



НИИ ИНФОРМТЯЖМАШ

обзорная информация



МНОГОВАЛКОВЫЕ
СТАНЫ
ДЛЯ ПРОКАТКИ
ТОНЧАЙШИХ
ЛЕНТ



1-73-36

МОСКВА • 1973

AM10

621.77

Игорю Валентиновичу
в знак глубокого уважения
тебя и в связи с увеличением
завершился советский
во ВНИИ ГТЭ от 21.02.83

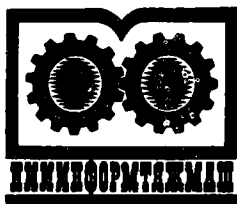
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

28, 22
с 26, 27

УДК 621.771.063

В обзоре рассмотрены вопросы производства тончайших лент, конструкции современных отечественных и зарубежных многовалковых станов, а также системы электропривода и автоматического регулирования технологических параметров этих станов.

Ю. М. ПАНФИЛОВ, В. П. ПРИВЕДЕНЦЕВ



МНОВОАЛКОВЫЕ СТАНЫ ДЛЯ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШИХ ЛЕНТ

Бурное развитие современной науки и техники выявило необходимость создания качественно новых приборов, машин, средств автоматизации, систем управления, отличающихся высокой надежностью, долговечностью, быстродействием и стабильностью работы в различных условиях эксплуатации.

В подавляющем большинстве таких изделий, особенно где существенное значение имеет миниатюризация, многие ответственные детали изготавливаются из тончайших металлических лент, обладающих теми или иными специальными свойствами.

В связи с этим вопрос производства тончайших лент из различных металлов и сплавов является весьма актуальной проблемой, решение которой имеет большое народнохозяйственное значение.

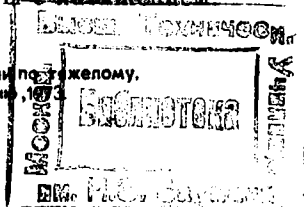
Получение лент толщиной в несколько микрон или несколько долей микрона с обеспечением требуемых свойств является сложным и трудоемким технологическим процессом, состоящим в ряде случаев из множества технологических операций обработки.

Поэтому некоторые виды тончайших лент стоят (по весу) в 20 раз дороже золота [1].

В настоящее время известны различные способы производства таких лент: ковка, прокатка в несколько слоев пакетами, электролитическое осаждение металла, метод гальванического растворения, осаждение парообразного металла и др.

Наиболее распространенными по сравнению со всеми перечисленными способами производства тончайших лент является способ рулонной прокатки.

Для этого используются специальные прокатные станы, оснащенные рабочими валками малого диаметра, а также средствами для размотки и намотки рулонов ленты с натяжением.



СТАНЫ ДЛЯ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШИХ ЛЕНТ

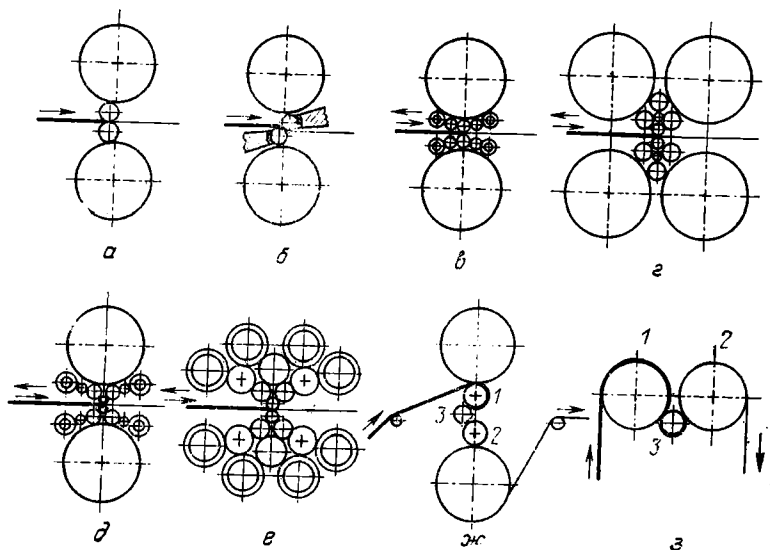
На фиг. 1 представлены основные схемы установки валков станом, применяемых для прокатки тончайшей ленты рулонным способом.

