роликами, подвергался слабому изгибу в одном направлении, а затем рельс, пере-

ходя к следующим роликам, подвергается такому же изгибу в противоположном направлении (фиг. 445).

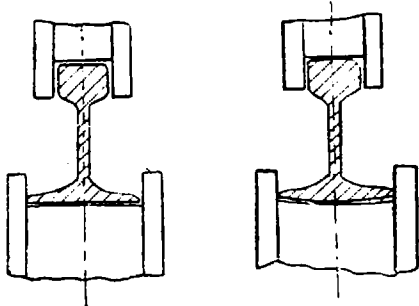
Такой *попеременный легкий изгиб* позволяет в конце концов придать рельсу правильную ровную поверхность.

Положение рельса в таком прессе может быть *горизонтальным или вертикальным*, как показано на приводимых фигурах. Разница в работе вертикального и горизонтального прессов заключается в том, что в первом давление испытывает *пятка и головка рельса*, а во втором — *шейка*. Вследствие того, что ролики постепенно несколько срабатываются, может создаться такое положение, что пятка по краям будет испытывать

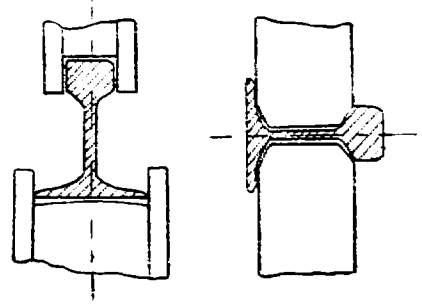


Фиг. 445. Схема правки в роликовом правильном прессе.

большее давление, нежели посредине (фиг. 446 справа), а это может привести при больших давлениях к *расколу пятки посредине*. Такие случаи довольно часто наблюдаются при правке рельсов на вертикальных прессах, если ролики, относящиеся к пятке, недостаточно хорошо пригнаны и недостаточно часто сменяются. Ролики, прилегающие к головке, расколов не вызывают, так как поверхность головки закругленная. Раскол может и не произойти, но в рельсе после такой правки будет большое напряжение центральной части пяты, и при службе рельса в пути это напряжение мо-



Фиг. 446. Положения рельса при правке в роликах.



Фиг. 447. Вертикальная и горизонтальная правка рельсов.

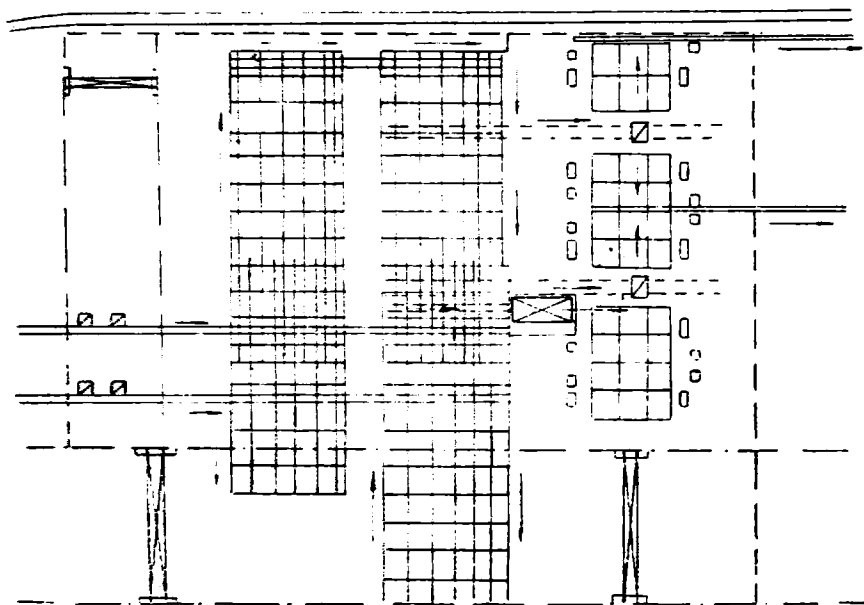
жет вызвать трещину. Центральная часть роликов срабатывается быстрее, чем крайние, поэтому целесообразно делать таковые несколько выпуклыми, чтобы рельс опирался сильнее всего на ролик своей серединой (фиг. 447 слева).

Вертикальные роликовые пресса имеют в настоящее время большое применение, но указанные выше недостатки привели к употреблению в самое последнее время горизонтальных роликовых прессов (фиг. 447 справа). При правке на таких прессах давление испытывает *шейка рельса и внутренние стороны головки и пяты*, причем давления эти не вызывают тех вредных напряжений в пятке, как на вертикальных прессах.

В горизонтальном прессе шейка испытывает некоторое *растяжение*, вследствие надавливания роликов на головку и пятку; однако эти растяжения считаются менее опасными.

Горизонтальные роликовые прессы еще недостаточно испытаны. Поэтому иметь окончательное суждение об их работе еще трудно. Но все же, по отзывам, имеющимся в иностранной литературе, следует, что такие прессы, повидимому, будут с успехом конкурировать с прессами для вертикальной правки.

**Фрезерование и сверление рельсов.** После правки рельсы подвергаются *фрезерованию торцов* на специальных *фрезерных станках*. При фрезеровании торцов требуется особая тщательность, дабы избежать обычных недостатков рельсов—*заломов*, получающихся при очень большой стружке и применении тупых резцов. В случае таких заломов на торцах приходится отламывать бракованную часть и вторично производить фрезерование на укороченной длине, что связано, во-первых, с лишним расходом времени и, во-вторых, с потерей металла и лишними затратами на рабочую силу.



Фиг. 448. Неправильное расположение рельсоотделочной.

Исследование, произведенное на Сталинском заводе, с полной убедительностью доказало, что основная причина заломов рельсов кроется не в плохом качестве металла, а в самой отделке торца. Умеренная подача и острый фрезер гарантируют получение чистого торца без заломов.

После фрезерования рельсы поступают на *сверлильные станки*, на которых производится сверление *одновременно 3 дыр на определенном расстоянии друг от друга*; дыры служат для скрепления рельсов при укладке в пути. Дыры делаются *овальными*, чтобы можно было допускать известную *игру рельсов в пути*, т. е. некоторое передвижение, происходящее под влиянием изменений длины рельсов от перемен температур воздуха.

**Рельсоотделочные.** Правильность расположения стелюг и агрегатов рельсоотделочной, а также стелюг склада готовых изделий, с точки зрения *правильного грузового потока*, имеет весьма существенное значение для нормальной работы цеха. На фиг. 448 в качестве примера приведено *неправильное расположение рельсоотделочной*. Охлаждаемые рельсы перезвигаются по стрелкам. По стрелке рельсы направляются в роликовый пресс, выйдя из которого попадают в сторону от комплекта правильных фрезерных и сверлильных станков, затрудняя работу последних. Помимо того площадь стелюг используется не полностью, несмотря на ее недоста-

точность. Это происходит вследствие установки роликового пресса на неудобном месте. Впрочем, при планировке рольсоотделочной не была предусмотрена установка роликового пресса.

На фиг. 449 приведено расположение горячих стелюг, рельсоотделочной и склада рельсов для *рельсопрокатного цеха по проекту Гипромега*. После пил горячие рельсы поступают в машину (станок) для горячего загиба, имеющую три ролика с приводом от электромотора 50 л.с. Перед этой машиной находится устройство для *клеящихся рельсов*. Далее рельсы поступают на 4-рядные стеллажи, которые при длинных рельсах (25 — 30 м) работают как 2 ряда. Во 2-ом ряду предусмотрены *весы для взвешивания рельсов*. Остывшие рельсы в конце стелюг попадают на рольганг, транспортирующий их к распределительным стелюгам перед 2 роликовыми правильными прессами.

Из этого места рельсы симметрично направляются в прямую и обратную стороны. Пройдя пресс, рельсы распределяются на стелюги, имеющиеся перед каждым из 2 кулачковых прессов, служащих для *доправки*. Далее выправленные рельсы поступают на фрезерные и сверлильные станки, откуда транспортируются на складские стелюги для *внешнего осмотра*.

Все передвижение рельсов *механизировано и производится с помощью рольгангов и шлепперов*. Возвратно-поворотное направление потока принято здесь ради уменьшения длины цеха. После осмотра привятые рельсы *грузятся на платформы*, стоящие на железнодорожном пути в пролете склада. Рельсы, требующие вторичной отделки, поступают *специально для этого предназначенную часть рельсоотделочной*, где имеется правильный кулачковый пресс и комплект фрезерных и сверлильных станков. Для отделки балок, швеллеров и уголков предусмотрена *специальная небольшая отделочная*, снабженная кулачковым правильным прессом, ножницами, пилой и стеллажами с шлепперами.

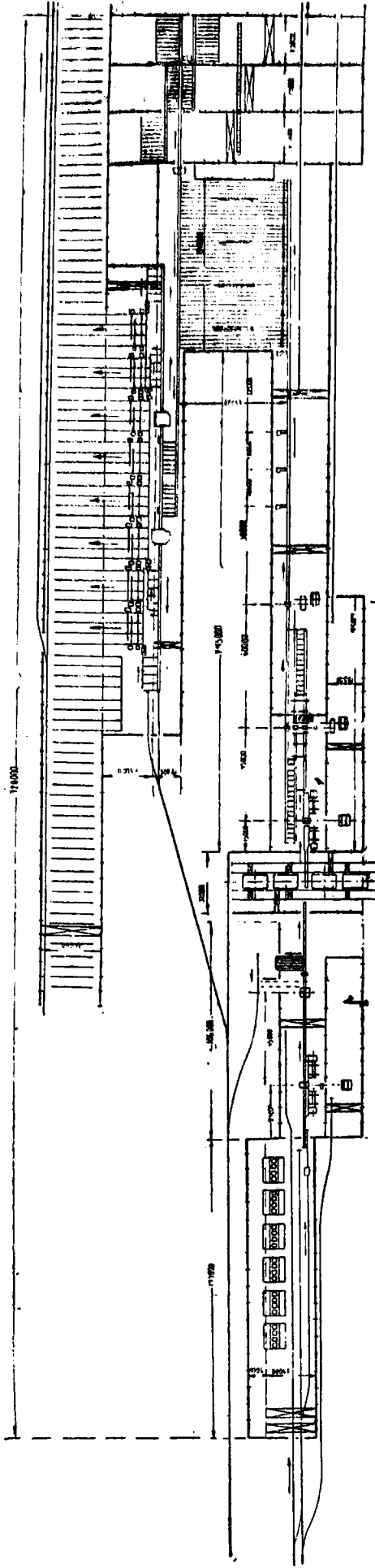
**Внешний осмотр рельсов.** Осмотр рельсов на складе производится обычно только в *дневную смену*, т. е. при дневном освещении, чтобы можно было заметить *малейшие дефекты на поверхности рельса*. Рельсы, выложенные на стелюги, *переворачиваются попеременно на все четыре стороны* и со всех четырех сторон *тщательно осматриваются* специальным штатом осмотрщиков.

При осмотре на рельсах обнаруживаются те пороки, о которых было уже сказано выше, а именно: плены, рванины, волосовины, песочины, а также усадочные раковины в торцах рельсов и неудовлетворительная отделка последних, т. е. обнаруживаются рельсы, плохо выправленные, плохо отфрезерованные и неправильно насаверленные.

Рельсы с недостатками, поддающимися исправлению, помечаются и *поступают снова в отделочную мастерскую*. Рельсы не могущие быть исправленными, зачисляются во 2-й сорт, — это значит, что они не могут быть пущены для укладки на железнодорожных путях и утилизируются обычно на внутризаводских либо станционных путях, где не допускается большой скорости движения железнодорожных составов. Рельсы же, которые не могут быть отнесены даже ко 2-му сорту, т. е. имеющие крупные недостатки, *переплавляются в мартеновских печах*. Но такие рельсы стараются не выпускать на стелюги, а еще во время прокатки бракуют и режут под пилюю.

*Рельсы, которые не имеют никаких недостатков, зачисляются в 1-й сорт и предъявляются для приемки инспектору НКПС*. Последний проверяет их при помощи своего штата осмотрщиков и, убедившись в том, что рельсы годны и могут быть зачислены в 1-й сорт, *производит приемку и разрешает отправлять* таковые на соответствующие железнодорожные участки. Рельсы грузятся помощью специальных кранов на железнодорожные платформы, причем укладка рельсов и размер платформ обычно стандартны, так что погрузка производится достаточно быстро. Если учесть, что один завод отправляет ежедневно до 500 т рельсов, а на





Фиг. 449. Гельсольный цех по проекту Гипромега.

каждый вагон может быть погружено до 20 т, то, следовательно, в сутки отгружается не менее 25 вагонов рельсов в две рабочие смены (так как в 3-ей — дневной — производится осмотр). Таким образом погрузка одной платформы должна продолжаться около получаса, а иногда доходит до 15—20 минут. Рельсы 2-го сорта с копляются на складе и время от времени убираются и отправляются по месту назначения.

## ЛИСТОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

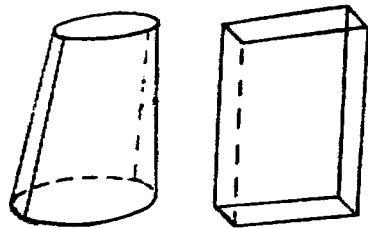
Существующий сортамент листов обычно классифицируют по трем группам: 1) *толстые листы от 8 мм и выше*, 2) *средние листы от 3 до 8 мм* и 3) *тонкие листы от 0,9 до 3 мм*. Назначение и применение этого сортамента листов в нашей социалистической промышленности велико и разнообразно. Рост потребления листового материала в связи с развитием в нашей стране машиностроения, тракторостроения, авио-автомобилестроения, судостроения, транспорта и т. д. — из года в год в большей степени повышается. В связи с этим на наших новых металлургических гигантах строятся новые мощные листопрокатные мастерские на базе слябингов, ибо существующие на наших действующих заводах маломощные, зачастую одноклетевые и к тому же слабо оборудованные листопрокатные станы, не удовлетворяют потребности в листах.

Рассмотрим вкратце существующие способы прокатки листов.

### § 88. Прокатка толстых и средних листов

Толстолистовым железом называют листы шириною от 800 мм и выше и толщиной более 8 мм. Наибольшая толщина листов, прокатываемых для обычных целей, составляет 42 мм. В зависимости от назначения и технических условий, толсто-среднелистовое железо может отличаться различным сопротивлением на разрыв (нормально 32—46 кг/мм<sup>2</sup>) и разным удлинением (20—26%).

Толстые и средние листы железа применяются главным образом для постройки котлов (котельное железо, топочные и огневые листы и листы цилиндрической части), для судостроения (корпусные листы и пр.), для изготовления цистерн и резервуаров (резервуарное железо и сталь толщиной от 4 до 16 мм), для гражданских сооружений, металлических конструкций, мостов (мостовое железо с сопротивлением на разрыв 37—45 кг/мм<sup>2</sup>, и удлинением не менее 22%), железнодорожного подвижного состава (например, железо для паровозных рам с сопротивлением на разрыв 32—42 кг/мм<sup>2</sup>, и удлинением не менее 22%) и т. д.



Фиг. 450. Слиток (плюшка) и заготовка (сляб) для листа.

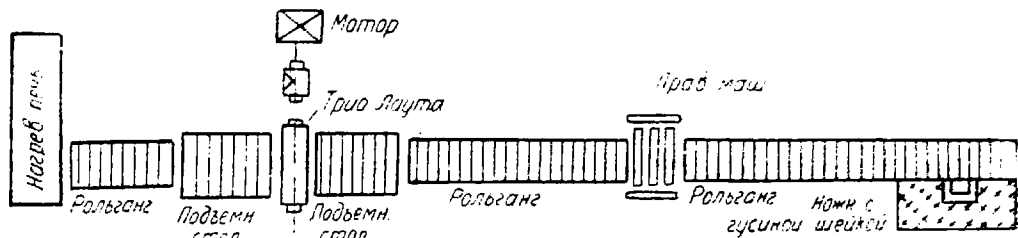
Наиболее высокие требования предъявляются к котельным листам. Исходным материалом для прокатки толстых и средних листов железа служит обычно мартековский, а иногда и бессемеровский металл.

Слитки сообразно с размерами листа или брони отливаются весом от 200 кг до 5 даже 50 т (для брони). Тяжелые слитки отливаются разливкой стали сверху, более легкие — разливкой сифоном.

Слитки отливаются плоскими, в поперечном сечении несколько вытянутой формы, близкой к прямоугольной с выпуклыми сторонами. Такие слитки называются „плюшками“ (фиг. 450 слева). Иногда листопрокатные станы работают и на обжатой листовой заготовке прямоугольного сечения (фиг. 450 справа); в этом случае исходный слиток, предварительно обжимаемый на специальных обжимных станах (слябингах или блумингах), имеет значительно больший вес.

До последнего времени существовало две системы прокатных листов: 1) американская и 2) английская, во многих отношениях резко отличающиеся. В настоящее время наряду с этими двумя системами появились новые системы, совершенно отличные от первых.

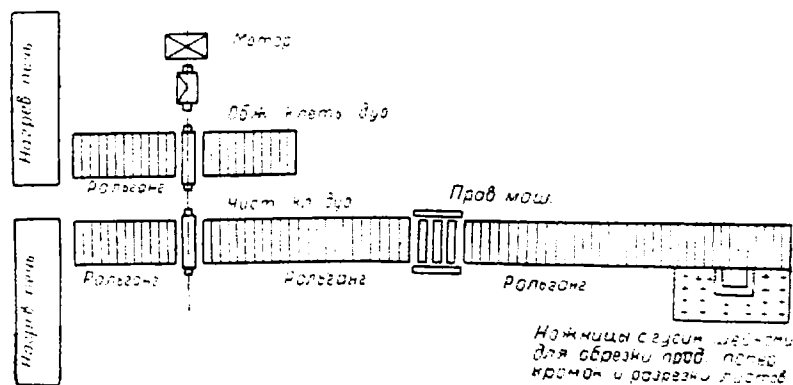
В Америке листы прокатываются всегда на станах трио системы Лаута (фиг. 451); при этом слиток в большинстве случаев не проходит предварительно обжимного стана, а прямо из колодцев с одного нагрева прокатывается в лист надлежащих размеров.



Фиг. 451. Схема американского расположения.

В Англии же нагретый слиток сначала обжимается на обжимном стане (стоящем рядом в линию с чистовым), и разрезается на части (слябы) соответственно размерам листа. Эти слябы вторично подогреваются и затем уже поступают на отделочный стан для прокатки в лист нужных размеров. При этом прокатка слитка, как в обжимном стане, так и в отделочном, ведется всегда исключительно в станах дуо-реверсивных (фиг. 452).

При американской системе экономится время и работа, затрачиваемые на разрезание болванок, и отпадают расходы на промежуточное подогревание болванки между обжимным и отделочным станами. Что же касается



Фиг. 452. Схема английского расположения стана для прокатки толстых и средних листов.

качества листов, то можно считать вполне установленным, что и в том и другом случае можно получить одинаково хорошие результаты.

Относительно станов Лаута необходимо сказать следующее: 1) для вращения стана трио Лаута может быть употреблен двигатель меньшей мощности (в виду наличия маховика); 2) валки стана Лаута могут вращаться с большей скоростью, 3) потеря времени, необходимая для перемены хода, устранена; 4) вытяжка металла при среднем валке меньшего диаметра больше; 5) листы поэтому могут быть прокатаны значительно скорее, и тонкие листы большой площади могут быть выкатаны с большей точностью. Но устройство и содержание больших станов Лаута обходится значительно дороже станов дуо-реверсивных. Поэтому лучше ограничиваться употреблением станов трио для производства листов мелкого и среднего веса и размеров.

Если трио-стан удобен для прокатки средних и тонких листов, то *дуо-реверсивный* — для прокатки более толстых, тяжелых листов. При прокатке, например, 5—10-т слитка в стане трио Лаута приходится тратить много энергии на подъем и передвижение слитка; при реверсивном дуо подъемных столов нет, а по обеим сторонам имеются только рольганги. Кроме того, реверсивные дуо в настоящее время устраиваются с отдельными закаленными валками в отделочной клетке, что способствует получению более правильного и чистого вида и более точных размеров листового железа. Следовательно, вопрос о выборе того или другого стана требует особого обсуждения только в случае прокатки среднего веса и размеров слитков.

При прокатке листов много хлопот доставляет *поддержание цилиндрической формы валков*. Если валки выточить прямо цилиндрическими и катать между ними узкую болванку, то *середина валков нагревается сильнее*, вследствие чего *валок делается выпуклым*. При прокатке между такими валками *лист получается не одинаковой толщины*; кроме того, вследствие различных скоростей на поверхности валка, *середина листа коробится*.

Для устранения этого явления в Англии валкам придают форму не цилиндрическую, а *слегка вогнутую*. Между такими валками сначала прокатывают узкие листы; когда же валки разогреются и станут цилиндрическими, на них можно прокатывать и широкие листы.

В Америке валки точат *цилиндрическими и предохраняют их от разбухания посредине обильным поливанием водой*. Такая мера оказывается очень эффективной и листы получаются одинаковой толщины. При толщине листов более 6 мм стекающая с них вода не охлаждает их заметным образом, так как, приходя с ними в соприкосновение, принимает особое „сфероидальное“ состояние и каплями скатывается с листов, увлекая вместе с собой и образующуюся на листах окалину. В Англии и на некоторых заводах у нас для удаления окалины часто употребляют хвою (веники).

Однако какие бы меры мы ни принимали, валки в листовых станах в результате долгой службы в средней своей части, в которой происходит большая часть работы, все же выработываются сильнее и делаются несколько тоньше. Несмотря на то, что эта выработка бывает и весьма незначительна (от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  мм), лист уже начинает выходить неправильным, на концах его края начинают оттягиваться сильнее, чем середина (фиг. 453). Если мы такой лист тщательно измерим, то увидим, что *середина листа окажется толще, чем края*.

На наших советских заводах в таких случаях, во избежание частой перевалки сработанных валков в станах трио Лаута, поступают следующим образом.

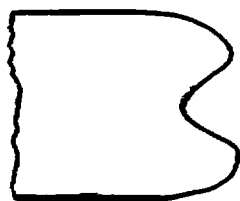
Сначала закладывают в стан новые или отремонтированные валки с совершенно ровными цилиндрическими бочками. Как только появятся признаки того, что средняя часть валка несколько выработывается и листы в середине получаются толще (на 0,4—0,5 мм), производят *перевалку только одного среднего валка*, причем кладут валок уже не с ровной бочкой, а такой, у которого средняя часть толще краев на 0,3 мм. Эта выпуклость среднего валка будет выравнивать выработанные середины у верхнего и нижнего валков, и лист будет получаться одинаковой толщины, как в середине, так и на краях.

После такой перевалки ведут прокатку до тех пор, пока снова не заметят, что середина листа получается толще. Тогда опять производят перевалку среднего валка и в этот раз уже вальцуют такой средний валок, у которого середина толще на 0,5 мм. Таким образом *продолжают менять только один средний валок, а нижний и верхний оставляют на месте*.

Перевалка среднего валка приостанавливает прокатку всего только на 1—2 часа, между тем на перемену всех трех валков потребовалось бы более 10 часов.

Перемену среднего валка ведут, все увеличивая утолщение середины до тех пор, пока не будет положен валок с серединой толще на 1,5 мм. После того, как листы вновь будут получаться с более толстой серединой, производят уже *перевалку не одного среднего валка а всех трех*. Таким образом, верхний и нижний валки работают по несколько месяцев, а средний меняется примерно каждую неделю.

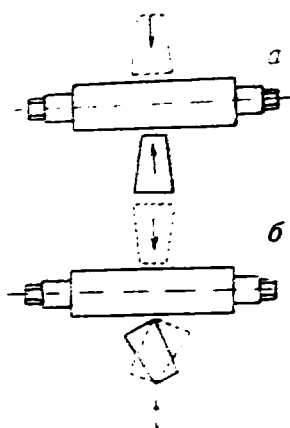
Рассмотрим теперь *процесс прокатки листов*. Если слиток предварительно обжимается в болванку (по английской системе), то последняя имеет



Фиг. 453. Лист с утолщенной серединой.

форму параллелепипеда, а дальнейшая раскатка ее в лист производится обыкновенным способом. Но, если слиток прямо раскатывается в лист (по американской системе), при прокатке нужно применить особый прием.

Слиток, имеющий, как уже указывалось, форму плоской усеченной пирамиды (в основании — прямоугольник с несколько выпуклыми сторонами), пропускается между валками более тонким концом вперед и прокатывается таким образом до тех пор, пока не будет получена одинаковая толщина; в другом измерении, т. е. по длине слитка, он будет представлять еще трапецию (фиг. 454, а). Чтобы сообщить трапециевидную форму прямоугольнику, лист пускается широким концом вперед и поворачивается при этом на платформе стола (рольганга) таким образом, чтобы он *раскатывался по диагонали*, входя между валками углом, или, как говорят, *прокатку ведут „по углу“* (фиг. 454, б). При обратном движении, узким концом вперед, лист должен входит между валками по всей кромке. При третьем пропуске лист задают в валки опять широким концом, но уже другим углом и т. д. Манипулируя таким образом, *листу сообщают постепенно прямоугольную форму*. Поворачивание листа на столе производится или при помощи лома, если лист легкий, или при помощи специального манипулятора. После того, как лист раскатают до правильной формы прямоугольника и притом до требуемой ширины, его поворачивают и начинают раскатывать уже в длину до нужных размеров.



Фиг. 454. Схема прокатки листа по американской системе.

Готовый прокатанный по американской или по английской системе лист на благоустроенных заводах сейчас же по выходе из валков со стола (или рабочего рольганга) попадает на *длинный рольганг*, доходящий на некоторых заводах (заграничных) до 150 м. В конце рольганга помещаются *ножницы* (фиг. 451 и 452). Лист с прокатного стана вкатывается на этот рольганг, но не передвигается на нем дальше, а оставляется на роликах, пока прокатывается следующий лист. Опираясь на ролики рольганга, лист сверху и снизу охлаждается почти одинаково, вследствие чего охлаждение идет быстро. Постепенно весь рольганг покрывается остывающими листами и служит одновременно и охлаждающей и передвигающей листы платформой.

Если, к примеру, прокатываются листы длиной 10 м и на их прокатку требуется 3 мин., то лист длиной в 150 м будет остывать на рольганге 45 минут; этого времени совершенно достаточно, чтобы лист остыл настолько, чтобы его можно было в конце рольганга *осмотреть и разметить для обрезки*.

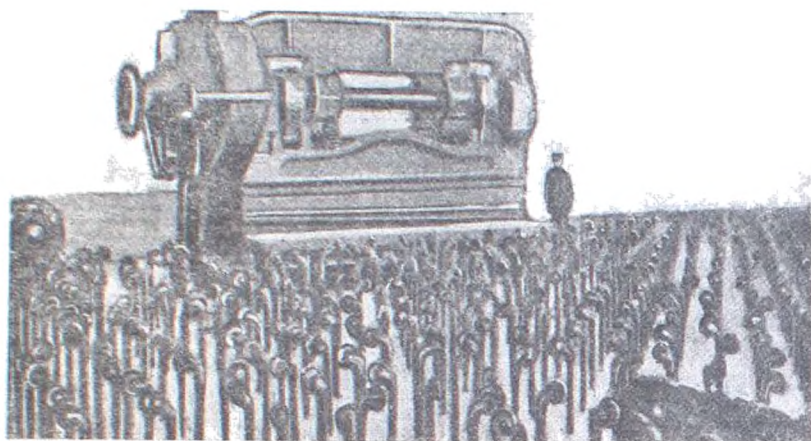
Листы не тоньше 6 мм несколько не гнутся и, сойдя с рольганга, оказываются совершенно ровными. Если же замечают, что листы немного прогибаются вследствие слишком сильного перегрева, то ролики рольганга при этом заставляют слегка двигаться назад и вперед, пока лист несколько охладится и уже более не коробится. Иногда листы все же приходится править, так как при охлаждении они коробятся. Для выправки таковых, примерно посредине рольганга ставят специальные *правильные (роликотые) машины*, через которые и пропускают двигающиеся по рольгангу листы.

Когда лист, предварительно уже осмотренный и размеченный на пути продвижения по рольгангам, подойдет к ножницам, расположенным, как уже указывалось, в конце рольганга, его обрезают по краям (т. е. продольные и поперечные кромки).

Для удобства поворачивания листа перед ножницами делается особое приспособление; на заводском полу укрепляются на расстоянии 500 мм друг от друга вертикальные стержни толщиной около 65 мм, наверху которых закреплены поворачивающиеся ролики. Такие стержни называются *гусиными шейками* (фиг. 455).

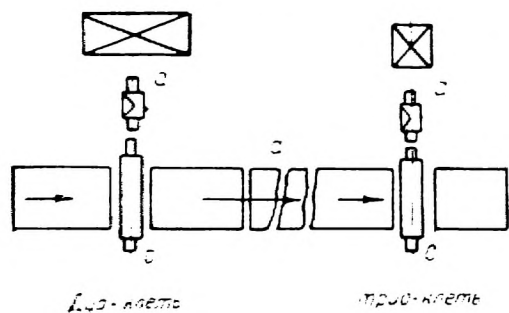
Ролики устанавливаются на уровне нижнего лезвия ножниц, и лист, выходя из ножниц, ложится на ролики и, опираясь на них, может легко передвигаться в горизонтальной плоскости. Это передвижение производится вручную. После обрезки лист передвигается к весам, где он взвешивается и клеймится. Затем лист подхватывается краном и переносится для погрузки в вагон.

Производительность тяжелых листовых станов обычно колеблется в пределах 60—80—100 тысяч т в год.



Фиг. 455. Гусиные шейки.

В последнее время за границей (Америка) для производства толстых и средней толщины листов начали применять новую систему, осуществляемую на так называемых *тандем-стангах*. Этот тип листопрокатного стана состоит из двух последовательно установленных (на расстоянии 28 м друг от друга) клеток с отдельным приводом (а) каждая (фиг. 456). Первая клетка *b* представляет собой реверсивное дуо с валками диаметром обычно 950—850 мм, а вторая *c* — трио Лаута с валками диаметром от 950—600—950 до 800—550—800 мм; обе клетки соединены между собой

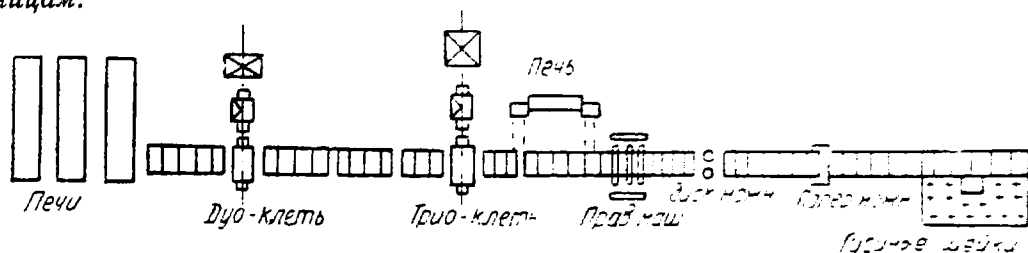


Фиг. 456. Тандем-стан для прокатки толстых и средних листов.

рольгангами *d*, так что после разболванивания (черновая раскатка) в реверсивном дуо листовая заготовка очень удобно передается в трио Лаута, оборудованное подъемными столами для окончательной прокатки. При подобном расположении стана обычно 80% прокатки производится в черновой клетке дуо и лишь 20% — в чистой клетке трио Лаута. Чистовые валки вследствие этого менее изнашиваются, и листы получают чище и более равномерной толщины. Так как обе клетки снабжаются самостоятельными двигателями, то они совершенно независимы в своей работе, и прокатка идет одновременно в обеих клетках согласованно по времени, чем достигается значительное повышение производительности.

Производительность тандем-стана значительно больше производительности двух обычных одинарных станов, так как отделочному стану (трио-Лаута) можно придать большую скорость, чем у обычных листовых станов. По имеющимся данным предельная производительность американских тандем-станов составляет 150—200 тысяч т в год.

При этой системе прокатки готовый лист, выйдя из чистовой клетки трио (фиг. 457), поступает, если нужно, в печь для отжига, затем из печи по рольгангу к *правильной машине*, пройдя которую движется, одновременно охлаждаясь, к *круглым (дисковым) и поперечным ножницам*. На дисковых ножницах, расположенных на расстоянии 160 м от стана, лист одновременно обрезается по длине с обеих боковых кромок. Современные конструкции дисковых ножниц дают возможность обрезать листы шириной от 500 мм и больше. Обрезка поперечных кромок производится на поперечных ножницах после обрезки продольных кромок. Затем лист поступает на *гусиные шейки*, где размечается и разрезается на *прессовых ножницах*. Листы осматриваются на рольганге до поступления к ножницам.



Фиг. 457. Схема расположения листопркатного тандем-стана.

Подобный листопркатный цех запроектирован и будет в скором времени установлен на новостроящихся заводах: в Ново-Тагиле и Запорожье.

Тандем-станы обычно работают на *обжатой листовой заготовке (сляб)*, получаемой из крупного слитка прокаткой в особых тяжелого типа обжимных станах, называемых *слябингами*, или в блумингах с американской калибровкой валков. В Европе (Германия) эту плоскую листовую заготовку чаще всего получают прокаткой в тяжелых листовых дуго-реверсивных станах (Brammenstrasse) с валками, имеющими на концах рабочей части *по одному ребровому калибру* для придания прокатываемой полосе (брамме) правильных кромок.

## § 89. Прокатка тонколистового железа

Тонколистовое железо (толщина от 3 мм и ниже) подразделяется на *собственно тонколистовое толщиной от 3,0 до 1,5 мм, кровельное железо черное и оцинкованное в листах размером 710 × 1420 мм (площадь 1 м<sup>2</sup>) толщиной от 1,5 до 0,8 мм, обычно различного развеса от 3,25 до 6,0 кг в листе, динамное железо в листах такого же размера толщиной обычно 0,5 мм, жесть черную размером листа 510 × 710 мм или 710 × 1420 мм (площадь 1,0 м<sup>2</sup>) толщиной обычно 0,22—0,48 мм и, наконец, жесть белую тех же размеров, как черная.*

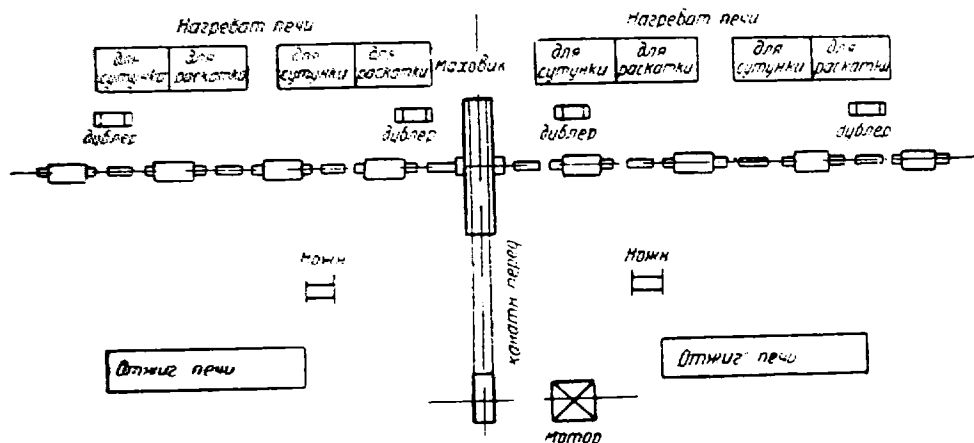
Технологический процесс прокатки разных толщин тонколистового железа различается сравнительно мало. Ниже мы рассмотрим технологический процесс изготовления кровельного железа, собственно тонколистового железа и жести.

**Производство кровельного железа.** Обычно производство кровельного железа разбивается на *две основных операции: прокатку и отделку листов*. В СССР кровельное железо изготавливается двумя способами: 1) *уральским*, разработанным свыше 150 лет тому назад на Урале, принятым главным образом на Урале же и отчасти на некоторых южных заводах; 2) *западно-европейским*, употребляемым как в Западной Европе и Америке, так и на большинстве южных заводов СССР. Эти два способа существенно между собою различаются на протяжении всего процесса производства.

Исходным материалом служит обычно мартековский или в редких случаях бессемеровский металл в виде слитков развесом от 0,25 до 0,55 т, прокатываемых сначала на сортовом трио-стане (иногда в универсальных, а в последнее время за границей — на непрерывных станах) в узкие и длинные полосы (так называемое широкополосное железо), разрезаемые потом на листовую заготовку, или так называемую сутунку, длина которой соответствует ширине листа плюс допуск на обрезку кромок.

1. *Уральский способ.* Вес сутунки, из которой, как правило, получают один лист, должен быть больше веса чистого готового листа на 20—25%; например, для 4 кг (10-фунтового) листа вес сутунки будет 5 кг при размерах такого 150 × 740 × 5,5 мм. Обычные размеры сутунки: длина — 740 мм, ширина — 150—175 мм, толщина — 4—5—8 мм и вес 6—12 кг.

Полученную сутунку нагревают в печах обычно камерного типа (средняя производительность их на 1 м<sup>2</sup> составляет 2,5—3 т в 24 часа) при восстановительной атмосфере до температуры 900—1000° и подают к кровельному стану. Стан состоит из комплектов по две дуо-клетки: черновая с мягкими или старыми вальками и чистовая с твердыми закаленными вальками. Диаметр валков как в той, так и другой клетях составляет от 450 до 650 мм. Стан, как правило, снабжается тяжелым маховиком



Фиг. 458. Схема расположения кровельного стана и печей.

(весом до 60 т), по обе стороны которого обычно располагается 3—4, а иногда и больше рабочих клети (фиг. 453). Приводными являются только нижние валки, верхние же валки холостые и зачастую неуравновешенные. Поэтому верхний валок приподнимается листом и снова падает на нижний после того, как лист вышел из стана. Так как приводными устраиваются только нижние валки, то никаких шестеренных клетей не требуется.

Прокатка в кровельных станах ведется в одну сторону; в обратную сторону лист передается вхолостую через верхний валок.

Нагретую сутунку сначала раскатывают (разболванчивают) в черновой клети 4—5 пропусками до длины, равной 25% длины готового листа, после чего, пересыпав лист молотым древесным углем во избежание сваривания, спаривают со вторым листом и в 3—4 пропуска докатывают до половинной длины готового красного листа. В прокатке обыкновенно находятся две сутунки: в то время как одна из них передается рабочим (так называемым ловильщиком или застановщиком) поверх верхнего валка обратно, вторая пропускается между валками. Полученные пары листов после пересыпки молотым углем и вторичного подогрева в печи для раскаток снова спариваются в пакет по 4—5—6 штук („четверки“, „пятерки“, „шестерки“ и т. д.) и докатываются уже в чистой клети в 10—11 пропусков до окончательной длины с пропуском на обрезку. Прокатать каждый лист в отдельности в кровельных станах тоньше 2 мм не представ-



ляется возможным. В зависимости от требуемой толщины число листов, складываемых в пакеты, доходит до 4 или 8. Время раскатки каждой сутунки при 8—9 пропусках составляет 24—27 сек, а двух сутунок—48—54 сек. Время прокатки двух пар при 7 пропусках—63 сек. Таким образом полное время прокатки 4 „красных“ листов составляет около 2 мин.

То обстоятельство, что листы при уральском способе пересыпаются во время прокатки „припылом“, совершенно предохраняет их от слипания и сваривания друг с другом. При подогреве в печах с сильно коптящим пламенем неслипшиеся листы покрываются очень тонким слоем окислов, которые при дальнейшей прокатке совместно с припылом дают на поверхности листов очень тонкий слой весьма прочных окислов железа, которые предохраняют железо от действия атмосферы лучше всякой покраски. В этом состоит характерная особенность уральского кровельного железа.

Полученные после прокатки листы сортируют на голубые и красные (различают так же I и II сорт), из которых первые идут на изделия, от которых требуется хороший наружный вид без покраски. Красные же листы, начерно обрезанные, складывают в пачки весом от 0,5 до 0,8 т и нагревают в специальной отжигательной печи в восстановительной атмосфере в течение 3—4 часов и затем пробивают под так называемыми разгонными (хвостовыми) молотами 500—700 ударами. В горячих (полуостывших) еще пачках после пробивки разбирают и перетирают каждый лист с обеих сторон мокрыми хвойными метлами, вновь складывают в пачки и вторично пробивают под гладильными молотами приблизительно 300 ударами.

Первая пробивка листов под разгонными молотами служит для вколачивания (уплотнения) слоя окислов в лист, который благодаря этому плотно и прочно держится на последнем, покрывая его наподобие тонкой эмали, а также для придания железу наиболее мелкого зерна, которое не получилось бы при свободном остывании листа.

Вторая пробивка листов на гладильном мологе производится для выравнивания и выпрямления их. В результате такой обработки (прокатка с припылом, отжиг и пробивка под молотами) листы кровельного железа, как уже указывалось, весьма трудно поддаются ржавлению и поэтому обычно никогда не оцинковываются.

Пробитые и выправленные листы обрезаются на параллельных ножницах по мерке 1420×710 мм и поступают в окончательную сортировку, после чего пакетируются (в пачки по 80—100 кг весом) для отправки. Обычно средние результаты производства кровельного железа после сортировки получаются следующие: I сорт—85—53%, II сорт—35—26%, брак кровельный—10—4,5%, брак поделочный—7,5—4,5%, обрезки—10,5—8,0%, угар—1—2%. Производительность одной клетки кровельного стана составляет обычно 15—20 т в сутки.

2. Западно-европейский способ. При этом способе изготовления кровельного железа исходным материалом служит также сутунка тех же размеров по длине и ширине, но по толщине и по весу—вдвое больше, чем при уральском способе, так как из одной сутунки катается два листа—это наиболее существенное отличие этого способа от уральского. Второе существенное отличие заключается в отсутствии пересыпки древесным молотым углем дублируемых листов, в раздирке и правке листов; здесь листы правятся на особом правильном станке, а не под молотом.

Процесс прокатки кровельного железа по этому способу следующий. Нагретую в печи (чаще методической) сутунку раскатывают начерно сначала в черновой дуб-клетки до определенной длины, затем ее дублируют, т. е. сгибают сдваиванием при помощи особого механизма—дублера; из таких сдвоенных раскаток делают пакет на 4—6 листов (2—3 сложенных вдвое раскаток), снова нагревают и докатывают до надлежащей длины уже в чистой клетке. После прокатки железа, вследствие отсутствия припыла, получается в виде слипшихся листов, которые с огромным трудом раздирают на части при помощи тупых ножей в форме сабель или

особых раздирочных машин. Для уменьшения слипания приходится катать железо при довольно низкой температуре 900—925°. *Разодранные листы имеют местами светлую металлическую поверхность, не защищенную от атмосферных влияний слоем окислов.*

Затем кровельное железо укладывают в герметические ящики из жароупорной стали вместимостью 1000—1200 листов и *отжигают в течение 18—24 часов в коридорного типа печах с последующим 15—20-часовым охлаждением в закрытом виде на воздухе.* При отжоге, который действует на листы крайне неравномерно вследствие больших пакетов, и частью даже портит такие-е, листы *покрываются легким слоем окислов, скорее цветами побежалости, однако эти окислы слишком слабы, чтобы предохранить лист от ржавления в такой степени, как предохраняет его слой магнитной окиси при уральском способе.*

После отжига листы *разбираются и правятся* путем пропуска по одному через *листоправильные семи- или девятивалковые станки.* Последующими *сортировкой и пакетированием* процесс производства кровельных листов по западно-европейскому способу заканчивается.