В четырехвалковых станах опорные валки служат для придания большей жесткости системе валков в вертикальной плоскости в направлении действия наибольших сил. Для увеличения жесткости рабочих валков в горизонтальном направлении при реверсивной работе стана оси рабочих валков располагают несколько впереди осей опорных валков (фиг. 1, а), чтобы рабочие валки прижимались к опорным.

При реверсивной работе стана рабочие валки подпирают с двух сторон опорами (фиг. 1, б) или рядом опорных роликов (фиг. 1, в). Это уменьшает прогиб рабочих валков в горизонтальном направлении независимо от направления прокатки.

Привод валков на таких станах осуществляется через опорные валки, так как шейки рабочих валков малого диаметра по условиям прочности не могут передать требуемого крутящего момента.

С целью значительного уменьшения диаметра рабочих валков для прокатки тончайших лент из труднодеформируемых металлов и сплавов применяют многовалковые станы, где каждый рабочий валок опирается на два опорных, которые в свою очередь опираются на последующий ряд или несколько рядов опорных



Фиг. 1. Схемы расположения валков станом холодной прокатки тончайших лент

валков большего диаметра (фиг. 1, *г, д, е*), что обеспечивает значительно большую жесткость рабочих валков вдоль их осей в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Фирмой «Дженерал электрик Ко» (США) предложен новый метод прокатки тончайшей ленты с приложением к деформируемому телу изгибающих и растягивающих усилий (фиг. 1, *ж, з*) [2, 3]. Разработано несколько станов и, в частности, лабораторный стан с длиной бочки 76 мм, на котором получена минимальная толщина ленты, равная 0,005 мм.

Стан состоит из трех валков: двух опорных приводных большого диаметра и третьего плавающего холостого небольшого диаметра (см. фиг. 1, *з*). Имеются натяжные устройства для обеспечения переднего и заднего натяжения ленты.

Лента огибает опорный валок 1 и обжимается между ним и плавающим валком 3, затем еще раз между плавающим и опорными валками 2 и огибает опорный валок. Ось плавающего валка смещена к оси опорных валков. Смещение плавающего валка зависит от раствора опорных валков и характеризуется углом α , который называют углом изгиба (контакта).

Окружные скорости вращения первого и второго опорных валков в процессе прокатки находятся в определенном соотношении, которое поддерживается постоянным при помощи шестеренной клетки.

Величина обжатия определяется в значительной степени соотношением скоростей вращения опорных валков.

Например, если окружная скорость второго валка в два раза больше скорости первого, то обжатие ленты за проход составит 50%.

Считают, что такая конструкция по сравнению с обычными немноговалковыми станами имеет ряд преимуществ:

постоянные условия деформации металла в очаге деформации и вследствие этого отсутствие разнотолщинности и других дефектов ленты, связанных с неравномерностью обжатия по ширине. Возникающее в процессе прокатки изменение величины зазора между валками вследствие их упругой деформации компенсируется соответствующим изгибом плавающего валка;

низкие значения давления металла на валки;

легкость переоборудования для работы на сдвоенной конструкции, т. е. с тремя опорными валками и двумя плавающими. Для прокатки по такому способу может быть переведен обычный стан кварто с приводом на опорные валки от специальной шестеренной клетки, позволяющей изменять отношение окружных скоростей рабочих валков в зависимости от необходимого обжатия (см. фиг. 1, *ж*).

Оптимальное значение угла $\alpha = 5 \div 15^\circ$; максимальное обжатие за проход составляет до 60% для валков с гладкой поверхностью и смазкой и до 90% для шероховатых валков.

Основными параметрами, определяющими процесс прокатки

на данном стане, являются [4]: относительная деформация на двух участках контакта; относительное скольжение между лентой и валками; величина угла изгиба α (касания меньшего вала с большим); величина натяжения ленты; величина крутящих моментов на опорных (контактных) валках; отношение скоростей вращения опорных валков; диаметр изгибающего (плавающего) вала; качество поверхности валков.

Необходимо отметить, что сложность зависимости между обжатием ленты, ее толщиной, диаметрами опорных и плавающего валков, углом изгиба, передним и задним натяжением ленты не дает возможности быстро и точно определить основные размеры стана для конкретных параметров технологического процесса прокатки. В связи с этим такие станы широкого развития до настоящего времени не получили.

Несмотря на достаточно большое количество различных конструкций станов с рабочими валками малого диаметра, наиболее полно проблемы промышленного производства высококачественной тончайшей ленты из различных (особенно труднодеформируемых) металлов и сплавов решаются применением многовалковых (12- и 20-валковых) станов холодной прокатки, в которых благодаря особенностям их конструкции полностью используются преимущества рабочих валков малого диаметра.