В зависимости от того, каким способом изготовлялось кровельное железо, поверхность его имеет различный вид: железо, изготовленное по уральскому способу, имеет блестящий вид, изготовленное по западно-европейскому способу — матовый вид.

Уральское железо показало на различных кровлях большую сопротивляемость ржавлению по сравнению с железом южно-советских заводов: при некоторых опытах оно даже не начинает трогаться ржавчиной, тогда как южное уже превращается в труху.

Известен случай пожара Екатеринбургского. вые гор. Свердловск, гостиного двора, на крыше которого уральское железо простояло без перемены 100 лет. Крыша была тщательно осмотрена, железо обследовано, и оказалось, что, отрезав горизонтальные замки, в которых заставалась 100 лет влага, остальную часть железа можно было внов пустить в дело.

Что касается химического состава кровельного железа, то, при всех прочих одинаковых условиях, т. е. одинаковой отливке, прокатке, отжоге и т. д., ржавлению поддается скорее то железо, в котором содержится больше марганца (Mn) или больше серы (S). Особенно вредным оказалось влияние серы, так как при долголетнем соприкосновении с воздухом и парами воды сера начинает окисляться. Конечно, указанные вредные примеси тем менее действительны, чем лучше железо покрыто прочной уральской коркой окислов. Опыты показали, что южное железо, изготовляемое по уральскому способу, несмотря на серу и марганец отличается такими же превосходными качествами, как и уральское.

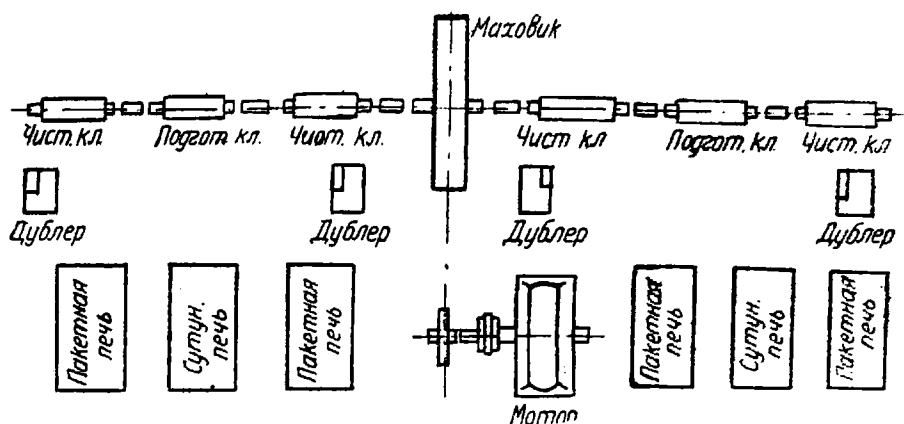
**Производство черной жести и тонколистового железа.** Прокатку черной жести и вообще тонколистового железа (толщиною ниже 3 мм) ведут в зависимости от толщины на *горячих или холодных шейках.* На горячих шейках (шейки валков не охлаждаются, тело валка находится в горячем состоянии) обычно прокатываются быстро охлаждаемые листы толщиною от 1,5 мм и ниже. Диаметр валков при подобной прокатке применяется 550—700 мм при длине в 700—1250 мм. Для того, чтобы валки в горячем состоянии имели цилиндрическую форму, их *обтачивают и шлифуют слегка вогнутыми по середине валка.* Прокатка жести и тонкого железа производится из сутунки шириною 350—300 мм и толщиною 4—30 мм. Длина сутунки равна ширине листов с припуском на обрезку. *Производительность одной клетки за 8-час. смену—2,5—7,0 т.*

На холодных шейках прокатка происходит между *холодными валками, шейки которых охлаждаются водой* (иногда охлаждается и тело валков) и как правило прокатывают листы толщиною 3—1,5 мм. Диаметр применяемых валков 650—750 мм при длине 1250—1800 мм, иногда 2000 мм. *Производительность одной клетки за 8-час. смену—10—20 т.*

При прокатке жести или тонколистового железа на холодных или горячих шейках станы обычно имеют 2—3 *чистовые клетки при одной общей черновой.*

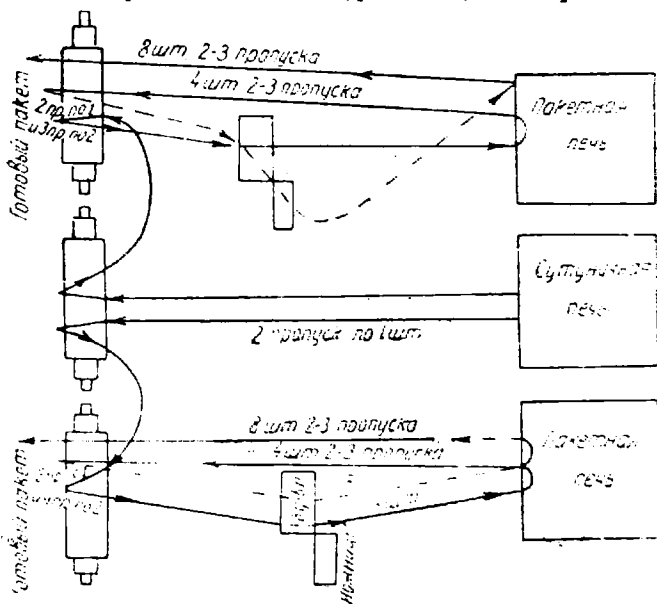
Прокатку собственно жести, особенно предназначенной для последующего лужения или оцинкования, чаще всего производят на горячих шейках и притом с большими скоростями. Это вызывается необходимостью не допускать чрезмерного остывания листов во время прокатки,

так как это сопровождалось бы образованием большого количества окалины, а в результате поверхности листов получались бы неровными. Обычно тотчас же после пуска стана и начала работы на нем валки начинают постепенно нагревать. Валки изготавливаются из чугуна, закаленного отливкой в изложницы. Такие валки сообщают прокатываемому листу более чистую и ровную поверхность.



Фиг. 459. Схема расположения жестокатального стана и печей.

В настоящее время для прокатки жести применяют чаще всего *три* рабочие клетки дуо, из которых средняя служит для подготовительной (черновой) прокатки, а две остальных — для окончательной. Прокатный стан обычно состоит из шести таких клеток, расположенных симметрично по три с каждой стороны маховика (фиг. 459) или приводного двигателя.



Фиг. 460. Схема прокатки тонкой жести.

Такая система расположения особенно удобна, так как каждые три клетки составляют самостоятельный агрегат, работают как бы независимо, и могут быть легко отцеплены от мотора, в то время как другая сторона (тоже три клетки) продолжает работать. Подготовительная клетка каждой тройки обычно располагается в середине между чистовыми и снабжается отдельной сутуночной печью. Каждая чистовая клетка точно также имеет отдельно печь для нагрева пакетов.

Изготовление тонкой жести, так же как и кровельного железа, разбивается на две основные операции — прокатку и отделку.

Сутунка, идущая на изготовление жести, обычно имеет в ширину 150—200—250 и даже 300 мм и в толщину от 5 до 13 мм, причем из одной сутунки в конечном результате получается 8 листов стандартных размеров (510×710 мм). Такие сутунки сначала *нагреваются в сутуночной печи с восстановительным пламенем и затем попарно подаются в черновую клеть*, откуда после двух пропусков поодиночке, поступает в *чистовую клеть*, в которой и прокатывают ее 5—6 пропусками (2 пропуска поодиночке и 3—4 пропуска — попарно) до толщины 1,5 мм. После этого полученная пара раскаток *сдвигается на дублере* (получился пакет в 4 листа), *подогревается в пакетной печи, снова подается в чистовую клеть* и раскатывается опять уже четверкой 2—3 пропусками до толщины 1,5 мм; затем *снова дублируется, подогревается в печи и уже пакетом в 8 листов прокатывается в чистовой клетке 2—3 пропусками до получения листа окончательной толщины (0,4—0,2 мм)*. Во время дублирования листы *всякий раз* *обрезаются* (фиг. 460).

Таким образом, прокатка тонкой жести производится в несколько *нагревов* и в несколько приемов; на чистовой клетке одновременно прокатываются несколько листов пакетами, которые образуются простым складыванием (сдвиганием) листов один на другой, причем составляются двойки, четверки и т. д. до восьмерок. *Количество листов в пакете* зависит от толщины и при ширине до 600 мм находится в следующем соотношении:

Толщина листов (мм)	Число листов в пакете	Потери на обрезку и угар (%)
1 и выше . . .	1	10
1,0—0,71 . . .	2	12
0,7—0,41 . . .	4	16
0,4—0,2 . . .	8	18

После прокатки листы подвергаются *отделке*, заключающейся в *разрубке, отжиге, травлении, полировке и лужении*.

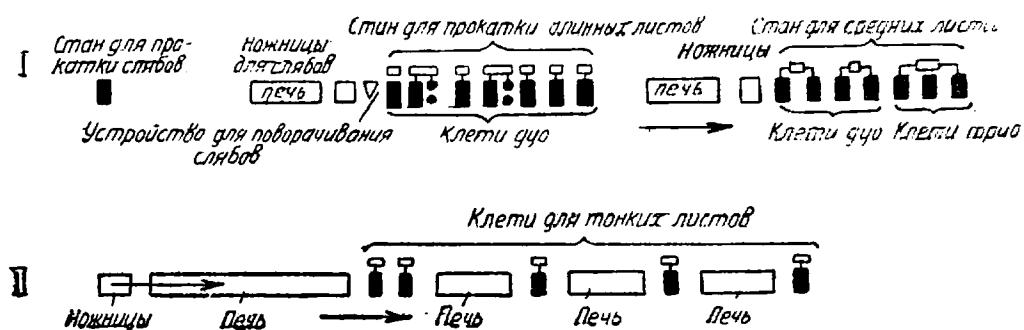
После прокатки листы жести в пакетах часто весьма сильно привариваются друг к другу, поэтому полученные пакеты, точно так же, как и кровельное железо, изготовленное западно-европейским способом, приходится раздирать на отдельные листы тупыми ножами или раздирочными машинами. После раздирки листы, или так называемые *карточки*, сортируются, т. е. отбирается явный брак в виде листов, непригодных для дальнейших операций. Такого брака получается 2—3%; кроме того, получается около 12% жести, не годной для лужения. Остальные 85% идут в дальнейшие переделы. *Производительность одной чистовой клетки* обычно составляет 12—16 и даже до 22 т в сутки готовой тонкой жести.

**Непрерывная прокатка тонких листов.** В последнее время за границей для прокатки тонких листов, лент и сутунки начали применять *непрерывные станы*, своей производительностью значительно превышающие (в 20—30 раз) обычные листопрокатные станы. Впервые непрерывная прокатка листов была осуществлена в 1902 г. в Теплице (Богемия), однако применявшийся стан, состоявший из 5 клетей, для прокатки тонких листов оказался нерентабельным, и только после многочисленных опытов и исследований в Америке в 1924 г. на заводе в Ашланде (American Rolling-Mill) удалось осуществить прокатку тонких листов на непрерывных станах. На этом заводе был установлен непрерывный стан (фиг. 461) для прокатки листов значительной длины толщиной 1,25—0,71 мм и шириною 1040 мм.

Подогретый в печи *слаб* размерами 100×915×7000 мм *предварительно раскатывается на непрерывном стане*, состоящем из 7 клетей, в сутунку

толщиною 10 мм. Эта сутунка *подогревается в печи и после разрезки на ножницах поступает во второй непрерывный среднелистовый стан*, состоящий из 7 клеток — первые 4 клетки *дво*, а последние 3 — *трио*. На этом стане сутунка *раскатывается до толщины листа 5,2—1,65 мм*, затем на ножницах *разрезается, снова подогревается в печи и окончательно прокатывается на непрерывном тонколистовом стане*, состоящем из 5 клеток *трио*.

Клетки расположены на таком расстоянии друг от друга, что *между ними помещаются подогревательные печи*. На этом стане листы *раскатываются толщиной от 1,25 до 0,71 мм*, большую же частью 0,9 мм, при ширине 1040 мм. Листы *подвергающиеся дальнейшей прокатке, т. е.*



Фиг. 461. Схема расположения непрерывного тонколистового стана.

*тоньше 0,71 мм, прокатываются в холодном состоянии. Для непрерывной прокатки в холодном состоянии на давном заводе имеется 8 станов* причем каждый состоит из 2 или 5 клеток. *Производительность описанного стана составляет свыше 450000 т в год тонких листов.*

Благоприятные результаты работы тонколистового стана в Ашланде побудили в последние годы и некоторые другие американские заводы *установить подобные непрерывные станы.*

*Преимущества непрерывных станов для прокатки тонких листов очень велики. По имеющимся данным, непрерывные станы дают до 80% экономии на заработной плате, сокращают расход энергии на 30% и вдвое уменьшают расходы на травление и отход в брак. Стоимость сооружения современного американского непрерывного тонколистового стана, отнесенная к 1 т прокатанного материала, примерно равна стоимости старых листовых станов. Нужно полагать, что производство тонких листов по принципу непрерывной прокатки в будущем получит широкое распространение.*

## ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

По способу изготовления различают *сварные и цельнокатаные (бесшовные) трубы*. Первые из них, как менее прочные, находят себе обычно менее ответственное применение в промышленности, чем вторые, идущие преимущественно на удовлетворение потребностей особенно ответственных отраслей народного хозяйства. Однако сварные трубы имеют ряд преимуществ, благодаря которым они, в случаях неответственного применения, легко конкурируют с цельнокатанными: во-первых, они *дешевле*, во-вторых, дают возможность при фабрикации их относительно *быстро переходить от одного сорта к другому*, что очень важно для всестороннего удовлетворения потребностей промышленности. Наконец *сопротивление ржавлению сварных труб, покрытых окисью железа, выше, чем цельнокатанных.*

Возможно, что с течением времени, по мере удешевления производства цельнокатанных труб, производство сварных труб, изготовляемых обычными методами сварки, прекратится и окончательно уступит место бес-

шовным трубам. Но пока наша бурно растущая социалистическая промышленность предъявляет в одинаковой степени огромный спрос как на те, так и на другие трубы. Этот спрос настолько велик, что наши трубные заводы не в состоянии удовлетворить его полностью, и мы вынуждены пока частично ввозить трубы из-за границы, одновременно строя новые мощные трубопрокатные заводы и реконструируя старые.

В довоенное время годовое производство труб составляло всего 67 тыс. т, из которых 55 тыс. т приходилось на долю сварных труб и только 12 тыс. т на бесшовные. К концу 1927/28 года, т. е. к началу первой пятилетки, годовой выпуск труб составляет по СССР 170 800 т, причем сварных труб было изготовлено 116 500 т, а бесшовных—54 300 т. Первая пятилетка дала дальнейший и притом весьма значительный прирост производства железных и стальных труб, что видно из таблицы 47.

Таблица 47

Производство сварных и бесшовных труб (в тыс. тонн)

Наименование продукции	1927/28 г.	1928/29 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.
Сварные трубы . . . . .	116,5	125,7	147,1	154,4	165,0	209,6
Бесшовные . . . . .	54,3	63,3	103,4	130,2	145,0	229,3
В проц. к 1927/28 г.	100	111	146	165	181,5	287

Как видно из таблицы, за первую пятилетку, т. е. к 1933 г. продукция трубного производства возросла против 1927/28 г. в 1,8 раза, а в 1933 г. была увеличена против 1927/28 г. почти в 2,6 раза. В сравнении же с довоенным периодом (1913 г.) производство в 1933 г. возросло в 6,5 раз. Из этой же таблицы 47 мы видим, что удельный вес бесшовных труб в общем балансе трубного производства из года в год возрастает, составляя к концу 1933 г. 52%, между тем как в 1927/28 г. он составлял всего 32%.

**Производство бесшовных труб.** Все возрастающие с ростом техники требования к механическим свойствам труб, прогрессивно увеличивающееся потребление труб почти всеми отраслями промышленности уже давно не могли быть удовлетворены ни количественно, ни качественно нижеописанными способами производства сварных труб, так как металлом для сварки труб может служить только самая мягкая малоуглеродистая сталь, а производительность агрегатов вследствие специфичности производства незначительна и во многом еще не механизирована, не автоматизирована. Поэтому уже с конца XIX столетия стали получать распространение и внедряться в трубное производство способы изготовления *бесшовных труб* из различных металлов и сплавов. Бесшовные трубы по сравнению со сварными обладают целым рядом преимуществ, как то: возможность применения в качестве материала легированных сталей, большая механическая прочность изделия, высокая производительность их производства, широкий сортимент (от 2 м.м до 3 м. диаметром), механизация и автоматизация процессов и т. д.

За период развития производства бесшовных труб, а также в настоящее время существовало и существует большое количество разнообразных в принципе и разновидностях методов получения бесшовных труб. Остановимся здесь лишь на современных и имеющих крупное промышленное значение способах.

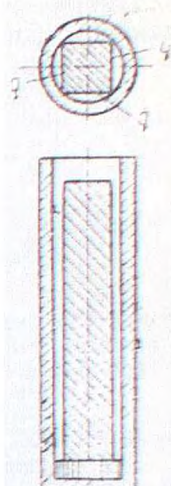
## § 90. Способ Эргардта

Нагретая до яркосветлого каления четырехугольная болванка помещается в матрицу (фиг. 462). Матрица накрывается крышкой, имеющей в центре отверстие, через которое проходит пуансон гидравлического прессы. Под большим давлением пуансон вдавливаются в болванку и пронизывает ее. Металл при этом раздается в стороны и заполняет пустые пространства  $q$  между сторонами болванки и внутренней цилиндрической

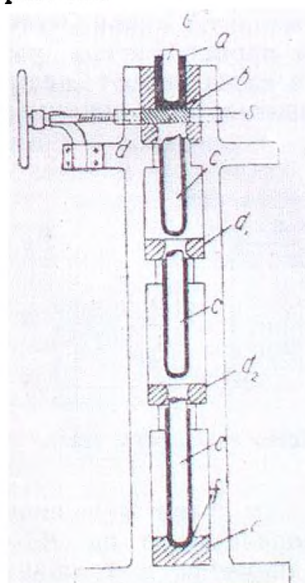
поверхностью матрицы. Для того, чтобы металл в матрице не испытывал чрезмерного сжатия и не выдавливался вверх, необходимо рассчитать площади сечения болванки и матрицы так, чтобы площадь сечения пуансона точно равнялась сумме четырех площадок  $q$ . Вследствие этого иногда, для получения заготовки с определенным диаметром и толщиной стенки болванке приходится придавать при отливке многогранное сечение, либо производить „прошивку“ последовательно в двух, трех матрицах.

Для прошивки болванок этими способами требуются прессы значительной мощности, которая в основном зависит от диаметра пуансона. Пресс Эргардта наиболее широко применяется для труб большого диаметра (обычно свыше 250 мм), а также для мелких размеров. Трубы промежуточных размеров предпочитают изготавливать другими способами, описанными ниже.

Изготавливают тонкостенные трубы и непосредственно с одного нагрева болванки в специальном протяжном прессе; устройство и работа понятны из фиг. 463. Здесь  $b$ —матрица, аналогичная по устройству матрице вышеописанного прессы Эргардта. В нее помещается болванка  $a$ , которая прошивается пуансоном  $c$ . В этом случае прошивка болванки производится не сквозная, а оставляется доньшко, которое служит упором для пуансона при дальнейшей протяжке. В некоторых устройствах дно болванки даже специально охлаждают, чтобы во время протяжки пуансон не пробил его преждевременно. Плита  $S$  после прошивки болванки в матрице отодвигается винтом в сторону, и заготовки протягиваются под давлением пуансона через протяжные кольца  $d, d_1$  и  $d_2$ , с последовательным уменьшением диаметра последних. Горизонтальный пресс для протяжки труб больших диаметров представлен на фиг. 464.

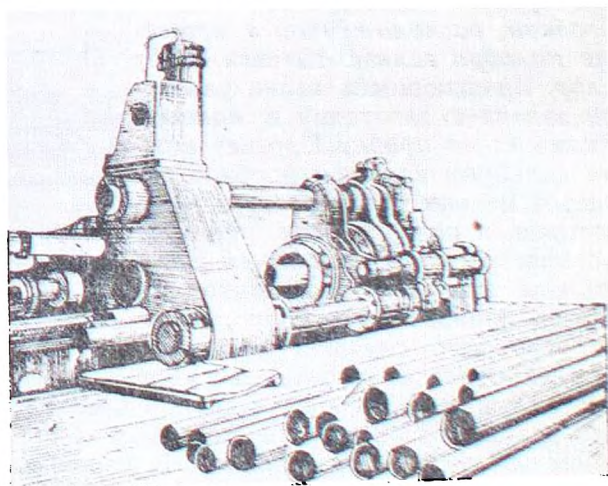


Фиг. 462. Слиток в матрице прессы Эргардта.



Фиг. 463. Вертикальный пресс Эргардта.

Способ Эргардта с последующей протяжкой в прессах имеет значительное преимущество сравнительно с остальными видами производства



Фиг. 464. Горизонтальный пресс для протяжки труб большого диаметра.

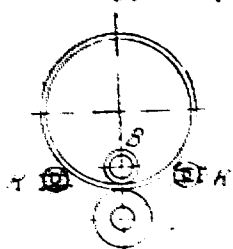
бесшовных труб, состоящее в том, что он не требует столь качественного металла. Сам способ производства таков, что металл подвергается значительной проработке, и в результате качества его повышаются. Данные

испытаний показывают, что после подобного рода обработки предел упругости повышается на 30%, временное сопротивление на 10% и продольное удлинение на 20%.

Эргардт применил свой способ и для получения труб *очень большого диаметра, до 2,5 м.* Сначала прошивкой на прессе получают гильзу или заготовку, на протяжном прессе *вытягивают до достижения необходимой длины и затем подвергают прокатке на обыкновенном стане дуо.*

Для этого заготовка надевается на верхний вал стана и раскатывается как обыкновенное листовое железо. Схема устройства такого стана показана на фиг. 465. Здес *A и B* — валки стана, *K и K'* — поддерживающие ролики. Удлинения трубы при этом не происходит. Этим способом поэтому катают трубы только до 4 м длиною. Трубы такого диаметра применяются в котлостроении для производства котлов без продольного шва, как барабаны для турбин и т. п. Вообще же способом Эргардта получают трубы дымогарные, водопроводные, газовые, велосипедные, а также и пустотелые тела как, например, баллоны для хранения газов и жидкостей под давлением, артиллерийские снаряды и т. п.

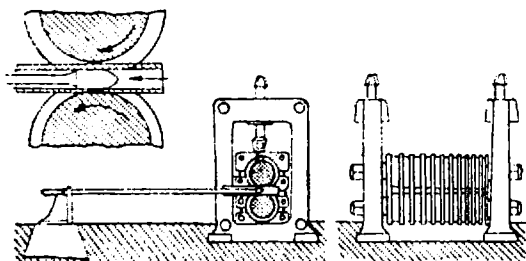
*К недостаткам способа Эргардта следует отнести появление трещин* (это вообще недостаток прессов) иногда очень тонких. Их выявляют травлением, вырубают и стараются удалить последующей протяжкой. Сюда же следует отнести и значительный износ матриц, для уменьшения которого последние смазывают смесью нефти с графитом.



Фиг. 465. Схема прокатного стана для труб большого диаметра.

## § 91. Шведский процесс

Прошивка заготовки для этого способа производится на ранее описанном прессе Эргардта. Полученная заготовка без вторичного подогрева поступает для дальнейшей обработки в *шведский стан*, представляющий собой обыкновенный стан дуо (с двумя рабочими валками в одной клетке) с одной или несколькими клетками, в зависимости от прокатываемых размеров труб, с *постоянным вращением валков.* Валки стана имеют целый ряд круглых калибров (фиг. 466). Сзади стана устанавливается *штанга с пробкой, расположенной в просвете калибра валков.* Штанга имеет упор. Вращающиеся валки увлекают заданную заготовку и *натягивают ее на пробку.* Просвет между калибром валков и пробкой делается меньше толщины стенки заготовки, и поэтому при прокатке получается *утонение стенок и вытяжка гильзы.* Как только вся гильза пройдет через валки, пробка, свободно сидящая на конце штанги, *отпадает и попадает в воду для охлаждения,* штанга с трубой крышевым подъемом ставится на верхний валик, *передается на переднюю сторону, поворачивается на 90° и задается в следующий калибр.* В зависимости от диаметра и толщины стенки, которые желают получить, труба проходит необходимое число калибров.



Фиг. 466. Устройство шведского стана.

Таким образом получали трубы шведским процессом в первоначальной стадии его развития. В настоящее время все операции этого процесса значительно механизированы.

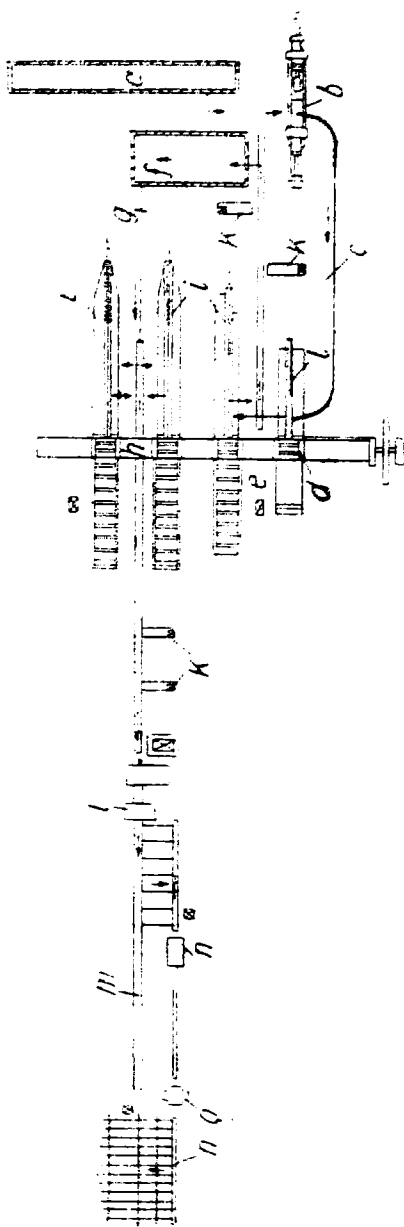
Приводим описание *современного автоматизированного цеха бесшовных труб по шведскому способу.* На фиг. 467 изображен план этого цеха,



вернее схема расположения агрегатов в цеху. Стрелки указывают поток металла, т. е. тот путь и те устройства, которые проходит металлическая болванка, чтобы дать готовый продукт. Прибывшая в цех болванка поступает в методическую нагревательную печь *a*. Будучи подвергнута здесь достаточному и равномерному нагреву, она выдается из печи и доставляется соответствующим и транспортными устройствами в прошивной гидравлический пресс *b*. Полученная в прессе полная заготовка по подвесному пути *c* подается к стану и задается в обжимную клетку, в которой изменяется лишь толщина стенки, при сохранении внутреннего диаметра. После нескольких пропусков в обжимной клетке специальная электрическая тележка (катучий стол) передает гильзу в черновую клетку *e*. Здесь уже уменьшается и наружный и внутренний диаметр, а также и толщина стенок, достигающая здесь величины от 12 до 7 мм, в зависимости от конечного диаметра и толщины стенки трубы. По рольгангу гильза от черновой клетки поступает к пилам *k*, которые режут гильзу на заготовки, весом соответствующие весу готовой трубы.

Так как за время, которое необходимо для прохождения всех этих операций заготовка успевает остыть, то изпод пилы она поступает в подогревательную печь *f*, откуда уже по подвесному пути *g* подается к одной из двух чистовых клетей *h*, где после нескольких пропусков приобретает окончательные размеры готовой трубы. Тележка *i* возвращает трубу на рольганг, подающий ее к пилам *k*, которые образуют концы. При прокатке в стане дуо труба часто получает волнистую поверхность и недостаточно точный наружный диаметр. Для исправления этих недостатков труба проходит еще через специальный полировочный станок *l*, где сглаживаются ее наружная и внутренние поверхности, и калибровочный станок *n*, в котором ей сообщается точный наружный диаметр. Наконец, труба правится по длине в особом рихтовальном станке *o* и поступает для охлаждения на стеллажи *p*. Устройство полировочного, калибровочного, рихтовального и других вспомогательных станков описано ниже.

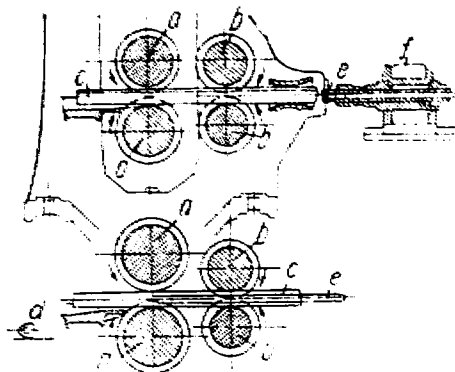
На фиг. 468 показано устройство механизированной клетки шведского стана. Здесь мы видим те же рабочие валки *a* с круглыми калибрами, штангу *e* с пробкой и упором *f*. Но тут в той же самой станине с задней стороны клетки расположены вспомогательные транспортные валки *b*. В них выточены круглые калибры, равные соответственно расположенным калибрам в рабочих валках *a*. Эти вспомогательные валки вращаются в сторону, противоположную вращению рабочих валков. Передача движения



Фиг. 467. Схема цеха полуавтоматического трубного производства.

от привода к рабочим и вспомогательным валкам осуществляется через общую шестеренную клеть. Между подушкой верхнего валка и прижимным болтом в станинах имеется специальное устройство, не показанное на чертеже, позволяющее производить подъем и опускание верхнего валка в очень короткий промежуток времени. Подобного же рода устройство имеется и для нижнего транспортного валка. Верхний же вспомогательный валок закреплен неподвижно.

При прокатке трубы в рабочих валках нижний вспомогательный валок опущен. Как только труба целиком пройдет через рабочий калибр, включается пневматическое устройство, верхний рабочий валок поднимается, нижний транспортный валок также поднимается и, зажимая трубу в холостом калибре валков *b*, быстро передает на переднюю сторону стана сквозь открывшийся калибр рабочих валков, снимая ее со штанги и сбивая пробку *d*. Пока труба будет подана электрической тележкой в следующий калибр, пневматическое устройство успевает устанавливать валки в рабочее положение.



Фиг. 468. Клеть и схема работы полуавтоматического стана.

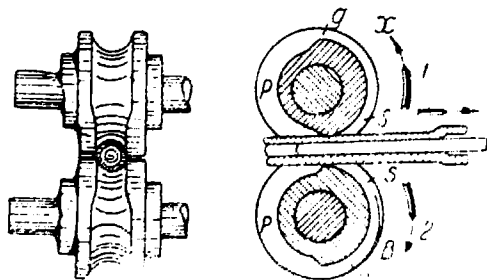
Шведским способом изготовляют трубы в пределах от 60 до 114 мм диаметром, редко до 150 мм, длиной 4—6½ и максимально 9 м. Препятствием к получению труб диаметром меньше 60 мм является изгиб штанги. Предел толщины стенок труб — 3 мм.

Неудобством этого способа является большое количество операций, но несмотря на это, он еще применяется, так как, с одной стороны, не требует материала столь высокого качества, а, с другой, для производства этим способом труб различных размеров потребляется стандартная литая четырехугольная болванка одних и тех же постоянных размеров, в то время как другие способы требуют для исходного материала количество размеров соответственно количеству размеров конечного продукта.

## § 92. Маннесмановский способ

Большим толчком к развитию производства безшовных труб явился изобретенный в 1888 г. братьями Рейнгардом и Максом Маннесман способ кривой вальцовки. Применение кривых вальцов при прокатке труб было известно и раньше, но для других целей, как, например, для полировки прокатанных труб. Бр. Маннесман принадлежит идея применить вращающиеся, косо расположенные валки для получения при пропуске между ними из нагретой круглой болванки полого цилиндрического тела. Схема работы прошивного стана кривой вальцовки Маннесмана рассматривалась в § 18.

Получить, однако, только кривой вальцовкой хорошую тонкостенную трубу не удавалось. Вследствие больших напряжений металла, кривых усилий и целого ряда других причин нельзя было получить ни достаточной правильности сечения, ни достаточного уменьшения толщины стенок, ни достаточно гладкой поверхности.

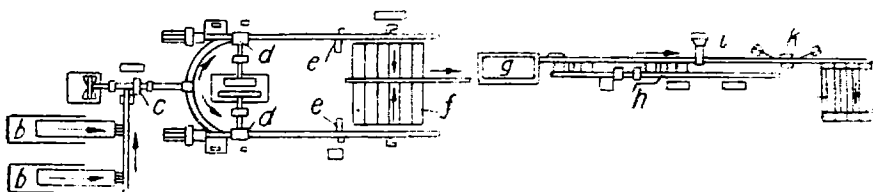


Фиг. 469. Пильгер-валки.

Стан косо́й вальцовки применяется теперь *исключительно для целей прошивки болванок в пустотелые гильзы*, дальнейшая переработка которых в окончательный продукт—трубы—осуществляется на изобретенном в 1891 г. теми же братьями Маннесман, так называемом *пильгерном стане*.

На фиг. 469 показано сложное очертание калибра *пильгервалков*. В них одна половина внутренней поверхности *qs* образует *рабочий калибр*. т. е. при встрече этих поверхностей в валках, вращающихся в противоположных направлениях, образуется *круглый калибр*, диаметр которого равен *окончательному диаметру прокатываемой трубы*. Не рабочая часть *p* при встрече образует „зев“, диаметр которого соответствует диаметру прокатываемой заготовки.

Рассмотрим теперь на фиг. 241 схему прокатки в *пильгер-стане*. Гильза *c* надетая на гладкий цилиндрический стержень — *пильгер-дорн b* — подается соответствующими механизмами в рабочие валки *a* (положение I). Здесь часть *d* трубы показана уже в прокатанном состоянии. *Направление вращения валков, обратно направлению продвижения дорна с гильзой*. Гильза подается в момент раскрытия зева. При его сужении переходная часть калибра или рабочий конус захватывает часть гильзы (от 7 до 25 мм). Этот момент захвата и показан на фиг. 241, положение I. При дальнейшем повороте валков рабочий калибр, подавая дорн с гильзой в обратном направлении (на рисунке показанном стрелкой), *раскатывает захваченную часть и заглаживает прокатанную ранее*. Момент раската показан во II положении, а полировки—в III. Когда кончается рабочая часть



Фиг. 470. Схема расположения маннесмановского типа.

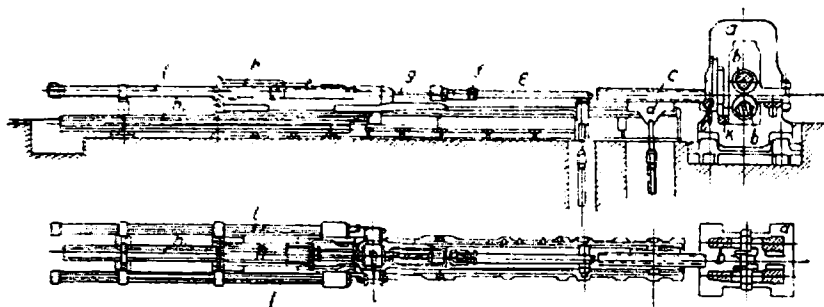
калибра валков, открывается зев, и дорн с гильзой снова *устремляется вперед, одновременно делая поворот на 90°*. Поворот имеет целью *сгладить неровности, образующиеся при прокатке в трубы в одном положении и процесс снова повторяется*.

Рассмотрим теперь *схему маннесмановского цеха* на фиг. 470. Исходным материалом для труб малого диаметра (до 90 мм) служит прокатанная круглая заготовка, для средних и крупных диаметров (до 600 мм) —литая круглая болванка из мартеновской стали. Прокатанная заготовка делится на необходимой длины куски на специальном *прессе для ломки заготовки*. Затем эта заготовка или литая болванка поступает в методические печи *b*, отличающиеся от обыкновенных прокатных методических печей большим скатом пода, что необходимо для облегчения кантования болванки, и большей его длиной для достижения более равномерного прогрева.

Печи на данной схеме устроены с выдачей болванки в лоб. Хорошо прогретая болванка выдается из печей и скатывается в рольганг, подающий ее к прошивному стану косо́й вальцовки *c*, который обслуживает своей продукцией—гильзами—*одновременно две пильгер-клетки*. Прошитая заготовка подвозится транспортными устройствами (обыкновенно рольгангом или электрической тележкой, передвигающейся по дугообразному пути) к *подающему аппарату пильгер-стана*. Полученная труба после прокатки в пильгер-стане по особому жолобу поступает под пилы *e*, *обрезающие концы, разрезающие*, если в этом есть необходимость, ее на части. В зависимости от назначения трубы, а следовательно, и точности размеров и чистоты отделки, она может либо прямо после обрезки поступать на охлаж-

дающие стелюги или же подвергнуться подогреву в печи *g* и пройти после нагрева полировочную машину *h*, калибровочный стан *i*, правильный станок *k* и только после всех этих операций, в результате которых труба получает совершенно гладкую полированную поверхность и точные размеры, она поступает на *охлаждающие стелюги*.

Рассмотрим теперь *устройство и работу прошивного стана* (фиг. 91). Здесь *a* соединительная муфта стана с мотором, *b*—маховик. В настоящее время эти станы работают и без маховиков, при соответствующем моторе. Далее помещается шестеренная клеть *c*, связанная с рабочими валками *g* посредством соединительных шпинделей *e* с шаровыми соединениями *d*. Нагретая болванка для прошивки попадает в жолоб *f*, откуда гидравлическим толкателем *m* задается в валцы *g*. В разрезе видны установочные приспособления *h*, дающие возможность совершать сдвиг и раздвижение рабочих валков. Прошитая гильза оказывается надетой на дорне *i*, упирающемся одним концом в замок. Замок после этого раскрывается при помощи гидравлического устройства, и гильза по рольгангу *n* выдается



Фиг. 471. Устройство пильгер-стана и подающего механизма.

наружу. Специальное приспособление, так называемый шибер *k*, задерживает дорн во избежание увлечения такового гильзой во время передвижения последней по рольгангу. Фотография прошивного маннесмановского стана приведена на фиг. 265.

Следующим агрегатом является *пильгер-стан*. Его устройство напоминает во многом устройство обыкновенной клетки для прокатки сортового железа. *Пильгер-клеть* состоит из двух массивных станин *a* с рабочими валками *b* (фиг. 471). Верхний *пильгер-валок* может свободно подниматься вверх посредством *установочного нажимного винта*, не показанного на чертеже и приводимого в движение электрическим устройством, установленным поверху клетки.

Перед пильгер клетью находится *поворотный стол d*, необходимый для поворота гильзы перед задачей в валки соответствующим концом, работающий при помощи гидравлических устройств. Далее следует *подающий аппарат*.

Подающий аппарат имеет следующее устройство. Постепенное передвижение его для подачи гильзы в стан осуществляется двумя гидравлическими цилиндрами *l*. Величина отдельных „подач“, как уже ранее упоминалось, колеблется в зависимости от диаметра валков и прокатываемой гильзы в пределах от 7 до 25 мм. Таким образом, с каждым оборотом валков все устройства, за исключением гидравлических цилиндров *b*, подвигается вперед на величину „подачи“. Но, так как после захвата рабочие валки, раскатывая гильзу, подают ее в обратном направлении на расстояние, равное длине рабочего калибра, что видно при сравнении I и III положений раскатываемой гильзы на фиг. 241, то весь подающий аппарат должен был бы двигаться обратно. Если это обратное движение осуществлять теми же гидравлическими устройствами, то получилось бы слишком большое замедление в работе, чего нельзя допускать, помимо соображений

производительности, и из-за *остывания болванки*, которое собственно и ставит предел максимальной длине труб, прокатываемых по этому способу.

Поэтому необходимо приспособление, которое бы в возможно короткий промежуток времени позволяло бы *возвращать болванку в первоначальное положение*. Таким *быстродействующим устройством* является *воздушный цилиндр h*, работающий воздухом, подаваемым через сборник *h*, из компрессора под давлением от 3 до 12 атм, в зависимости от конструкции. Это позволяет очень быстро подавать дорн с гильзой в исходное положение.

Кроме того, движения дорна с гильзой в переменных обратных направлениях используются для *вращения гильзы* (поворота ее вокруг оси при каждой подаче на 90°), что необходимо для получения *правильной формы трубы*. Приспособление для этого представляет собой так называемую *дрель* или *дрельный винт g*. Шпиндель дрели имеет головку с замком *f* для соединения с дорном *e*, на который надевается гильза *c*.

Необходимо отметить, что трубы, полученные на пильгер-ставе отличаются настолько *гладкой и совершенной поверхностью*, что зачастую не требуют дополнительной отделки на полировочных устройствах. Многие заводы в Европе, работающие на пильгерных установках, изготавливают достаточно точные и хорошо отделанные трубы, не прибегая к этой дополнительной отделке, что значительно удешевляет стоимость производства труб.

*Способ Маннесмана* получил наибольшее распространение из всех способов изготовления труб без шва. По этому способу изготавливают трубы для самых разнообразных назначений и в очень широких пределах по размерам. Малые трубы диаметром в 40—50 мм изготавливаются на *быстроходных пильгер-станках*, число оборотов которых достигает до 300 в минуту. Длина труб этих диаметров может быть достигнута до 15 м, но большею частью она не превышает 10 м. Минимальная толщина стенки трубы, достигнутая в настоящее время, не превышает 2 $\frac{1}{2}$ , 2 $\frac{1}{4}$  мм. Наибольшая труба, изготовленная по этому способу, имела внешний диаметр 616 мм и длину 15 м. Но длина труб промежуточных диаметров значительно превышает указанные величины. При прокатке с одного подогрева труб, например, диаметром 300 мм, длина достигает 30 м. В виде исключения прокатывались трубы диаметром 200—250 мм длиной до 45 м. *Длина прокатываемой трубы ограничивается охлаждением металла*. Поэтому в дальнейшем, при ускорении процесса прокатки возможно получить и большие величины, достижение которых в настоящее время не представляет технической необходимости.

В отношении толщины стенок труб, изготавливаемых по этому способу, за последние годы имеются значительные достижения. В то время, как еще 2—3 года тому назад толщина стенок для больших, например, труб диаметром 500—600 мм не могла быть меньше 12—15 мм, теперь уже свободно получают такие трубы с 8—10 мм стенками.

На таких установках с 2 пильгер-клетями достигнута производительность, например, в 70 труб диаметром 70 мм в час, диаметром 300 мм — 20—25 штук в час. На одном американском заводе месячная производительность такой установки из 2 пильгер-клетей составляет 15 000 т.