МНОВОАЛКОВЫЕ ПРОКАТНЫЕ СТАНЫ

В настоящее время разработкой и изготовлением многовалковых станов за рубежом занимаются фирмы «Сендзимир» — «Уотербэри фаррел фаундри энд машин Ко» (США), «Зундвиг» (ФРГ), «Есида Кинен» (Япония), «Шкода» (ЧССР), завод им. Тельмана (ГДР).

Изготовлением многовалковых станов по лицензиям Сендзимира занимаются фирмы «Армцен» (США), «Демаг» (ФРГ), «Робертсон» (Англия), «Инноченти» (Италия), «Фив-Лиль-Кайл» (Франция), «Фёст» (Австрия), «Хитати» (Япония).

В нашей стране основными разработчиками таких станов являются ВНИИМЕТМАШ и СКМЗ.

В табл. 1, 2, 3 приведены основные типоразмеры станов соответственно фирм «Сендзимир», «Зундвиг», ВНИИМЕТМАШ.

Многовалковые станы различных фирм, имея практически одинаковую схему расположения валков, отличаются один от другого конструкциями рабочих клетей, валков, шестеренных клетей, намоточных и размоточных устройств и многими другими элементами станов.

Ниже приведены основные особенности и преимущества многовалковых станов:

возможность применения рабочих валков с минимально возможным диаметром. Соотношение диаметров рабочего и опорного валков может достигать 1 : 10, в то время как на стане кварто не может быть более 1 : 5;

Т а б л и ц а 1

Тип	Модель	Диаметр, мм		Ширина полосы стана, мм	
		рабочих валков	опорных подшипников	узкого	широкого
1—2	ZS06	216	300	635	1830
	ZS07	216	410	760	3050
	ZS08	267	510	1070	4200
1—2—3	ZR15	12	75	215	460
	ZR16	20	120	480	1220
	ZR19	46	225	115	440
1—2—3—4	ZR32	6,0	48	115	220
	ZR34	10,0	76	190	445
	ZR24	21,0	120	215	495
	ZR33	28,7	160	330	1120
	ZR23	40,0	225	480	1580
	ZR23M	61,5	225	430	1580
	ZR22	54,0	300	635	3050
	ZR22B	63,5	300	635	3050
	ZR21	80,0	410	840	5310
	ZR21B	89,0	410	840	5310

обеспечение высокой жесткости рабочих валков малого диаметра по их длине в вертикальной и горизонтальной плоскостях; легкая и быстрая замена рабочих валков (1—2 мин);

наличие механизмов регулирования профиля валков в процессе прокатки дает возможность получения ленты высокой плоскостности;

соблюдение узких допусков на толщину ленты по ширине и длине (табл. 4);

высокое качество отделки поверхности ленты;

небольшой размер рабочих валков делает экономичным применение их из твердого сплава (карбида вольфрама и др.);

малый диаметр рабочих валков обуславливает меньшее их сплющивание, что позволяет прокатывать металл высокой прочности с малым числом пропусков и без промежуточных отжигов, а также прокатывать ленту весьма тонких размеров;

малый диаметр рабочих валков способствует уменьшению внутреннего напряжения в металле в момент захвата его валками, что приводит к уменьшению надрывов ленты по кромкам;

опорный валок состоит из набора специальных подшипников и опор, что в сочетании с формой станины обеспечивает очень высокую жесткость клетки вдоль оси валков;

практически нет ограничений по ширине полосы;

компактность конструкций станов делает невысокими затраты на строительство стана и цеха, так как требует облегченного фундамента, меньшей грузоподъемности кранов и т. п.;