## § 93. Автоматический способ прокатки Штифеля

Идея бр. Маннесманов о применении косых вальцев для прокатки труб без шва нашла после ее опубликования многих последователей, которые, основываясь на этом принципе косой вальцовки, добивались ее усовершенствования.

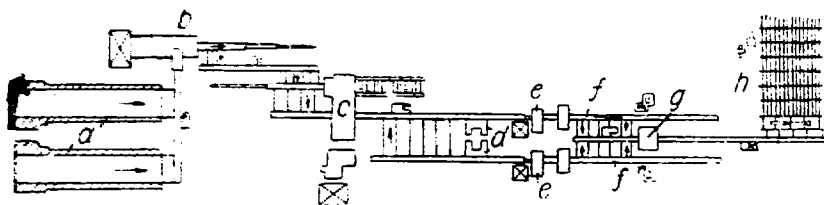
В 1904 г. в Америке инженер Штифель получал трубы так называемым *автоматическим способом*. Для прошивки заготовки Штифель при-

меняет свой стан с *грибовидными валками* (дисковый стан). Он пользуется также прошивными станами Маннесмана с бочковидными валками.

Понятие об устройстве дискового стана дает фиг. 238 а. Здесь показаны *два шайбовидных дисковых вала, вращающихся в одну сторону*. Болванка подается со стороны, *противоположной направлению вращения*, втягивается валками и под влиянием усилий, аналогичных усилиям, развиваемым в стане Маннесмана, приобретает склонность к образованию *внутренней полости*, которая разрабатывается *окончательно дорном*. Подобный же принцип работы имеют и *конические (грибовидные) валки Штифеля* (фиг. 238 б).

Болванки прошиваются этими быстро работающими устройствами в *очень короткий промежуток времени*. Скорость выхода гильзы из прошивного стана достигает 300 м/сек. Поэтому время прошивки колеблется в пределах 12—15 сек. Вторая особенность этих установок состоит в том, что на них можно получить *гильзы со стенками значительно меньшей толщины, чем в стане Маннесмана*.

Дальнейшая обработка производится в обыкновенном *дуо-стане с парой валков, имеющих круглые калибры*. Этот стан работает аналогично механизированному шведскому стану. Труба так же пропускается через *оправку с пробкой*; обратная труба подается *вспомогательными валками*.



Фиг. 472. Схема расположения автоматической установки для производства бесшовных труб.

Основное отличие этого способа от шведского заключается в том, что здесь гильза прокатывается *только в одном калибре*, вместо 10—12 калибров в шведском стане. В этом калибре она пропускается обыкновенно два раза, и только в случае необходимости делается еще и третий пропуск. В этом случае либо берется большая оправка в том же калибре, либо гильзу задают в другой меньший калибр. В шведском способе необходимость в таком большом количестве пропусков вызывалась *толстоственностью гильзы*, что неизбежно при прошивке болванки на прессе Эргардта. При производстве автоматическим способом, благодаря ранее указанной особенности прошивных станом системы Штифеля, можно давать гильзу со *значительно меньшей толщиной стенки*, и таким образом избежать столь большого числа пропусков.

Преимущество автоматического способа заключается в *значительном ускорении как процесса прошивки, так и прокатки*. Последнее в дуо-стане обуславливается прокаткой только в одном калибре, что дает возможность иметь *постоянный дорн для каждого размера трубы и устраняет затрату времени на передачу прокатываемой трубы от калибра к калибру, от клетки к клетке*.

Схема цеха, оборудованного автоматической установкой, представлена на фиг. 472. Здесь буквою *а* обозначены две печи с методическим нагревом, откуда хорошо прогретая болванка подается рольгангом к *прошивному стану b*. Полученная гильза транспортируется к *дуо-стану с*. Пройдя здесь два пропуски, труба после обрезки концов пилюю *d* передается к *полировочному стану e*. После полировочного стана и *калибровочного g* труба охлаждается на стеллажах.

Программа прокатки труб для автоматических установок заключена в пределах диаметром от 60 до 160 мм при длине 7—9 м. Препятствием к получению значительной длины труб является сам способ прокатки

на оправке, так как при превышении известного предела длины возможен прогиб штанги со всеми вытекающими отсюда желательными для прокатки последствиями. Но в настоящее время этим способом изготавливаются уже трубы и длиной 9—12 м. За последние годы в Америке на автоматических станках прокатывают трубы диаметром до 360 мм. Однако, при больших диаметрах труб прошивка болванок на дисковых станах требует дисков слишком значительных размеров, что создает неудобство в работе. В этих случаях для прошивки применяют стан косо́й вальцовки Маннесмана с бочкообразными валками. Но, так как прокатка на автоматическом стане требует гильзы с относительно тонкими стенками, что еще не достигнуто в современных станах косо́й вальцовки, то часто устанавливают один за другим два прошивных стана Маннесмана.

Достоинства автоматического способа привели к тому, что в Америке с 1908 г., т. е. через четыре года после его введения, целиком перешли на производство труб без шва этим способом.

Следует, однако, еще отметить следующее. Вследствие значительных напряжений металла при прошивке в дисковых и конических станах косо́й вальцовки Штиффеля, что вполне естественно при получении на них гильзы со значительно более тонкими стенками и с большей скоростью, чем на стане Маннесмана, материал, поступающий на прошивку, должен обладать хорошими физическими качествами. При автоматическом способе применяют большую часть прокатанную круглую заготовку.

Кроме того, для достижения высокой производительности при автоматическом способе производства обязательным условием является массовое производство труб одного размера. Производство же труб для нефте- и водопроводов, где желательно ради уменьшения количества соединений иметь трубы возможно большей длины, автоматический способ едва ли является технически и экономически выгодным.

Непрерывный трубопрокатный стан. При прокатке труб шведским способом заготовка пропускается через калибр валков довольно быстро и главные потери времени относятся к периодам передачи прокатываемой трубы от калибра к калибру. Это, с одной стороны, является препятствием к повышению производительности прокатки и, с другой, для получения тонкостенных труб требовало вторичного нагрева заготовки, остывавшей после прохождения уже первых пропусков.

Стремление сократить потери времени на передачу трубы из калибра в калибр, автоматизировать эту передачу, осуществилось в изобретении непрерывного трубопрокатного стана. Идея непрерывного прокатного процесса таким образом нашла свое применение и в трубопрокатном производстве.

Рассмотрим схему устройства одного из видов непрерывного трубопрокатного стана, называемого станом Фасля (фиг. 473). Гильза после подогрева надевается на стержень и вместе с ним поступает в стан, имеющий несколько пар валков с круглыми калибрами, расположенных поочередно во взаимно перпендикулярных положениях (вертикальных и горизонтальных) на одной прямой линии.

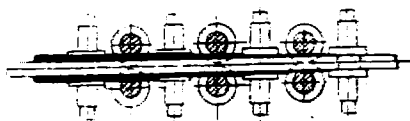
Согласование скоростей, подсчитанных согласно производимым вытяжкам, производится путем подбора соответствующих передаточных шестерен.

Вышедшая из последней пары валков труба поступает к стержню-извлекателю. Принцип работы его заключается в том, что труба со стержнем подводится по желобу к стальной доске с вырезом, в который вставляется соответственно диаметру трубы кольцо, задерживающее трубу, свободно пропуская стержень, вытаскиваемый тележкой.

Стержень перед надеванием на него гильзы смазывается смесью графита с олеонафтом для предупреждения возможного при прокатке приваривания металла и уменьшения трения при раскатке металла.

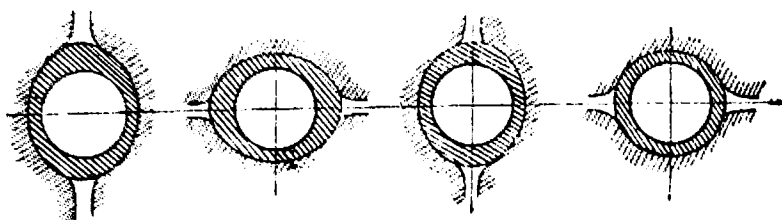
На фиг. 474 показана калибровка валков стана Фасля. Калибры сделаны овальными с таким расчетом, чтобы оставалось место для уширения металла во избежание заедания трубы в валках. В результате труба может получиться с сечением неправильной формы. Особенно значительна эта неправильность у труб меньших диаметров. Тут же видно, что первые пары валков являются обжимающими, а остальные отделочными.

Вследствие того, что трудно получить непрерывным способом правильный профиль сечения трубы, применение его возможно лишь в соединении с последующей калибровкой на протяженном стане. Размеры труб, прокатываемых способом непрерывной прокатки,



Фиг. 463. Непрерывный трубопрокатный стан Фасля.

колеблются в очень незначительных пределах: от 54 до 114 мм в диаметре при длине 6—7 м и наименьшей толщине стенок в 3 мм. Производительность такого стана доходит



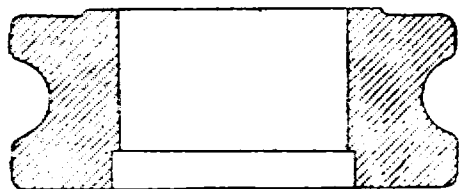
Фиг. 474. Калибры непрерывного стана.

до 150 труб в час, т. е. такой стан вполне пропускает продукцию одного прошивного стана косо́й вальцовки.

## § 94. Изготовление труб малых диаметров

Все вышеописанные способы служат в основном для производства труб диаметром не ниже 54 мм (непрерывная прокатка). Дальнейшее уменьшение диаметра производится путем пропуска трубы через *редукционный стан* и *протяжкой* через *кольца*.

**Редукционный стан.** Полученная тем или иным способом труба минимального диаметра подвергается в подогревательной печи нагреву до температуры, примерно, 1000° и поступает в *редукционный стан*.

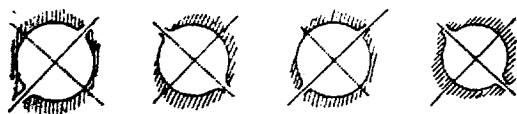


Фиг. 475. Разрез рабочего ролика редукционного стана.

Редукционный стан состоит из *нескольких рабочих клеток* (число их доходит до 20) расположенных друг от друга на расстоянии 600—800 мм. Клетки расположены *наклонно под углом в 45° к горизонтальной линии*. В каждой клетке имеется два вала, служащие для насадки *рабочих роликов* (фиг. 475). В цехах всегда имеются *комплекты роликов* для всех размеров труб, идущих в редукционный стан. Обычно этих комплектов 3 или 4.

Перед каждой клетью установлены *направляющие воронки*. Рабочие ролики приводятся в движение от одного мотора посредством двух передаточных валков, на которые насажены *конические шестерни*, сцепляющиеся с коническими шестернями на нижних валиках клетей стана. Движение от нижнего валика к верхнему передается также *зубчатой передачей с цилиндрическими колесами*.

В каждой клетке имеется два вала, служащие для насадки рабочих роликов (фиг. 475). В цехах всегда имеются комплекты роликов для всех размеров труб, идущих в редукционный стан. Обычно этих комплектов 3 или 4.



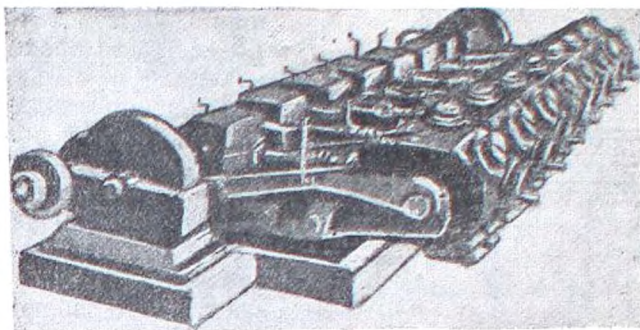
Фиг. 476. Калибры редукционного стана.

Калибры рабочих роликов имеют *круглое сечение, постепенно уменьшающееся в диаметре*. На фиг. 476 показано четыре *последовательных калибра редукционного стана*, а на фиг. 477 изображен общий вид этого стана. При прохождении через них труба *уменьшает свой наружный диаметр* до диаметра калибра в последней клетке. Уменьшение диаметра в каждом калибре может доходить в среднем до 1,5 мм, что дает суммарное уменьшение диаметра трубы на 20—25 мм. Для диаметра в 54 мм это составит почти 50%.



Уменьшения толщины стенки, благодаря тому, что внутри сечения трубы ничто не препятствует перемещению металла, *здесь не происходит*. Даже наоборот: стенки *утолщаются*, но столь *незначительно*, что это не принимается в расчет.

Вследствие столь значительного уменьшения диаметра трубы происходит соответственная *вытяжка*, т. е. длина трубы увеличивается подчас больше, чем вдвое. Соответственно постепенному увеличению длины трубы после прохождения каждого калибра должна *увеличиваться скорость*



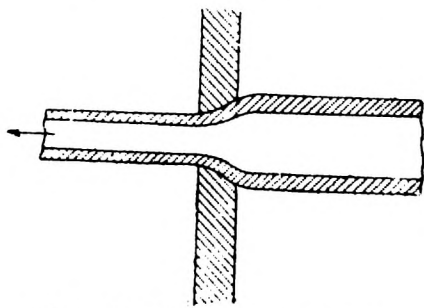
Фиг. 477. Общий вид редуционного станка.

вращения последующей пары роликов. Это достигается посредством соответствующего изменения числа зубцов у конической шестеренной передачи на валок. Полученные трубы правятся на специальном *рихтовальном стане с гиперболическими валками*.

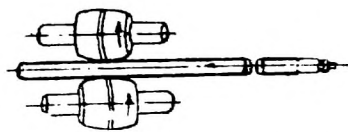
На редуционном стане можно уменьшить диаметр трубы до 30—35 мм при сохранении той же толщины стенки в 3 мм. Дальнейшее уменьшение диаметра и толщины стенки производится путем *протяжки*.

**Холодная протяжка труб.** В практике в настоящее время принято *три способа протяжки*:

1. *Протяжка давлением* (фиг. 478). В этом случае *уменьшение сечения*



Фиг. 478. Протяжка давлением.



Фиг. 479. Обкатка трубы на риллинг-машине.

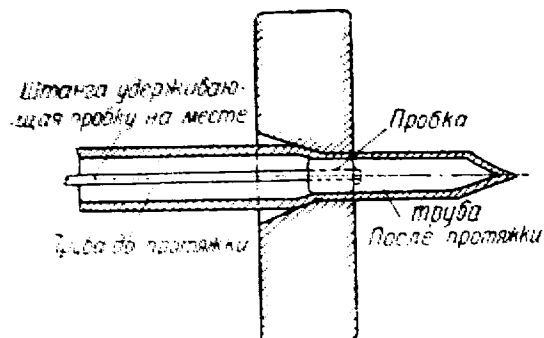
достигается только уменьшением диаметра трубы, т. е. трубы как и в редуционном стане, сохраняя первоначальную толщину стенки, только *осаживаются*.

2. *Протяжка на оправке*. В трубу вкладывается *оправка*, имеющая по всей длине диаметр, соответствующий *внутреннему диаметру готовой трубы*, и вместе с ней труба подвергается *протяжке до желаемого наружного диаметра*. Уменьшение сечения происходит одновременно за счет уменьшения и диаметра и толщины стенки. Для того, чтобы освободить трубу от оправки, поскольку при протяжке металл очень плотно прилегает к последней, пропускают трубу с оправкой через *риллинг-машину* (фиг. 479), где она немного раскатывается, и оправка легко вынимается.

3. *Протяжка на пробке*. Для протяжки этим способом *один конец трубы забивается и с другого конца вводится длинная штанга*, на кото-

рую насажена короткая цилиндрическая пробка с наружным диаметром, равным внутреннему диаметру трубы после протяжки. Схема протяжки на пробке показана на фиг. 480. Здесь уменьшение сечения достигается одновременным уменьшением диаметра и толщины стенки трубы.

Протяжка первым способом, т. е. только давлением, не дает возможности получить трубу с точно определенной толщиной стенки, так как при этом процессе происходит некоторое увеличение толщины стенки, вследствие осадки металла. Но для практических целей это не имеет значения, так как увеличение толщины колеблется в пределах 1,5—2,5% за проход через одно кольцо.



Фиг. 480. Протяжка на пробке.

При протяжке на оправке размеры трубы получаются наиболее точные, однако при этом способе часто появляются *мелкие внутренние поперечные трещины*, которые при дальнейшей протяжке без отжига увеличиваются. Это наблюдается и в ранее описанном аналогичном способе производства труб Эргарта на протяжных прессах.

При протяжке на оправке размеры трубы получаются наиболее точные, однако при этом способе часто появляются *мелкие внутренние поперечные трещины*, которые при дальнейшей протяжке без отжига увеличиваются. Это наблюдается и в ранее описанном аналогичном способе производства труб Эргарта на протяжных прессах.

При всех способах протяжки значительно *увеличивается твердость металла, уменьшается вязкость, появляется хрупкость*. Поэтому при многократной холодной протяжке происходит *разрыв и смятие труб* вследствие упомянутого ухудшения механических свойств металла.

Для улучшения этих механических свойств после нескольких пропусков, а иногда и после пропуска через каждое кольцо, производится *отжиг труб*. Температура отжига колеблется в зависимости от материала труб в пределах от 500 до 1000°. Отжиг дает возможность достигать, после многократной протяжки, *весьма значительных уменьшений как диаметра, так и толщины стенок труб*.

Например, из трубы диаметром 57 мм и толщиной стенки 3 мм посредством шестнадцатикратной протяжки получают трубу диаметром 9 мм при толщине стенки 0,5 мм. Из трубы диаметром 82 мм при толщине стенки в 3,5 мм получают той же шестнадцатикратной протяжкой трубу диаметром 23 мм с толщиной стенки в 0,5 мм. *Поэтому в производстве тонкостенных труб отдел холодной протяжки приобретает весьма большое значение.*

Уменьшение площади поперечного сечения по отношению к предыдущему за один проход достигает при хорошем качестве металла до 50% без появления в продукте каких либо внешних пороков.

**Травление труб.** Процесс холодной протяжки труб непременно должен сопровождаться *травлением*. Цель травления — *удалить с поверхности труб окалину*. Появление окалины на поверхности труб представляет собой неизбежное зло, так как при подогреве в печи перед редукционным станом и между отдельными операциями протяжки для отжига металл непосредственно соприкасается с пламенем и *окисляется*. Присутствие же окалины на трубах при холодной их протяжке ведет к быстрому износу *протяжных колец и пробок*, с одной стороны, и, с другой, *портит трубы*, оставляя на их поверхности *продольные риски*.

Для протравки трубы погружаются пакетами в *ванны с раствором серной кислоты*. Травление продолжается в зависимости от размера труб, концентрации серной кислоты и температуры раствора от 25 минут до 1 часа 30 минут и более.

После травления трубы подвергаются *промывке снаружи и внутри водой из брандспойта под давлением 10—20 атм.* Промывка имеет целью удалить всю грязь, образовавшуюся после травления. Плохо промытые трубы на протяжке дают брак либо получают плохого качества.

Следующей стадией является *омеднение труб*, т. е. покрытие их тонким слоем меди, что производится в ваннах с медным купоросом. Последний нейтрализует остатки серной кислоты и покрывает трубы медью как снаружи, так и изнутри. Это продолжается 3—6 минут. Тонкий налет меди значительно уменьшает силу трения, возникающую при протяжке

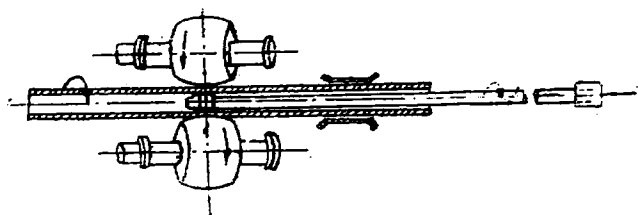
между поверхностями трубы и инструмента, и служит как бы смазочным материалом при протяжке.

Помимо положительных воздействий на протягиваемые трубы, травление сопровождается явлением, вредно отражающимся на свойствах материала труб, сообщая ему так называемую *травильную хрупкость*. Эта травильная хрупкость вызывается проникновением в поры железа водорода, выделяющегося при травлении<sup>1</sup>. В результате *железо теряет вязкость и при протяжке* дает трещины и рванины.

Во избежание этих явлений водород заставляют уйти из пор железа, что достигается или естественным путем при длительном лежании труб на воздухе, или нагревом протравленных труб в *сушильных печах* до температуры 100--300°, после чего к металлу возвращаются его первоначальные свойства.

## § 95. Отделочные устройства трубных цехов

Несмотря на то, что процессы изготовления труб современными способами складываются из двух операций: прошивки болванки в пустотелую гильзу и дальнейшей ее раскатки, все же и второй передел не удовлетворяет требованиям, предъявляемым отраслями промышленности, потребляющими трубы для специального назначения. Кроме того, форсирование увеличения производительности агрегатов трубопрокатных цехов делает часто экономически более выгодным производить на основных агрегатах цеха максимальное возможное количество труб не столь точных размеров, а дальнейшую их отделку осуществлять на *специальных устройствах*, установленных на пути следования труб.



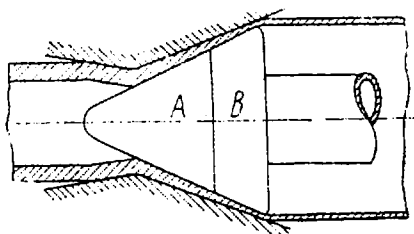
Фиг. 481. Полировочный стан (риллинг-машина).

Ниже мы даем описание принципов действия тех отделочных устройств, о которых упоминали при рассмотрении способов и схем производства труб без шва.