Таблица 2

Тип стана	Количество валков	Диаметр. валков, мм		Длина очага, мм	Толщина полосы, мм		Ширина полосы, мм	Напряжение полосы, кГ	Скорость прокатки, м/сек
		рабо- чих	опор- ных		начальная	конечная			
WV12-R32-195×310	12	32	195	310	2,0	0,050	260	120—6000	2,5
WV12R42-185×160	12	42	185	160	2,5	0,050	100	120—5000	2,5
WV12-R48-185×260	12	48	185	260	2,5	0,050	200	150—7000	2,5
WV20-R10-72×100	20	10	72	100	0,25	0,005	80	1—250	1,0
WV20-R15-100×140	20	15	100	140	1,0	0,005	110	6—500	1,0
WV20-R19-140×190	20	19	140	190	1,0	0,010	150	35—2000	2,0
WV20-R25-165×240	20	25	165	240	2,0	0,010	200	65—4000	3,3
WV20-R35-195×310	20	35	195	310	2,5	0,020	260	70—5000	3,3
WV20-R40-250×350	20	40	250	350	2,5	0,040	300	120—8300	4,1
WV20-R42-300×490	20	42	300	400	2,5	0,040	350	150—10000	5,0
WV20-R48-250×360	20	48	250	360	3,0	0,050	320	120—8300	3,3
WV20-SEH16-55×150	20	6	55	150	0,2	0,003	110	5—250	1,0
WV20-SEH18,5-55×150	20	8,5	55	150	0,3	0,003	110	7—350	1,6
WV20-SEH10-55×135	20	10	55	135	0,3	0,005	100	4—250	1,0
WV20-SEH13-80×250	20	13	80	250	0,5	0,008	210	12—800	1,0
WV20-SEH16-110×180	20	16	110	180	1,0	0,010	140	35—2000	2,0
WV20-SEH20-110×190	20	20	110	190	1,0	0,010	150	15—1000	1,6
WV20-SEH27-165×380	20	27	165	380	1,0	0,020	320	60—3500	3,0
WV20-SEH36-220×700	20	36	220	700	2,0	0,050	620	100—7000	3,3
WV20-SEH42-220×540	20	42	220	540	2,5	0,100	460	100—6000	5,0
WV20-SEH48-220×800	20	48	220	800	3,0	0,100	700	150—10000	4,0
WV20-SEH56-300×1150	20	56	300	1150	4,0	0,100	1050	750—28000	4,3
WV20-SEH60-300×1700	20	60	300	1700	6,0	0,100	1600	800—50000	5,0
WV20-SEH65-406×1900	20	65	406	1900	8,0	0,100	1700	800—50000	7,5

Таблица 3

Тип стана	Количество валков	Диаметр валков, мм		Длина бочки валков, мм	Толщина ленты, мм		Ширина ленты, мм		Натяжение ленты, кг	Скорость прокатки, м/сек
		рабочих	опорных		начальная	конечная	минимальная	максимальная		
12-валковый 350	12	38	120	350	0,600	0,050	150	300	1200	5,0
26-валковый 60	26	2,0	20	60	0,005	<0,001	20	40	0,5-4	0,25
20-валковый 60	20	3,0	20	60	0,030	0,002	20	40	1,8-30	0,375
20-валковый 160	20	8-10	50/40	160	0,080	0,004	60	120	15-230	2,0
20-валковый 160Б	20	8-10	50/40	160	0,150	0,005	60	120	10-250	2,5
20-валковый 160В	20	10-12	60	160	0,200	0,005	60	120	10-260	2,5
20-валковый 160М	20	10-12	60	160	0,200	0,005	65	130	10-350	2,5
20-валковый 300	20	12-15	80	300	0,100	0,010	150	250	25-750	2,0
20-валковый 300М	20	15-20	80	300	0,500	0,020	150	250	50-1600	3,0
20-валковый 400	20	20-28	120	400	0,800	0,020	150	300	150-3000	7,5
20-валковый 400М	20	40-50	180	400	1,500	0,050	150	320	300-4000	7,5
20-валковый 500	20	40-50	180	500	1,500	0,050	200	400	400-8000	7,5
20-валковый 700Э	20	30-45	180	700	1,500	0,050	400	600	400-10000	2,0
20-валковый 700	20	50	180	700	1,000	0,050	400	600	200-3000	10,0
20-валковый 1200	20	55	300	1200	3,500	0,100	600	1000	12000	10,0
20-валковый 1400	20	100-120	400	1400	3,500	0,350	700	1300	3000-30000	10,0
20-валковый 1700	20	85	400	1700	4,000	0,200	800	1500	3000-50000	8,5

← 20-валковый 1700

Таблица 4

Толщина ленты, мм	Ширина ленты, мм	Допуск, мм
0,0020—0,0127	160	±5%
0,0127—0,0254	254	±10 ⁰ / ₀
0,0254—0,254	305	±0,0025
0,254—0,635	305	±0,005
0,635—1,016	305	±0,0076
1,016—1,651	305	±0,0127

малый диаметр валков требует шлифовальных станков меньших размеров;

более экономичный ремонт;

многовалковые станы способны прокатывать ленту из материалов с высоким и низким пределом прочности, в широком диапазоне толщины и ширины. Для некоторых типоразмеров станом отношение исходной толщины к конечной достигает величины 50:1 и более, а отношение максимальной ширины к минимальной — 2:1;

прокатка тончайших лент в рабочих валках малого диаметра требует обеспечения высоких удельных натяжений, рекомендуемые значения которых для различных металлов приведены ниже;

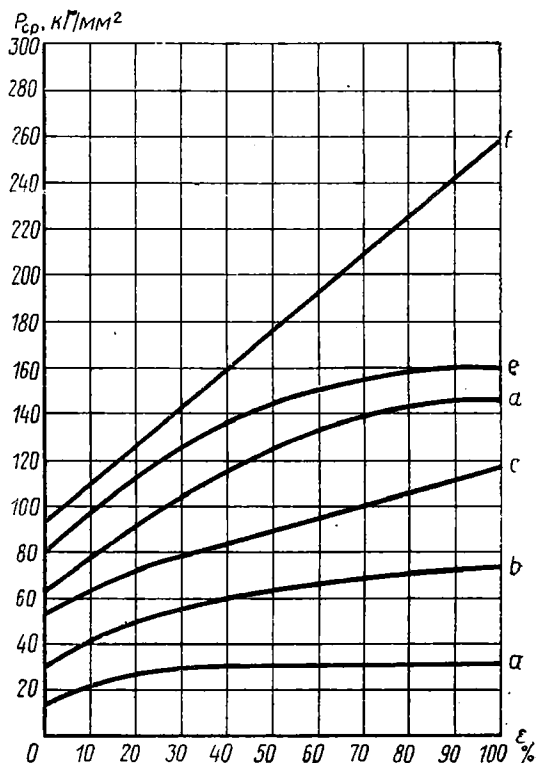
	Натяжение кг/мм ²
Низкоуглеродистая сталь . . .	25—35
Высокоуглеродистая сталь . . .	20—30
Нержавеющая сталь 18-8 . . .	25—35
Хромистая сталь 17Cr . . .	10—15
Латунь . . .	25—30
Железоникелевые сплавы Н50 . . .	35—50

прокатка ленты в широком диапазоне сортамента требует оснащения стана намоточными устройствами, обеспечивающими регулирование общего натяжения в широком диапазоне величин, и строгого поддержания постоянства заданной величины натяжения в процессе прокатки;

учитывая малый диаметр рабочих валков, а следовательно, малую ширину контактной площадки их с металлом, к многовалковым станам предъявляются требования особо высокой точности изготовления геометрии всех валков и строгой параллельности обработки гнезд под установку опорных валков в станине;

на многовалковых станах благодаря наличию большого натяжения ленты и повышенным удельным давлениям, допускаемым рабочими валками малого диаметра, можно осуществлять высокие частные (до 60%) и суммарные (до 99%) обжатия ленты. Изменение удельных давлений $p_{ср}$ в зависимости от величины

Фиг. 2. Кривые удельных давлений в функции от суммарного обжатия: *a* — алюминий; *b* — алюминиевые сплавы; *c* — мягкая сталь и латунь 70:30; *d* — сталь с высоким содержанием углерода; *e* — нержавеющая сталь (17% Cr); *f* — кремнистая сталь (3% Si)



суммарного обжатия ϵ для некоторых материалов приведено на фиг. 2 [5];

значительно меньший расход энергии при прокатке высокопрочных материалов;

сокращение промежуточных отжигов за счет увеличения суммарного обжатия за передел;

себестоимость ленты, прокатанной на многовалковом стане, составляет 40—80% по сравнению с себестоимостью ленты, прокатанной на обычном стане;

многовалковые станы не могут работать на больших скоростях из-за медленного охлаждения валков малого диаметра. Учитывая современное состояние техники охлаждения валков, при определении максимальной скорости прокатки на многовалковых станах исходят из возможно допустимой скорости вращения рабочих валков от 3000 до 3200 об/мин [6]. В практике пользуются отношением

$$v_{\max} = (3000 \div 3200) \frac{\pi d}{60} \text{ м·сек},$$

где d — диаметр рабочего валка, м;