**Полировочный стан (риллинг-машина).** Устройство полировочного стана (фиг. 481), мало чем отличается от устройства стана косо вальцовки Манвесмана. Те же *косо расположенные бочкообразные валки, вращающиеся в одну сторону*, и дорн с головкой. Основное его назначение — *придать трубе правильную, гладкую поверхность*, как наружную, так и внутреннюю.

Полировочный стан необходим в том случае, если в *пильгерных валках* труба не получает достаточно гладкой поверхности. Это имеет место в том случае, когда подача гильзы в валки слишком велика и рабочий калибр не в состоянии разгладить поверхность, оставляя на ней бугры — *волны*. В автоматическом же стане, вследствие ограниченного числа пропусков (2, максимум 3) трубы в валках, установка риллинг-машины неизбежна.

Риллинг-машина применяется и в случаях горячей или холодной протяжки на оправке для *освобождения трубы от последней*. Здесь используют то обстоятельство, что при пропуске через риллинг



Фиг. 482. Расширительный стан.

*труба увеличивается в диаметре*. Это же послужило основанием для устройства *расширительных станков*.

Следует упомянуть о *комбинированном стане*, который является одновременно и *расширительным и полировочным*. Это достигается простым изменением формы пробки. На фиг. 482 приведен разрез такого устройства. Здесь часть *A* пробки предназначается для расширения трубы, а часть *B*, расположенная параллельно профилю валков, для полировки уже расширенной трубы.

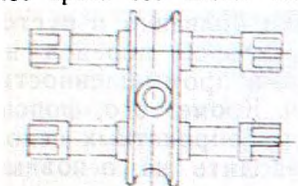
**Калибровочный стан.** При работе тем или иным станом, прокатывающим гильзы в готовую трубу, очень трудно выпускать более или менее продолжительное время трубы требуемых размеров. На одной и той же установке трубы, выпущенные через несколько часов, при сравнении с предыдущими покажут известное отклонение в размерах, достигающее иногда значительной величины.

<sup>1</sup> Помимо реакции разложения окислы, происходит и взаимодействие с чистым железом:

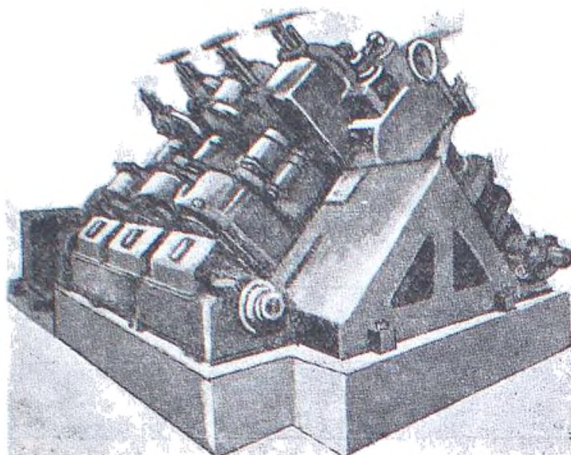


Это, казалось бы на первый взгляд, странное явление становится вполне понятным, если вспомнить об износе тех частей стана, которые ведут непосредственно самую обработку металла. В прошивных устройствах изнашиваются валки, диски, дорна; в раскатывающих станах — опять таки валки, пильгер-валки, дорна, оправки.

Часто сменять эти части невыгодно, с одной стороны, из-за потери времени (перевалка пильгер-валков продолжается 1,5 — 2 часа), с другой — это связано с затратами на частые переточки упомянутых деталей. Поэтому предпочитают работать более длительное время без смены валков и.

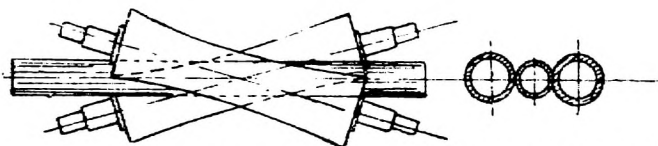


Фиг. 483. Валки калибровочного стана.

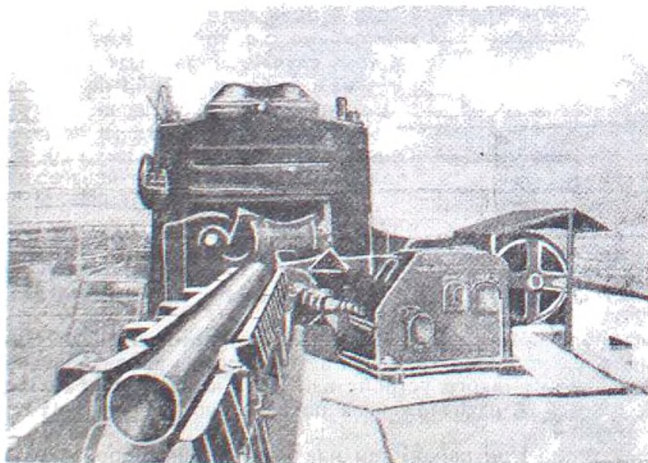


Фиг. 484. Общий вид калибровочного стана.

конечно, в результате получают все большие и большие отклонения от заданных размеров труб. К тому же, если установлен полировочный стан, то при пропуске через него, трубы увеличиваются в диаметре, правда, незначительно.



Фиг. 485. Схема работы эгализатора (рихтовального стана).



Фиг. 486. Рихтовальный стан с гиперболическими валками.

Все это вызывает необходимость в установке *специального калибровочного стана*, что и делается в хорошо оборудованных современных трубопрокатных заводах. В рассмотренных ранее схемах после полировочного стана труба всегда проходит калибровочный стан.

Устройство калибровочного стана аналогично устройству ранее описанных станов для непрерывной прокатки труб: такие же валки с круглыми калибрами (фиг. 483), расположенные поочередно в вертикальном и горизонтальном положениях; пар. валков обычно три; две пары расположены горизонтально и одна вертикально (фиг. 484).

Пропусканием трубы через калибровочный стан—иногда 3 раза взад и вперед—достигают получения очень точного диаметра трубы. Однако, вследствие причин, изложенных при описании непрерывных станов, в калибровочном стане трудно получить продукцию, которая не имела бы овальности. Поэтому за калибровочным станом необходимо установить еще специальный рихтовальный станок.

**Рихтовальный станок (эгаллизатор).** Еще горячая труба после калибровочного стана поступает для получения правильного круглого профиля (уничтожения овальности) и одновременно правки по длине на эгаллизатор, или, как его называют, рихтовальный (правильный) станок с гиперболическими валками.

На этом станке валки располагаются под некоторым углом друг к другу, и труба пропускается между ними по центральной оси. Форма и расположение этих валков показаны на фиг. 485. Труба пропускается через эти гиперболические валки в зависимости от необходимости от 1 до 3 раз и получает правильный круглый профиль при одновременной правке по длине (фиг. 486).

## § 96. Сравнение способов изготовления бесшовных труб

В приводимой ниже таблице 48<sup>1</sup> представлена классификация способов производства труб без шва; по ней можно судить о крайних пределах в размерах труб, изготавливаемых по тому или иному способу.

В скобках показаны величины уже достигнутые, но пока еще не являющиеся ходовыми в производстве.

Таблица 48

Сравнение способов производства бесшовных труб

№	Способы изготовления	Наружный диаметр (мм)	Длина м	Наименьшая стенка (при наименьшем диаметре)
1	Способ Маннесмана . . . . .	40—605	10—30 (45)	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> )
2	Автоматический способ со станом кривой вальцовки Маннесмана . . . . .	60—225	7—8 (12)	3 (2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> )
3	Автоматический способ с станом Штифеля с грибовидными валками . . . . .	76—165	7—8 (11)	3
4	Автоматический способ с дисковым станом Штифеля . . . . .	60—135	7—8 (11)	3 (2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> )
5	Непрерывная прокатка . . . . .	54—114	6—7	3
6	Способ Эргардта . . . . .	60—114	4—6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3 (2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> )
7	Способ Эргардта с последующей протяжкой . . . . .	114—850	до 7 м	
8	Способ Эргардта с последующей прокаткой . . . . .	700—3500	3,5	

Если теперь остановиться на каждом из способов производства труб без шва в отдельности, то надо сказать, что ни один из способов в настоящее время еще не дает абсолютного преимущества перед остальными и в то же время каждый из них имеет свои достоинства при производстве труб того или иного назначения.

Наиболее распространенными в настоящее время способами производства труб являются способ Маннесмана (пильгерные станы), с одной стороны, и автоматический способ Штифеля, с другой.

Пильгерный стан является преимущественным способом производства труб без шва в Европе. Так, например, из всех трубопрокатных

<sup>1</sup> Таблица взята из статьи Robert'a, Stal und Eisen, 1928 г., № 33.

установок в Германии (которых около 100) всего только 5—6 работают автоматическим способом, а остальные — почти исключительно способом Маннесмана. В Америке же, где работали этим способом в течение десяти лет, с появлением автоматического способа совершенно прекратили производство труб пильгерным способом и из существующих около 30 крупных установок только 2 работают пильгерным способом.

Основное преимущество автоматического способа сравнительно с остальными — это высокая производительность его, намного превышающая даже производительность пильгерных установок в среднем, при больших размерах труб, вдвое; стоимость вспомогательного оборудования для автоматического стана (валки, дорна и пр.) гораздо меньше, чем для пильгерных установок вследствие того обстоятельства, что для них вполне применима обыкновенная сталь торговых сортов, вместо обязательной специальной стали в подобного рода оборудовании пильгерных станов.

Вообще эксплуатация и обслуживание автоматической установки дешевле и проще, чем пильгерной. Но целый ряд сторон автоматического способа делают его применение в частных случаях нерентабельным.

Во-первых, при автоматическом способе требуется высококачественный металл. Это вызвано теми значительными напряжениями, которые возникают при прошивке болванки в дисковом стане Штиффеля, с одной стороны, вследствие большой скорости прошивки и, с другой, в виду необходимости в тонкостенной гильзе, для того, чтобы иметь возможность в автоматическом стане посредством 2—3 пропусков получить готовую трубу. Поэтому для автоматического производства труб идет исключительно катаная круглая заготовка либо для крупных размеров обточенная болванка хорошего качества.

Ограниченный предел длины труб при производстве автоматическим способом (12 м) вследствие причин, указанных при описании самого способа, также является отрицательным фактором при производстве труб некоторых назначений (продуктопроводных), говорящим в пользу других способов.

Кроме всего этого, необходимо заметить, что автоматический способ имеет экономические преимущества сравнительно с остальными только в случае массового производства труб ограниченного сортамента. Этим и объясняется то обстоятельство, что он получил широкое применение лишь в Америке, где производство труб развивалось в крупном масштабе.

Способ Маннесмана — пильгерный — имеет два неоспоримых преимущества. Первое — получаемая длина труб, не достижимая никаким другим способом (превышающая в некоторых случаях 30 м), что особенно важно при производстве продуктопроводов, так как, помимо уменьшения стоимости производства труб, значительно понижаются затраты на прокладку трубопровода. Второе преимущество этого способа — получение им труб с наименьшей толщиной стенки, что дает значительную экономию металла и этим самым уменьшает стоимость трубы и удешевляет ее транспорт.

Пильгерный способ дает возможность получить достаточно хорошо отполированную поверхность трубы и сравнительно правильное сечение, что освобождает трубы от дополнительной обработки на полировочных и рихтовальных устройствах. Материалом для производства труб пильгерным способом может служить обыкновенная мартеновская литая круглая болванка, не подвергавшаяся никакой дополнительной обработке.

В случае обточки слитка и обрезки головной части выход годного при трубах большого диаметра для пильгерного способа меньше, чем для автоматического. Производительность пильгер-станов меньше. Простой пильгер-стана по причинам технического порядка и др. больше, нежели автоматического. Расход на вспомогательное оборудование (валки, дорна и пр.) в пильгер-стане значительно больше.

Вследствие изложенного и пильгерный и автоматический способы имеют широкое применение.

Шведский способ в его первоначальном виде, с передачей трубы через стан вручную или крышевым подъемом, почти не применяется по вполне понятным причинам. Механизированный шведский стан, или, как его называют, „полуавтоматический“, отличающийся от автоматического лишь тем, что труба раскатывается не в одном калибре, а в нескольких, причем передача от калибра к калибру производится для крупных сортов особым передвижным столом и для мелких вручную, является рентабельным лишь при производстве труб из специальных сортов и при мелких заказах.

Полуавтоматический способ позволяет катать несколько различных размеров труб без перемены валков, что важно при прокатке труб различных *мелких заказов*. Кроме того, он позволяет производить между пропусками *дополнительный подогрев трубы*, что опять таким весьма важно при прокатке труб из *специальных сортов стали*.

*Способ непрерывной прокатки труб Фассля можно считать технически отжившим*. Если он и имеет еще применение, то только как стан, изготавливающий трубную заготовку для дальнейшей протяжки на волочильных станах.

*Способом Эргардта с последующей протяжкой изготавливают трубы в редких случаях, однако он получил широкое распространение в производстве специальных труб для сосудов*. Этим способом, в его разновидности называемым *штосбанк*, пользуются при *небольшом масштабах производства*. Единственная его положительная сторона — это *возможность применения металла низкого качества*.

## § 97. Сварные трубы

*Сварные трубы или трубы со швом по роду изготовления* разделяются на *трубы, сваренные в стык и в накладку* (в нахлестку, в напуск). Сварка как в том так и в другом случае достигается обычным наиболее распространенным путем — *нагревом всей трубы (заготовки) до сварочной температуры в обыкновенных камерных сварочных печах с последующей протяжкой через воронку или прокаткой в валках*. Существуют и другие способы, при которых нагреву подвергается не вся труба (заготовка), а *только кромки ее*, т. е. непосредственно ссариваемые места. К такого рода способам можно отнести *сварку автогенную, при помощи водяного газа и электрическую*. Последняя из год завоевывает все более прочное положение, и, очевидно, в недалеком будущем, по мере удешевления электроэнергии, вытеснит все существующие способы сварки труб; трубы, сваренные с помощью электричества, пожалуй, явятся серьезным конкурентом бесшовным трубам, так как прочность сваренного шва, а следовательно и всей трубы, в некоторых случаях не уступает бесшовным.

Трубы, сваренные в стык обычным способом, наиболее пригодны для газа и воды, сваренные же в накладку — для пара и сжатого воздуха, так как они по прочности шва надежнее первых, а поэтому и производятся чаще.

Для труб выбирается железо или сталь самого лучшего качества, так как при различных операциях все, даже небольшие, пороки железа не позволят получить трубу надлежащего качества.

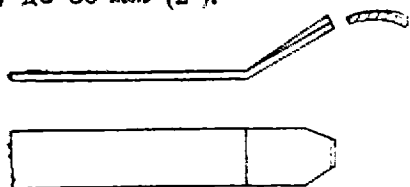
Операция изготовления железных труб заключается в том, что прокатанные *листы разрезаются на полосы (штрипсы)*, по ширине соответствующие диаметру изготавливаемой трубы. Листы разрезаются на полосы обыкновенно между двумя вращающимися острыми дисками, поставленными друг относительно друга, как лезвия ножниц (круглые ножницы). Такие ножницы дают более правильные кромки штрипса, чем ножницы с прямыми лезвиями, работающими периодически.

При разрезании необходимо следить за тем, чтобы ширина полосы получалась совершенно одинаковая; для этого рабочий, вооруженный особой меркой, все время измеряет ширину полосы и соответственно с этим направляет к лезвиям разрезаемый лист. Разрезанные полосы сортируются в отдельные партии по толщине полученных полос. Крайне

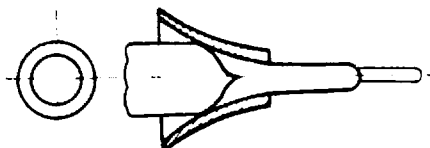
необходимо, чтобы толщина полос в каждой партии, подвергающейся переработке для данного сорта труб, была одинакова, иначе невозможна вполне доброкачественная сварка, так как при различной толщине свариваемых полос давления (нажатие) во время сварки будет различное (различие в толщине допускают не более 0,3 мм).

В настоящее время полосы — штрипсы (шириною от 300 до 1000 мм) часто также получают непосредственной прокаткой в универсальных, а в последнее время за границей на непрерывных станах. Разрезанные или прокатанные полосы — штрипсы нагревают и потом сваривают в трубы. Процесс сваривания заключается в следующем.

**Трубы, сваренные в стык.** Трубы, сваренные в стык, именуемые часто газовыми трубами, изготовляют обычно диаметром (внутренним) от 3 (1/8") до 50 мм (2").



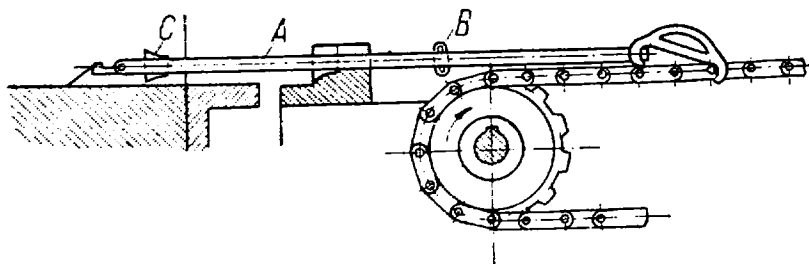
Фиг. 487. Заготовка (штрипс) для сварки трубы в стык.



Фиг. 488. Воронка протяжного стана.

Конец штрипса, предназначенного для изготовления трубы, предварительно скашивают с двух сторон под углом приблизительно  $60^\circ$ , оставляя несрезанной около  $\frac{1}{8}$  ширины полосы, после чего вручную отгибают этот конец в виде жолоба, как показано на фиг. 487. Это делают для того, чтобы облегчить вход штрипса в воронку волоочильного (протяжного) стана (фиг. 488). Подготовленные таким образом штрипсы загружают в сварочную печь и нагревают до сварочной температуры, а затем уже протягивают через воронку, при этом боковые кромки штрипса плотно соприкасаются одна с другой и свариваются под давлением стенок протяжного отверстия воронки.

Для того чтобы протянуть заготовку через воронку применяют зажимные клещи А (фиг. 489), форма сечения которых точно соответствует отверстию воронки, поэтому клещи



Фиг. 489. Устройство протяжного стана.

свободно проходят через нее; вместе с тем они должны быть достаточно прочны (изготавливаются из инструментальной стали). Как показано на (фиг. 489) одна ручка клещей несколько длиннее другой и заканчивается в виде пуговицы. Обоймица В, надеваемая на ручку клещей, не позволяет их губкам разжиматься после того, как ими захвачен конец штрипса. Протяжная воронка обозначена на чертеже буквою С.

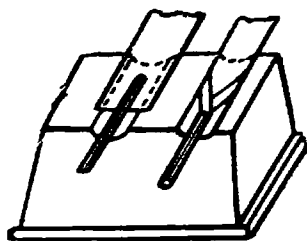
**Протяжка штрипса через воронку производится следующим образом.** Рабочий достает из печи нагретый штрипс зажимными клещами, которые он после этого замыкает обоймой В. Затем на клещи надевают воронку и кладывают их в стойку, расположенную на конце станины протяжного стана, установленного перед печью. Далее рабочий-тележник надевает на конец ручки клещей, имеющей форму пуговицы, вилку особого крюка (фиг. 489), другой загнутый конец которого зацепляет за одно из звеньев



бесконечной цепи Галля протяжного стана. При движении цепи крюк протягивает штрипс через протяжную воронку, в которой свертывается так, что его кромки прижимаются в стык одна к другой. Иногда применяют воронки с катками, сильнее обжимающими шов трубы.

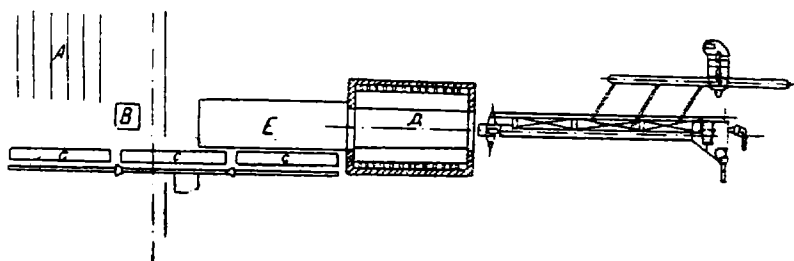
Вместо того, чтобы пользоваться клешами, к штрипсу можно приваривать пруток круглого железа — стержень (фиг. 488 и 490). Стержни изготавливаются иногда из тонких газовых труб, нарезанных на концы надлежащей длины. Протяжка через воронку стержнем вместо клещей обязательна в тех случаях, когда диаметр свариваемой трубы менее 10 мм ( $3/8''$ ), так как при этом клещи не могут быть пропущены через отверстие протяжной воронки.

Сварной шов трубы, изготовленной описанным способом, получается не особенно прочным. Поэтому трубу нагревают еще раз и снова протягивают через воронку или кольцо несколько меньшего размера. Эту операцию повторяют нередко еще один или два раза. Для выглаживания и калибровки трубы (малого диаметра до  $3/4''$ ), сваренной в стык, ее нагревают до температуры красного каления и протягивают через чистовую воронку с острыми краями. Для этого рабочий (проводчик) предварительно забивает конец трубы калиброванной пробкой, так называемым *шаблоном*. Большие трубы,  $3/4''$  (18 мм) до 3" (75 мм) проходят вместо чистовой воронки через размерные валки, где они калибруются, после чего их пропускают через *косо расположенные валки рилинг-машины*, где они окончательно выравниваются и гладятся. После правки концы труб обрезаются на *обрезных станах* или *циркульных (дисковых) ножницах*. Далее трубы гидравлически испытывают, нарезают и уже после этого готовую отправляют на склад.



Фиг. 490. Приварка концов (стержней) к штрипсам.