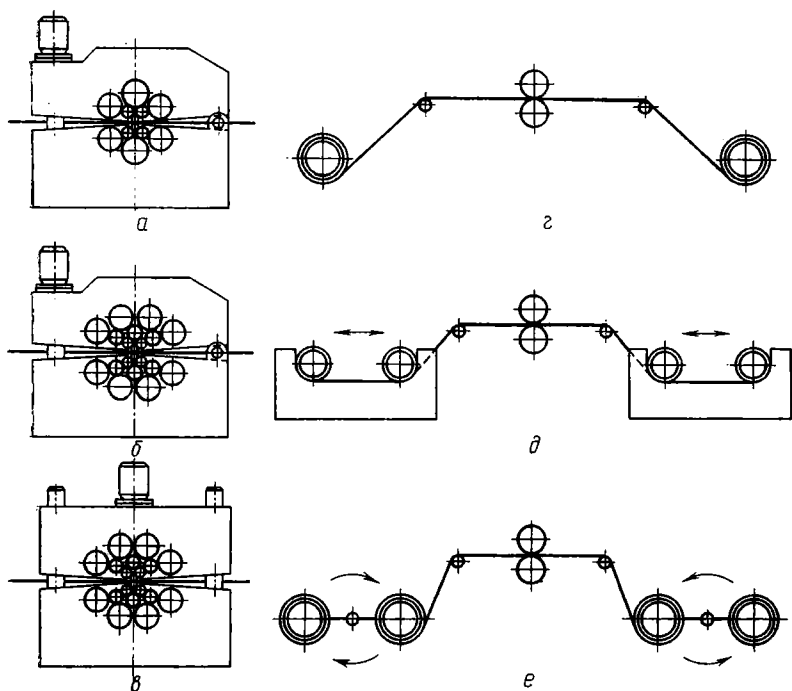
многовалковые станы требуют оснащения моталками с барабаном высокой жесткости, а привод их обеспечивает достаточно большой диапазон регулирования натяжения ленты. Причем привод моталок поддерживает строгое постоянство натяжения ленты на всех скоростях прокатки, в переходных режимах и при изменении диаметра рулона;

учитывая применение высоких натяжений ленты, особые требования предъявляют к качеству обрезки кромок исходной ленты.

ЗАРУБЕЖНЫЕ МНОГОВАЛКОВЫЕ СТАНЫ

Станы фирмы «Зундвиг». Фирмой «Зундвиг» разработаны и выпускаются 12- и 20-валковые станы, принципиальные схемы которых приведены на фиг. 3 [7].

Были разработаны станы, у которых станины рабочих клеток выполнены из двух частей — верхней и нижней, соединенных между собой с помощью шарнира (фиг. 3, а, б). Каждая часть станины представляет собой две щеки, соединенные между собой болтами. В щеках в зависимости от количества опорных валков



Фиг. 3. Схемы рабочих клеток и моталок многовалковых станов фирмы «Зундвиг»

(шесть или восемь) выполнены гнезда под опоры опорных валков. Для установки валков и создания требуемого усилия на валках при прокатке с противоположной от шарнира стороны предусмотрено электромеханическое нажимное устройство, которое выполнено отдельно для каждой щеки. Оно может работать совместно и отдельно, чем достигается компенсация возможных перекосов в валках.

Привод валков осуществляется от электродвигателя через шестеренную клеть, шарнирные шпиндели и шесть или восемь опорных валков соответственно для 12- и 20-валковых станков. Опорные валки последнего ряда на таких станках выполнены сплошными, как на обычных станках, с опорами на концах. В качестве опор на этих станках используются подшипники скольжения и подшипники качения.

Несмотря на явные преимущества таких клеток по сравнению с обычными, на них можно прокатывать ленту ограниченной ширины. При значительном увеличении ширины ленты жесткость валков вдоль их оси становится недостаточной.

С целью исключения этого недостатка фирмой разработана конструкция стана (фиг. 3, в), рабочая клеть в которой выполнена из двух отдельных монолитных блоков, соединенных между собой с помощью четырех колонн. Колонны выполняют одновременно роль направляющих и нажимных винтов механизма установки валков [6]. Эта конструкция обладает высокой жесткостью вдоль оси валков. Опорные валки последнего ряда, выполненные в виде многоопорной балки, состоят из набора специальных подшипников, посаженных на ось, которая крепится в станине с помощью опор, установленных в промежутках между подшипниками.

Верхний рабочий валок с общей валковой системой и верхней частью станины образует собственный подвижной блок, который поднимается и устанавливается относительно нижней неподвижной части. Это расширяет диапазон диаметров применяемых рабочих и первых промежуточных валков.

Электромеханический привод нажимного механизма на этих станках выполнен так, чтобы можно было включать механизмы установки на всех четырех колоннах одновременно или отдельно. Это обеспечивает регулирование зазора между валками путем такой настройки для получения жестких допусков по ширине ленты.