На фиг. 491 представлен *план мастерской* для производства труб, сваренных в стык. Буквой *А* обозначены стеллажи для штрипсов, *В* — ножницы для обрезки углов на концах заготовок. От ножниц к сварной печи



Фиг. 491. План мастерской для производства труб в стык

*Д* ведет рольганг *С*, ролики которого получают вращательное движение от электромотора. Боковой вал, параллельный длине рольганга, снабжен сцепными муфтами, которые дают возможность расцеплять от привода или сцеплять с ним первую и последнюю из трех секций рольганга. Для каждой из этих секций сцепление или расцепление может быть произведено независимо от двух остальных. Благодаря такому устройству рольганга, на средней секции его можно всегда держать в запасе определенное количество штрипсов, подготовленных для протяжки. На фигуре показан также протяжной стан (правая часть фигуры).

В полу перед печью устроена яма *Е* прямоугольной формы; глубина ее должна быть рассчитана так, чтобы рабочему легче было производить посадку заготовок в печь. В эту же яму выгребают печной шлак.

Качество сварки проверяется после правки путем разбивки концов трубы молотком в месте сварки. О качестве последней судят по излому.

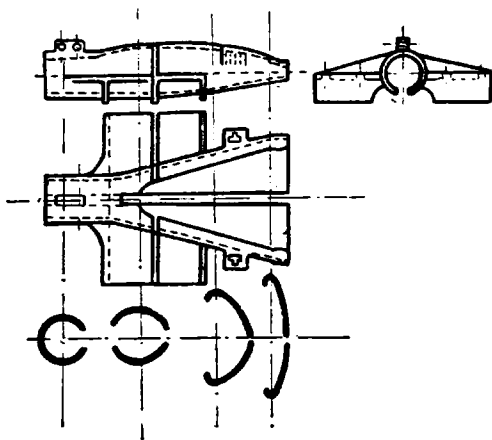
В некоторых производствах при изготовлении стыковых труб (в Германии и Америке) применяется *обдувка горячих кромок штрипсов воздухом*. При этом происходит сварка трубы в *одном проходе через воронку*. Обдувка кромок имеет значительное преимущество в сравнении с обычным способом изготовления стыковых труб. При обдувке кромок применяется особый аппарат, через который проходит штрипс, нагретый в печи, раньше, чем он попадет в чугунную воронку. В этом аппарате имеется ряд сопел, через которые под давлением 7—8 атм дует воздух, поставяемый компрессором. Воздух через сопла направляется на кромки штрипса, сдувая шлак и окалину. Устройство аппарата для обдувки кромок повышает производительность печей и улучшает качество сварки вследствие чистоты свариваемых поверхностей. Недостатком этого способа изготовления труб является то, что сопла аппарата часто засоряются, заедаются шлаком и требуют продувки. На наших трубных заводах подобные аппараты пока еще не нашли себе применения.

*Процесс производства стыковых труб является непрерывным. Тотчас же вслед за выгрузкой штрипса из печи в нее закладывают другую, так что печь работает методически.* Сварочная печь обслуживается двумя рабочими, сменяющими друг друга через каждые 15 минут. При двух сварщиках, двух рабочих на печи (крышечник и посадчик) и трех подручных или учениках на протяжном стане *выпуск одного комплекта за сутки может достигать 7500 труб диаметром  $\frac{3}{4}$ " (18 мм) до 1" (25 мм) при длине их около 6 м.*

Сварка в стык применяется для изготовления труб *диаметром не более 2—2 $\frac{1}{2}$ " (50—65,5 мм) редко 3" (75 мм)*. При диаметрах свыше 2" (50 мм) не исключена опасность, что материал не заполнит формы, и на трубе получатся неровности настолько значительные, что труба окажется непригодной для дела. Кроме того, сварной шов более толстых труб получается всегда недостаточно прочным, так как давление при сварке в стык направлено тангенциально, а вместе с тем



Фиг. 492. Свернутая заготовка для труб, свариваемых в накладку.



Фиг. 493. Американская воронка для свертывания штрипса в трубу с перекрытием кромок.

площадь сварки относительно тем меньше, чем больше диаметр трубы, ибо толщина стенок возрастает меньше чем диаметр. *Трубы диаметром свыше 2" (50 мм) сваривают в накладку.*

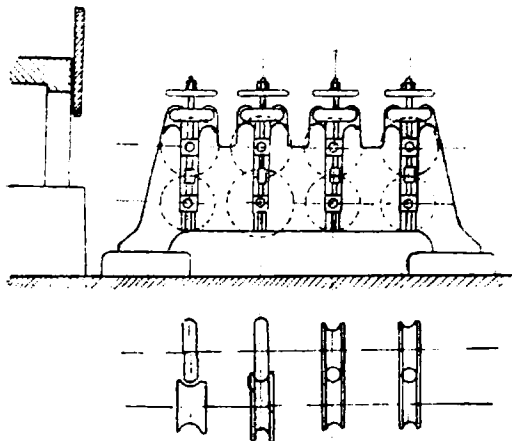
**Трубы, сваренные в накладку.** Такие трубы изготавливаются диаметром от 2" (50 мм) до 16" (400 мм) и длиной до 8 м. Свариваемые кромки штрипса находятся один над другим. При этом способе *тангенциальное давление на свариваемый шов заменяется радиальным*. Заготовку (штрипс) идущую на изготовление трубы в накладку, свертывают в нагретом состоянии посредством *протяжки через специальную воронку* так, чтобы кромки ее немного перекрывались (фиг. 492).

Воронка укреплена на протяжном стане и, как показывает фиг. 493, сделана *составной из двух половин*. С одной стороны она открыта. Входное сечение воронки соответствует ширине трубной заготовки. По мере удаления от раструба *сечение воронки постепенно уменьшается* приближаясь к кругу, так что *заднее сечение ее имеет форму почти совершенно замкнутого круга*. При протяжке штрипса через такую воронку происходит нахлестывание (перекрывание) одной кромки ее на другую, причем *величина нахлестки колеблется от 20—25 мм*. Для того, чтобы в воронку возможно было завести зажимные клещи, в нижней половинке ее сделан

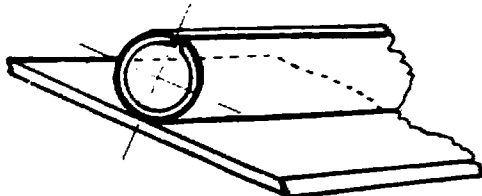
сквозной прорез. Полосы для труб диаметром меньше 50 мм при протяжке через воронку сворачиваются сразу в трубу настолько хорошо, что их не приходится поправлять. При больших размерах приходится в некоторых местах подправлять шов ударами молотка, что делают на том же самом протяжном стане со стороны цеци.

На некоторых заводах свертывание полосы в трубу иногда производится при помощи машины, состоящей из нескольких пар валков, поставленных друг за другом (фиг. 494). Полоса, выходя из заготовочной печи, проходит сначала первую пару валков, где несколько изгибается, затем последовательно через последующие валки, постепенно принимая форму трубы.

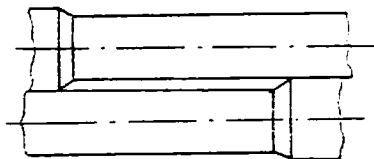
Перед свертыванием тем или иным способом полосы (штрипса) в трубу кромки ее, образующие в дальнейшем шов, должны быть скошены (заострены под углом 20—25° (фиг. 495), так как иначе шов получался бы чрезмерно толстым, что затрудняло бы придание трубе



Фиг. 494. Загибочная машина для свертывания штрипсов в трубу.



Фиг. 495. Свернутый штрипс со скошенными кромками.

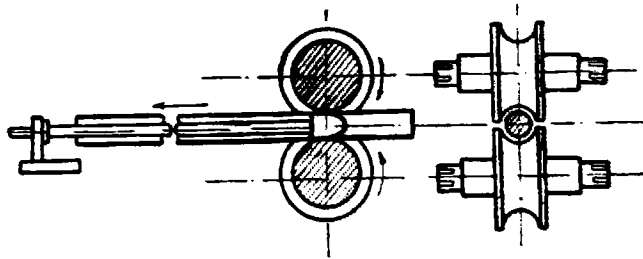


Фиг. 496. Прокатные валки для придания штрипсам скошенных кромок.

правильной формы. Для скашивания кромок штрипса раньше применяли специальные кромкострогательные станки. Однако этот способ был слишком дорогим, и поэтому на современных заводах он почти везде вытеснен прокаткой—более простой и дешевой. Надлежащая форма кромок заготовки получается прокаткой в обыкновенном прокатном стане с валками, имеющими ручей в форме сильно вытянутого в длину параллелограмма (фиг. 496). Эти валки имеют на противоположных сторонах запячки, обточенные под соответствующим углом к оси (обычно 20—25°). При помощи ходового винта верхний валок можно перемещать по направлению его оси; благодаря этому ширину можно устанавливать соответственно ширине заготовки, не делая переваляки валков. По сравнению с прокаткой строжка кромок обладает тем преимуществом, что дает более чистые поверхности (для качества сварки это имеет большое значение).

Ширина полос, идущих на изготовление сварных труб, берется соответственно длине наружной окружности сечения трубы желаемого диаметра.

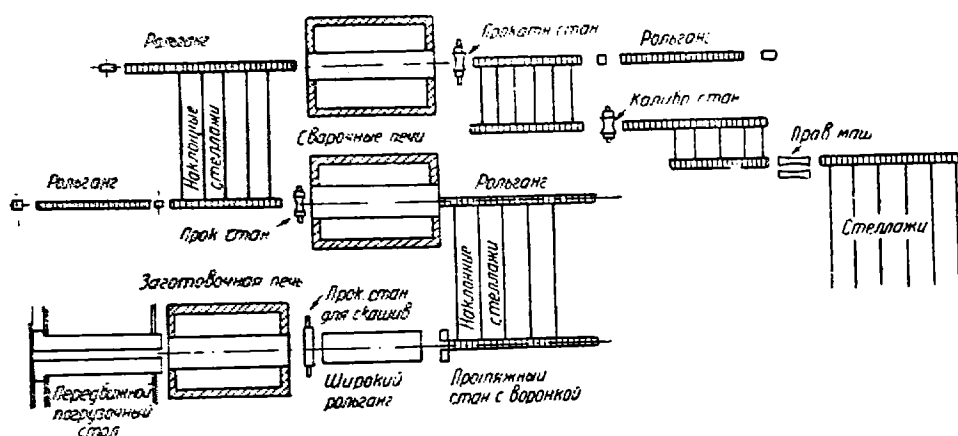
При сварке в стык ширина штрипса должна быть несколько больше этой длины для того, чтобы возможно было получить необходимую для сварки силу нажатия кромок шва, а при сварке в накладку ширина полосы должна равняться длине наружной окружности трубы плюс ширина перехлестки шва (20—25 мм). Толщина заготовки обычно на 0,5—1,5 мм меньше толщины стенок готовой трубы. Свернутый в трубу штрипс кла-



Фиг. 497. Схема прокатки труб в накладку.

дут в сварочную печь, где производится нагрев до сварного жара, а затем трубу пропускают между валками прокатного стана, в ручье которых на длинной штанге помещена оправка (фиг. 497). Как правило, при производстве труб в накладку, необходимо иметь 2 печи, а именно: заготовочную и сварочную печь, так как весь производственный процесс распадается на два цикла операций: свертывание штрипса в трубу и собственно сварка шва, которая производится в прокатном стане.

Загрузка штрипсов в заготовочную печь производится или непосредственно руками или же при помощи механических приспособлений. Чаще всего штрипсы загружаются с помощью передвижного стола, которому дают боковое движение так, что его можно поставить против какого угодно места пода печи. С помощью подцепленной к звеньям сводовой цепи штанги или вилки, штрипсы со стола подают в заготовочную печь, температура которой обычно составляет 800—870° (фиг. 498). После нагревания штрипсов до температуры печи их сразу же вручную поодиночке подают в заостряющие (скашивающие) валки прокатного стана, установленные здесь же вблизи печи. По выходе из валков штрипс уже со скошенными кромками попадает на рольганг, которым и подается к американской воронке протяжного стана, где с помощью зажимных клещей и протягивается, получая форму трубы с перекрытыми (залеснутыми) кромками.



Фиг. 498. План цеха для прокатки сварных труб в накладку.

Протяжный стан по своему устройству весьма сходен с теми, которые применяются при сварке труб в стык и отличается от них лишь более солидными размерами и неподвижной установкой (на фундаменте). Когда протаскивание трубы через воронку закончено, разжимают клещи, и труба по несколько наклонным стеллажам из рельсов, установленных рядом с протяжным станом, скатывается по направлению ко второй уже сварочной печи (температура в ней около 1400°), но раньше она попадает в жолоб, расположенный против одного из загрузочных окон последней (фиг. 496). Когда труба остынет в этом жолобе до температуры около 550°, посадчик приводит в движение механизм загрузочной машины и вталкивает трубу в печь так, чтобы она была обращена швом вниз.

После того, как верхняя сторона трубы достаточно нагреется, ее передвигают к середине печи, где под несколько углублен. Здесь труба должна оставаться до тех пор, пока она не нагреется до сварочного жара; при этом шов ее должен быть обращен вверх. Когда нижняя температура достигнута, посадчик при помощи той же загрузочной машины выталкивает трубу из печи к прокатному дуо-стану, валки которого захватывают ее и прокатывают; при этом труба проходит одновременно через короткую оправку, установленную в ручье валков и имеющую форму артиллерийского снаряда (фиг. 497). Эта оправка насаживается на конец стержня (штанги) и остается в ручье валков до тех пор, пока вся труба не пройдет через стан. При повторных проходах трубы оправку сменяют на новую, а первую охлаждают в ванне с водой. Во время прокатки шов трубы обращен кверху.

Сварка шва трубы происходит между верхним валком и оправкою, которая в свою очередь поддерживается нижним валком. Диаметр  $d$  заднего торца оправки обычно равняется диаметру ручья  $D$ , без двойной толщины стенки трубы  $2s$ , плюс некоторая величина  $e$ , равная 0,26—0,75 мм для оправки первого прохода и 1,25 мм для оправки второго прохода, т. е.

$$d = D - 2s + e.$$

Поверхность оправки вблизи заднего конца на длине 25—50 мм (в зависимости от ее диаметра) имеет *строго цилиндрическую форму*. Длина конусной части обычно составляет от  $1,13d$  до  $1,20d$ . Оправочную штангу извлекают из трубы с помощью специальной установочного механизма. Как только механизм отведет штангу оправки от прокатного стана, оправка, свободно насаженная на конец штанги, выпадет из ручья. После этого штанга снова подается вперед, и когда она подойдет к стану, на конец ее насаживают новую оправку и затем подвигают дальше, пока оправка не займет рабочего положения в ручье.

Обычно свариваемую трубу приходится пропускать через сварные валки несколько раз (2—3 раза) подряд, причем для каждого пропуска берут оправку несколько большего диаметра, чем для предыдущего и, кроме того, перед каждым пропуском поворачивают трубу вокруг оси так, чтобы шов перемещался приблизительно на  $60^\circ$ . Перед повторными пропусками, труба заново нагревается в сварочной печи до нужной температуры. На благоустроенных заводах, предусматривающих *поток движения металла вперед* (отсутствие возвратных движений), трубы после первого пропуска по выходе из валков сразу же скатываются по наклонным стеллажам ко второй сварочной, пройдя которую (получив в ней необходимую для сварки температуру), поступают во второй прокатный стан с такими же валками как и в первом случае (фиг. 498). По выходе из этого стана трубы, уже окончательно сваренные, направляются по рольгангу для дальнейших операций (калибровки, правка и т. д.)

*Окончание сварки устанавливают по наружному виду трубы.* Если сварка шва произведена неудачно, трубу отправляют на роликовый стол (обходной рольганг). При помощи поворотного механизма ее снова передают к посадочной стороне печи, еще раз загружают в печь и затем повторяют сварку в прокатном стане, пропуская трубу на этот раз другим (задним) концом вперед (трубу перед сажанием в печь поворотным механизмом поворачивают в горизонтальной плоскости на  $180^\circ$ ). Таков порядок повторных пропусков в трубной установке, состоящей только из одной сварочной печи и одного стана. Дальнейшая обработка сваренной в накладку трубы производится точно так же, как и трубы, сваренной встык. После пропуска через калибровочные (размерные) валки и риллинг-машину (конечно при наличии ее) труба подвергается, если это нужно, правке на прессе с электрическим приводом. Назначение калибровочных (размерных) валков — придать трубе точные наружные размеры. Мелкие трубы калибруются обычно только одним пропуском, а трубы больших размеров приходится пропускать через калибровочные валки несколько раз подряд, поворачивая трубу перед каждым проходом на  $90^\circ$ .

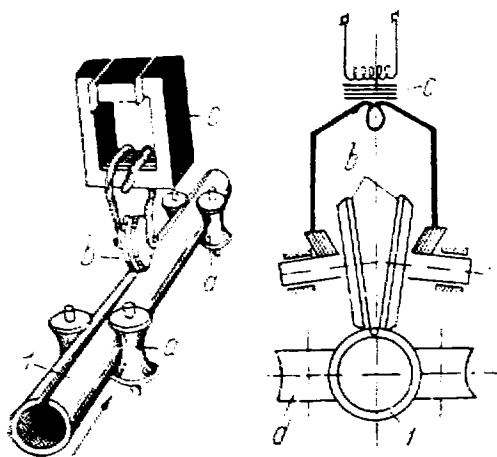
*Производительность прокатных станов для сварки труб в накладку зависит от размеров трубы и составляет, например, для труб диаметром 2" (50 мм) — около 1500 шт. за сутки, тогда как для 3" (200 мм) труб производительность стана за это же самое время редко превышает 400—500 штук.* Из сварочной мастерской труба передается в нарезательную, где ее обрезают, нарезают концы, навинчивают муфту, а также испытывают гидравлическим давлением. Оцинкование трубы, если это необходимо, производится после того, как концы ее обрезаны и она прошла гидравлическое испытание. Концы нарезают после оцинкования.

Муфты изготавливаются из полос, ширина которых равна длине муфты. Железо нарезается на куски требуемой длины, соответствующей длине окружности муфты, машинами, которые одновременно свертывают отрезанную полосу в цилиндр. После нагрева до сварочного жара, заготовленная таким образом муфта сваривается под кузнечным молотом. Свертывание и сварку муфт можно производить также и одновременно при помощи специально-предназначенных для этой цели гибочных валков, которые, кроме того, обжимают сварочный шов. После сварки оба конца муфты обрезают и затем нарезают ее с помощью плашек на специальных станках.

Сварка в накладку дает шов более прочный, чем сварка в стык; трубы, изготовленные в накладку, могут при диаметре до 16" (400 мм) применяться для сравнительно более высоких давлений. Прочность шва труб, сваренных в накладку, не выше указанного размера можно считать равной 80—85% нормальной прочности материала.

Трубы диаметром более 16" сваривают чаще всего посредством пламени (огневая, пламенная сварка), так как при описанном выше способе производства сварных труб манипулирование ими, вследствие большого диаметра становится слишком затруднительным; расход энергии на прокатку сильно увеличивается; очень ослабляется устройство печей (заготовочных и сварочных); наконец, равномерный нагрев труб отнимает много времени и оказывается неэкономным.

Применяется и сварка спиралью. Этот способ употребляется только при трубах от 155 до 625 мм в диаметре, которые служат, главным образом, для дальнейшей переделки в волнообразные трубы. Оборудование трубопрокатной мастерской разделяется чаще всего на три группы: для труб от 2" (50 мм) до 8" (200 мм), от 8" (200 мм) до 16" (400 мм) и от 16" (400 мм) до 24" (600 мм), или 30" (750 мм). При производстве труб диаметром свыше 12" (300 мм) для сворачивания листов, идущих на их изготовление, приходится вместо протяжной воронки, применять листозагибочные машины. Чтобы обеспечить неизменную форму свернутых таким образом листов, во время нагревания в сварочной печи шов по концам трубы обычно скрепляют несколькими заклепками.



Фиг. 499. Схема работы электрической трубосварочной машины.

Электросварка труб. Электрическая сварка по методу сопротивления была введена в 1877 г. американцем В. Томсоном и в настоящее время имеет большое значение при массовом производстве изделий благодаря тому, что сварка происходит быстро и равномерно и обычно не требует персонала высокой квалификации. Этот способ, равно как и другие, применяемые в настоящее время для электросварки труб (индукционный и дуговая сварка) получил распространение только за последние 5—6 лет и притом преимущественно в Америке. Развитие способа электросварки труб все время шло по пути усовершенствования трубосварочных агрегатов, и в настоящее время в Америке уже имеются такие установки, которые по своей годовой производительности далеко оставляют позади обычные установки для сварки труб.

Принципиальная схема машин, применяемых для электрической сварки труб, изображена на фиг. 499. Трубная заготовка А, представляющая собой свернутый в трубу штрипс с раскрытым швом, находящимся сверху, подается первой парой вертикальных приводных валков а по направлению стрелки. Эти валки устроены так, что позволяют производить смыкание кромок шва у проходящей между ними трубной заготовки, которая, пройдя валки, поступает далее под роликовые электроды b электросварочной машины. Эти электроды по сути являются полюсными концами вторичной цепи сварочного трансформатора с. В этом трансформаторе ток из высокого напряжения трансформируется в низкое, большой силы, необходимой для нагрева свариваемых кромок трубы.