Особое значение в четырехколонной клетке имеет возможность регулирования положения опорной поверхности валков последнего ряда для регулирования профиля прокатываемой ленты.

Все четыре колонны, воспринимающие основную нагрузку клетки, изготавливаются из высококачественной стали одной плавки, что обеспечивает их равномерную деформацию, гарантирует постоянство нагрузок в четырех точках клетки, а также позволяет оснастить колонны измерительными средствами для точного кон-

троля нагрузок и обеспечения более точных допусков прокатываемой ленты.

Такая конструкция рабочей клетки обеспечивает возможность оснащения ее различными средствами предварительного напряжения как отдельных элементов, так и всей клетки в целом.

Привод валков в таких станах осуществляется через четыре промежуточных валка второго ряда.

Для успешной работы многовалковых станов большое значение приобретают намоточно-размоточные устройства, в которых конструкция и их привод должны отвечать высоким требованиям.

Фирмой «Зундвиг» разработаны три типа моталок:

моталка с консольными складывающимися барабанами (фиг. 3, *г*). Складывающаяся конструкция обеспечивает свободный съем намотанного после прокатки рулона. Для станов малого размера и небольших развесов рулона консольные барабаны выполнены в виде толстостенной гильзы, насаженной на вал редуктора моталки. На таких станах рулон снимается с вала вместе с гильзой, а смотка рулона производится на специальных перемоточных устройствах;

моталка со съёмным двухопорным барабаном (фиг. 3, *д*). После намотки барабан с рулоном может быть снят со стана и перенесен для других технологических операций или перемещен по направляющим от моталки на другую позицию для смотки с него готовой ленты;

моталка с несъемными двухопорными барабанами (фиг. 3, *е*). По окончании прокатки барабан с намотанным на него рулоном поворачивается вокруг стационарного шарнира на позицию для перемотки ленты, а свободный барабан устанавливается по оси привода моталки для обеспечения намотки последующего рулона.

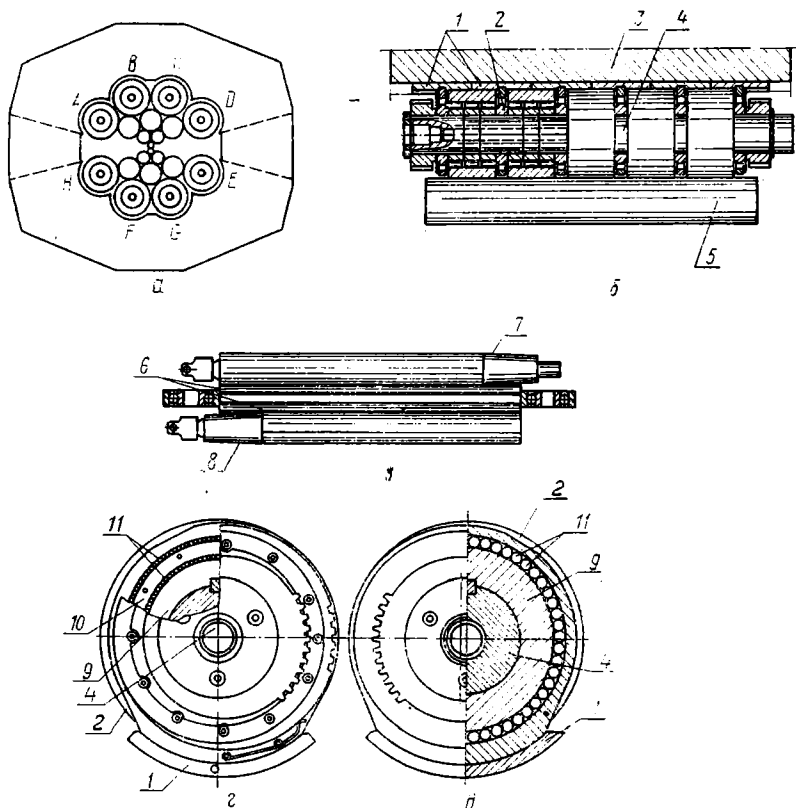
Станы Сендзимира. Характерной особенностью многовалковых станов Сендзимира является то, что обычные станины прокатных станов дуо или кварто объединены в единый монолитный блок.

Станина для станов малых размеров выполняется из стальных поковок, а для крупных — из монолитной стальной отливки. Станина обладает чрезвычайной жесткостью, основание и вершина имеют форму балки равного сопротивления [5, 8, 9].

Рабочие валки малого диаметра поддерживаются двумя или тремя рядами опорных валков.