Ток, проходящий от одного электрода к другому через стык шва, нагревает его до сварочного жара. Необходимое для осуществления

сварки сжатие нагретого стыка шва трубы производится сближением второй пары обжимных валков *d*. При обжатии шва вследствие пластичности металла происходит выжимание его, как внутрь тела трубы так и наружу, образуя некоторый наплыв металла в виде валика высотой 2—3 мм, вытянутого вдоль всего шва трубы. Этот наплыв металла носит название *грата*, который снимается затем с трубы специальными приспособлениями (резцами), установленными зачастую в самой сварочной машине. Пройдя это приспособление для снятия грата, труба подвергается *охлаждению водой*, поступающей сверху на сваренный шов. Готовая сваренная труба при помощи обжимных валков подается далее в калибровочный стан, затем труба обрезается, гидравлически испытывается и отправляется на склад. Иногда готовые трубы подвергаются отжигу.

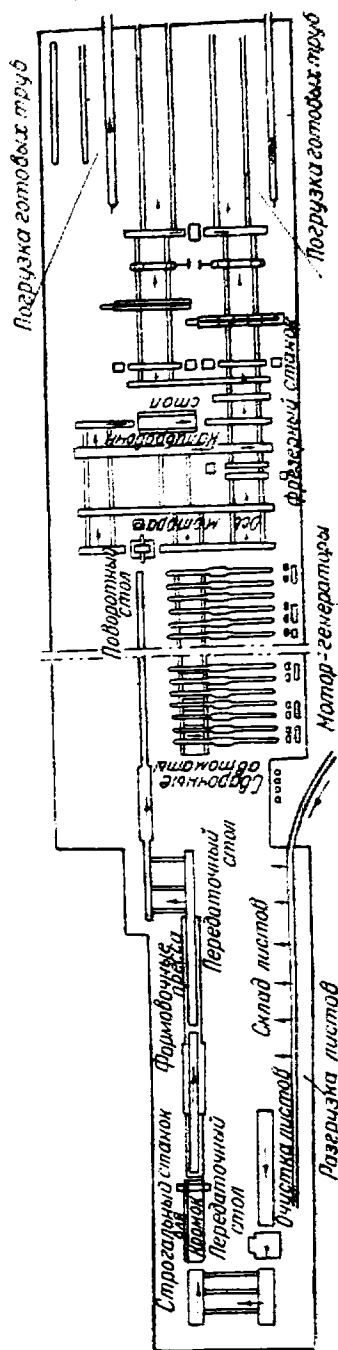
Электросварные трубы по методу сопротивления изготавливаются из различного материала, начиная от обыкновенной углеродистой стали и кончая *высоколегированными сталями* (например, никелевой, хромоникелевой, хромомолибденовой) и даже из нержавеющей.

Исходной заготовкой обычно служит для толстостенных труб большого диаметра — *штрипс*, прокатанный в горячем состоянии на универсальном стане или вырезанный из листового железа; для тонкостенных труб малого диаметра — *штрипс* из холоднокатаных лент, а также из обручного или универсального железа.

Штрипсы, идущие на изготовление труб электросваркой, тщательно очищаются от окалины и ржавчины, что достигается или травлением в серной кислоте или посредством обдувки песком на специальных пескоструйных аппаратах. Очищенные таким образом штрипсы сначала правятся, а затем свертываются в трубу в холодном состоянии на специальных загибочных машинах непрерывного типа (фиг. 494) или иногда посредством холодной штамповки на гидравлических прессах, и только после этого свернутая в трубу заготовка (штрипс) поступает в уже описанную выше электросварочную машину для сварки.

Таким образом, процесс производства труб сваркой по методу сопротивления в основном состоит из следующих операций: 1) подготовка штрипса, 2) получение трубной заготовки, 3) сварка трубы, 4) термическая обработка трубы, 5) калибровка и правка трубы, 6) отделка трубы и 7) испытание трубы.

План мастерской для электрической сварки труб по методу сопротивления представлен на фиг. 500.



фиг. 500. План мастерской для электрической сварки труб.

Тип стана	Диаметр валков (мм)	Программа прокатки (условно по Ø)	Исходн. про-дукт (мм)	Максим. длина готового про-дукта (м)	Скорость про-катки (м/сек)
Блумняг дуо	1100	Блумсы от 120 и выше	Слитки 400-700 вес 2-7 т	30	3-4
	1150-1100	Блумсы от 150 и выше	слитки 4-7 т	25	5-7
Трио	900/950	Ø 150 и выше	Обжимн. 350-500, чис-тов. 160-350	Заготов. 150, сорт. 20	4-7,5 = 150
Дуо	750/850	Ø 100-150	180-350	90-120	4-7,5=180
Трио	750/850	Ø 100-150	180-300	80-120	3,5-4 = 150
Рельсовый комбин. трио и дуо	900/700	рельсы ж. д.	200-250	60	5-7
Трио	600/700	Ø 75-125	160-250	50-40	3,5-4,5
Трио	500/550	Ø 50-75	125-200	40-80	3,5-4,5
Трио	400/450	Ø 30-60	без обж. кл. 80-100, с обж. кл. 130-280	40-80	3-5
Трио	500	50-150, 300 и шире, № 720 75-125	блумсы 200, заготов. 150	75	3-5
Трио	350	Ø 25-30	без обж. кл. 50-100, с обж. кл. 100-150	60-80	4,0-5,5
Дуо	350 или 300	25-50 $\square$ 150 и ниже; № 5-10 100 и ниже	Загот. 150-100	60-100	5-6
Трио	300	Ø 15-35	без обж. кл. 50-70, с обж. кл. 100-150	70-100	4-6
Трио быстр.	260	Ø 7-25	без обж. кл. 50-60, с обж. кл. 80-130	80-100	5-7,5
Трио	250	Ø 6,25-8,5	38-65	100-125, вес мотка 100 кг	6-8
Трио провол.	260	5-8	50-130	вес мотка 50-90 кг	7-9
Дуо провол.	250	5-8	40-65	вес мотка 50-90 кг	20 в чист. кл.
Трио универс.	800/700/800	Ширина 200-1250 мм, толщ. 6-80	слитки 1-4 т	50	3,5-4,8
Трио универс.	550/750/550	Ширина 120-600 мм шир. до 4,5 м толщ. 10-200 мм	Слитки 0,6-1,3 т	40-50	3,5-4,0
Дуо толстолист.	1100/1250	—	—	24	2-3 м
Трио толстолист.	800/650/800	Шир. до 3 м, толщ. 4-50 мм	—	16	2,5-3,0
Трио ср. лист.	700/500/700	Ширина до 2 м, толщ. 3-5 мм	Сутунки шир. 200-250, толщ. 10-45 мм	8-10	2,2-2,7
Дуо тонколист. для хол. про-катки	656/700	Ширина до 1,6 м толщ. 1-3 мм	Сутунки шир. 150-250, толщ. 10-25 мм	6-8	1,75-2,5
Дуо тонколи-стов. для гор. прокатки	600/800	Шир. до 1 мм толщ. до 1,5 мм	—	2-2,5	1,0-1,6
Дископрок. став	320/350	450-1100 мм	—	—	—
Бандажепрок. став	560-1000	250-1000 мм	—	—	—

1 Таблица переработана и дополнена данными о новейших прокатных станах, в том



прокатных станов<sup>1</sup>

Переточка при износе валков в проц. от диаметров	Длительность перерываки 1 кг		Производ. в час.	Примечание
	при перерыв. в клет. (час.)	при перерыв. клет. (час.)		
14	5	—	100—120 т при □ 130 мм —	Блуминги на стар. действующих заводах
14	1	—	□ 150 мм 200—250 т при □ 200 мм	
12—14	3—4	1,5	Заготов. 50—80	Современ. блуминги советского типа
12—16	2	1,5—1	Сорт. 80—100	
11—13	2,5	1,5	30—50	
12	2—3	1—1,5	40—100 150 т	
10—12	1,5	1	50—70	Современ. релъс. стан
12—14	1	1	25—35	
12—14	1	0,5	20—30	
12—14	1	0,5	40—60	
10—12	обж. 1, чист. 3/4	0,5	20—30	Современ. среднесорт. стан
10—12	1	0,5	80—100	
9—11, зак. 7	обж. 1, чист. 3/4	0,5	20—30	
9—11, зак. 7	обж. 1, чист. 3/4	0,5	20—25	
10 обж. 12, чист. 5—7	1 обж. 1, чист. 0,5*	0,5 0,25	30—40 30—35	Современ. мелкопорт. стан
5—12	0,5—0,75	0,2	25—30	Современ. пров. сорта. стан
5—6	8	—	25—40	Современ. непр. пр. стан
6—8	6	—	20—25	
8—10	4	—	40—55	
Зак. 5; лит. 10	4	—	25—40	
5—7	2,5	—	15—20	
5	2	—	2—4	
3	2	—	0,6—1,5	
10	1/4—1/2	—	12—130 штук	
—	2—3	—	25—40 штук	

числе установленных на наших новых заводах.

Стан	Наименование изделий	Исходный продукт	Расход топлива на 1 т садки	
			% Т.У.Т.	Кал.
Блуминг	Блумсы разные сред. сеч. 170	Слитки	4,0/12,0 *	280 000
Рельсо-балочный	Рельсы ж. д.	Блумсы	—	—
	Балки, швелл. и круп.	"	—	—
500—750	Крупносортное железо	Слитки или блумсы	10,0	700 000
500—750	Сутунки для тонколистового стана	"	10,0	700 000
500—750	Заготовка мелкая	Слитки	10,0	700 000
420—475	Среднесортное железо	Слитки или блумсы	10,0	700 000
250—260	Мелкосортное железо	То же	10,0	700 000
250—300	" "	"	10,0	700 000
"	(Прокатка с подогревом)	"	15,0	105 000
"	Обручное железо	"	10,0	700 000
"	(Прокатка с подогревом)	"	15,0	1050 000
Проволочный	Проволока железная	"	10,0	700 000
Толстолистовой	Листов. жел. котельн.	Заготовки, слитки	8,0	550 000
	" " мост. и суд.	то же	11,0	770 000
	" " резервуар.	"	11,0	770 000
Среднелистовой	Листов. жел. котельн.	"	11,0	770 000
	" " мост. и суд.	"	11,0	770 000
	" " резервуар.	"	11,0	770 000
Тонколистовой	Парсовое железо	Заготовки	20,0	1 400 000
	Кровельное "	Сутунки	30,0	2 100 000
	Декапиров. "	"	30,0	2 100 000
	Жесть черная	"	40,0	2 800 000
Бандажи	Бандажи	Слитки	15,0	1 050 000

## И воды для старых существующих станов СССР

Расход электроэнергии на 1 т готового (квт-ч.)			Расход воды на 1 т готового (м³)			Примечание
Стан моторн.	Вспомог. моторы	Всего	Печи	Оборуд.	Всего	
20,0	5,0	25,0	—	—	1,10	* Числитель для горячих слитков, нагреваемых в колодцах, знаменатель для холодных мартеновских слитков нагреваемых в методической печи, или в колодцах.
50,0	10,0	60,0	—	5,0	5,0	
60,0	8,0	68,0	—	5,0	5,0	
60,0	10,0	70,0	2,0	8,0	10,0	
50,0	8,0	58,0	2,0	6,0	8,0	
50,0	8,0	58,0	2,0	6,0	8,0	
60,0	10,0	70,0	2,0	8,0	10,0	
90,0	10,0	100,0	3,0	9,0	12,0	
110,0	10,0	120,0	3,0	9,0	12,0	
110,0	10,0	110,0	4,0	9,0	13,0	
130,0	10,0	140,0	3,0	9,0	12,0	
130,0	10,0	130,0	4,0	9,0	13,0	
150,0	10,0	160,0	4,0	10,0	14,0	
110,0	10,0	120,0	2,0	8,0	10,0	
60,0	15,0	75,0	3,0	9,0	12,0	
48,0	12,0	60,0	2,0	8,0	10,0	
40,0	10,0	50,0	2,0	6,0	8,0	
135,0	15,0	150,0	3,0	9,0	12,0	
108,0	12,0	120,0	2,0	8,0	10,0	
90,0	10,0	100,0	2,0	6,0	8,0	
120,0	10,0	130,0	1,0	5,0	6,0	
150,0	30,0	180,0	2,0	6,0	8,0	
150,0	30,0	180,0	2,0	8,0	10,0	
200,0	40,0	240,0	2,0	18,0	20,0	
25,0	5,0	30,0	2,0	2,0	4,0	Расход горючего на 1 м сутунки

Ставы	Наименование изделий	Исходный продукт	Расход топлива	
			% Т. У. Т.	Кал.
Блуминг	Блумсы	Слитки	4,5	320 000
Слабннг	Слябы	"	4,5	320 000
Заготов. 600	Сортовая заготовка	Блумсы 200	—	—
Заготов. 450	"	" 100	—	—
Рельсо-балочный	Рельсы	Блумсы	5,0	350 000
	Балки и швеллера	"	5,0	350 000
500	Сортовое железо	"	8,0	560 000
450	" "	Заготовка	8,0	560 000
350	" "	"	8,0	560 000
300	" "	"	9,0	630 000
250	" "	"	9,0	630 000
Проволочный	Проволока железная	"	9,0	630 000
Листопрокатный	Толстые листы	Слябы	9,0	630 000
"	Средние листы	"	9,0	630 000
Непрерыв. л.	Тонкие листы	"	9,0	630 000
Отделочное	Горячая прокатка	Листы	10,0	700 000
Автолистовой	Холодная прокатка I	"	—	—
"	Нормализация	"	9,0	630 000
"	Холодная прокатка II	"	—	—
"	Муфельный отжиг	"	17,0	1 200 000
Отделка лент	Отжиг и травление лент	Ленты	9,0	630 000
	Холодн. и непрер. пр.	"	—	—
	Универсальное железо	Блумсы	9,0	630 000
	Заготовка В. К.	Слитки	10,0	770 000
	Сортовая сталь В. К.	Заготовки	12,0	840 000
	" " " "	"	12,0	840 000
	" " " "	"	12,0	840 000

## И ВОДЫ ДЛЯ НОВЫХ СТАНОВ

Расход электроэнергии на 1 т готового			Расход воды на 1 т готового			Примечание
Станов. моторы	Вспомог. моторы	Всего	Печи	Оборуд.	Всего	
18,0	7,0	25,0	—	1,15	1,15	Для конструктивных сталей считать расход топлива и воды тот же, что для торговых сортов, а расход электроэнергии станowymi моторами считать на 20% выше, чем для торговых сортов.
18,0	7,0	25,0	—	1,0	1,0	
18,0	7,0	25,0	—	2,0	2,0	
24,0	7,0	31,0	—	2,8	2,8	
40,0	10,0	50,0	5,0	6,0	11,0	
50,0	8,0	58,0	5,0	6,0	11,0	
60,0	12,0	72,0	5,0	7,0	12,0	
60,0	12,0	72,0	5,0	7,0	12,0	
85,0	10,0	95,0	6,0	8,0	14,0	
85,0	10,0	95,0	6,0	8,0	14,0	
100,0	10,0	110,0				
120,0	10,0	130,0	8,0	10,0	18,0	
30,0	12,0	42,0	5,0	6,0	11,0	
60,0	12,0	72,0	6,0	7,0	13,0	
115,0	10,0	125,0	6,0	16,0	22,0	
50,0	15,0	65,0	4,0	8,0	12,0	
25,0	5,0	30,0			25,0	
—	5,0	5,0				
40,0	5,0	45,0				
—	10,0	10,0				
—	10,0	10,0				
130,0	10,0	140,0			10,0	
30,0	9,0	39,0	4,0	5,0	9,0	Инструментальные стали.
60,0	12,0	72,0	5,0	6,0	11,0	
80,0	10,0	90,0	5,0	7,0	12,0	
110,0	10,0	120,0	5,0	8,0	13,0	
150,0	10,0	160,0	5,0	10,0	15,0	

# КНИГОСБЫТ ОНТИ

ИМЕЕТ НА СВОИХ СКЛАДАХ И В МАГАЗИНАХ ИЗДАНИЯ  
ОНТИ-ГНТИУ НА РУССКОМ И УКРАИНСКОМ ЯЗЫКАХ  
ПО СЛЕДУЮЩИМ ВОПРОСАМ:

## Технико-теоретическая литература

(Математика, физика, механика астрономия).

## Энергетика

(Теплотехника, электротехника, гидротехника).

## Машиностроение и металлообработка

(Теоретические вопросы; испытание материалов; машиностроение, тракторостроение; конструкция, расчет, использование станков, технология металлов, инструментальное, слесарное, кузнечное дело).

## Металлы

(Металловедение, металлургия чугуна, стали; ферросплавы, чугунолитейное дело, прокатка и волочение).

## Горно-рудное дело

(Уголь, торф, руда; проходка шахт; эксплуатация месторождений; механизация горных работ; обогащение).

## Строительное дело

(Стройматериалы, конструкции, основания и фундаменты, строительная механика, санитарная техника, водоснабжение).

## Кокс и химия

(Неорганическая, органическая, коллоидная, аналитическая химия; основная химическая промышленность; коксохимическая промышленность).

## Транспорт

(Железнодорожный и безрельсовый транспорт—эксплуатация, ремонт, постройка дорог).

## Связь

(Телеграф, телефон—эксплуатация, ремонт; линейные сооружения; радиотехника).

**ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ В МЕСТНЫЕ ОТДЕЛЕНИЯ  
КНИГОСБЫТА ОНТИ**

**ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ**

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
17	23 св.	0,0,5%	0,05%
18	Табл. 2	Давление истечения	Давление истечения $кг/см^2$
25	† фиг. 26		Повернуть фиг. на $90^\circ$
29	12 св.	углу $\gamma$	углу $\beta$
36	7 св.	Leuze	L. Geuze
37	5 св.	больших	небольших
41	1 св.	$\dots [h_n + d(1 - \cos \alpha_n)]$	$\dots [h_n + d(1 - \cos \alpha_n)] \cdot \cos \alpha_n$
44	12 св.	$W_n - Bh_n v_0 \cos \alpha_n$	$W_n = Bh_n v_0 \cos \alpha_n$
76	14 св.	и не испытывал некоторого бокового давления	и испытывал некоторое боковое давление
83	23 св.	1 5	1,85
93	13 св.	$D_p$	$D_{cp}$
103	Фиг. 143	Левый пунктирный контур повернут в обратную сторону	
106	1 св.	$\dots c_s - 0,55 \dots$	$\dots c_s - 0,05$
106	2 св.	$\frac{q_0}{h_0} = \dots$	$\frac{q_0}{h_0^2} = \dots$
111	14 св.	15 мм	12 мм
113	5 и 7 св.	$D_{k_0}$	$D_k$
120	Табл. на фиг. 150	$55 \times 5$	$55 \times 55$
125	13 св.	$\frac{H_1}{H_2} \dots$	$\frac{H_1}{H_3} \dots$
135	Табл. 24, 9 графа	1	19
146	17 св.	$B$	$H$
146	18 св.	$H$	$B$
146	21 св.	$\delta = \frac{q_m}{B}$	$\delta = \frac{q_m}{H}$
151	12 св.	$\dots 57,0 + 49,5 = \dots$	$\dots = 57,0 - 49,5 = \dots$
155	13 св.	$\dots = \frac{1,14}{2} = \dots$	$\dots = \frac{2,14}{2} = \dots$
157	7 св.	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n z$
161	6 св.	(фиг. 185)	(фиг. 183)
164	Табл. 31 посл. графа	0,7	10,7

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
172	8 св.	$\frac{Q}{q} \dots$	$\mu = \frac{Q}{q} \dots$
173	Фиг. 198		Повернуть фиг. на $45^\circ$
174	5 св.	$1020^\circ$	$1080^\circ$
174	Под фигурой	Фиг. 220	Фиг. 202
177	11 св.	$\dots 199\,000 \text{ см}^3$	$119\,000 \text{ см}^3$
178	2 св.	$\dots + \beta \cdot F_n =$	$+ \beta \cdot F_\sigma =$
179	10 св.	$\dots b \sqrt{R_k} (H-h)$	$\dots b \sqrt{R_k} (H-h)$
182	13 св.	$0,965 \tau_{ш}$	$0,965 = \tau_{ш}$
189		Весь пример 10	опустить
190	Фиг. 212, подпись	для реверсивного	для неререверсивного
192	9 св.	и 4-ом пропусках	и 5-ом пропусках
194	20 св.	мелкосортных и крупносортных станов	мелкосортных станов
195	5—4 св.	заключенные в станины, так	заклученные в так
197	18 св.	фиг. 225	фиг. 226
199	Фиг. 227		Повернуть фиг. на $90^\circ$
207	1 св.	опору	эпюру
208	Фиг. 252		Повернуть фиг. на $180^\circ$
219	8—9 св.	нажимах	нажимных
245	10—9 св.	параллельно	перпендикулярно
246	4 св.	<i>n</i>	<i>n</i>
248	14 св.	(фиг. 341)	(фиг. 340)
256	Фигуры 355 и 356		Повернуть на $180^\circ$
277	23 св.	$= \frac{0,95 \cdot 330 - 11}{332} =$	$= \frac{0,95 \cdot 330 - 11}{330} =$
277	6 св.	0,5	0,9
281	18 св., 3 графа	6	62
291	27 св.	10 клеток	8 клеток
292	10 св.	перерывно-заготовочной	непрерывно-заготовочной
299	22 св.	стола <i>a</i> ,	стола <i>b</i> ,
302	7—8 св.	для прокатки	для нагрева
311	29 св.	количеством	качеством
312	16 св.	$1,25 \text{ т}$	$1,25 \text{ т/сек.}$
312	5 св.	На фиг. 442	На фиг. 422
314	4 св.	в старых	в сырых
343	9 св.	полая	полая
348	25 св.	оправка	пробка
349	2 св.	желательными	нежелательными
350	3 св.	150	250

Ошибки: 28 — по вине автора, 25 — по вине типографии, 5 — по вине счетчика, 3 — по вине литредактора.