Валки средних рядов называют промежуточными, валки последнего ряда — опорными (фиг. 4, *а*).

Другой особенностью этих станов является конструкция опорных валков, каждый из которых представляет собой многоопорную балку. Опорный валок (фиг. 4, *б, д*) состоит из оси, которая имеет несколько опор, расположенных через малые интервалы друг от друга и опирающихся на внутреннюю поверхность станины. Между опорами установлены специальные роликовые подшипники, внутренние кольца которых закреплены на оси, а наруж-



Фиг. 4. Узлы рабочих клеток многовалковых станов Сендзимира:
 1 — опора; 2 — подшипник; 3 — станина; 4 — ось; 5 — промежуточный валок; 6 — рабочий валок; 7 — коническая часть верхнего промежуточного валка; 8 — коническая часть нижнего промежуточного валка; 9 — эксцентриковое кольцо нерегулируемое; 10 — эксцентриковое кольцо регулируемое; 11 — ролики качения

ные толстостенные кольца опираются непосредственно на поверхность промежуточных валков. Ось с жестко закрепленными на ней эксцентриковыми кольцами установлена в опорах. Таким образом, ось с подшипниками при повороте может иметь эксцентричное смещение по отношению к опорам, а следовательно, и по отношению к самой станине. В клетях Сендзимира использовано эксцентричное смещение осей с подшипниками для регулирования и установки зазора между рабочими валками.

Поворотом осей нижних средних опорных валков *G* и *F* (фиг. 4, *a*) нижний рабочий валок выставляется на уровень прокатки. Поворотом осей верхних средних опорных валков *B* и *C* устанавливается и регулируется зазор между рабочими валками в процессе прокатки.

Четыре крайних опорных валка *A, D, E* и *H* поворотом осей компенсируют переточку промежуточных и рабочих валков и регулируются при настройке клетки до прокатки. Все элементы опорного валка — ось, подшипники, эксцентриковые кольца и опоры — изготавливаются с высокой точностью. Отклонения от заданных размеров деталей в комплекте одного опорного валка исчисляются несколькими микронами.

Опорные валки крепятся в станине с помощью своих опор в специальных расточках-гнездах, которые выполняются со строгой взаимной параллельностью. Отклонение от параллельности не должно превышать величины $0,005$ мм на длине 1 м. Количество таких расточек-гнезд определяется количеством опорных валков. Привод валков осуществляется через четыре промежуточных валка.

В процессе прокатки сопротивление деформации ленты больше посередине, чем на кромках. В силу этого при прокатке с равномерным распределением давления по ширине ленты на кромках возникают деформации большие, чем посередине ленты, и поэтому возникает гофрирование кромок. Для избежания этого клетки снабжены устройством для регулирования давления на кромках ленты посредством осевого смещения первых промежуточных валков, которые находятся в контакте с рабочими и приводными валками (фиг. 4, в).

Верхняя пара этих валков имеет с одной стороны на концах некоторую конусность, а нижняя пара имеет такую же конусность на концах с противоположной стороны. Обе пары валков регулируются независимо друг от друга и могут смещаться в осевом направлении на величину, равную примерно 10 — 15% ширины прокатываемой ленты.

Допуская незначительные упругие деформации на некоторой части концов рабочих валков в зоне конической части промежуточных валков, можно изменять величину давления на ту или иную кромку или на обе кромки одновременно, получая при этом ровную поверхность ленты с постоянной толщиной по всей ее ширине. Такое регулирование давления на кромки можно осуществлять даже при самых больших обжатиях (40 — 60%) за один пропуск.

Осевое перемещение производится с помощью винтовой передачи вручную, электродвигателем или гидроприводом. Положение перемещаемых валков фиксируется на двух шкалах-указателях, установленных на передней стороне станины.

Величина конусности валков и ее длина зависят от многих факторов: марки прокатываемого материала, величины обжатия, толщины и ширины прокатываемой ленты.

При прокатке широких лент на многовалковых станах, помимо деформации кромок, наблюдается неравномерное распределение деформации по всей ширине ленты и соответственно колебание ее толщины.

Для устранения этого дефекта необходимо регулировать распределение давления по ширине ленты. В обычных станах такое регулирование достигается путем соответствующего профилирования валков. В клетях Сендзимира нижняя и верхняя части станины выполнены по форме конуса с таким расчетом, чтобы искусственно увеличить прогибание станины по краям. Кроме этого в опоры верхних средних валков, помимо основных эксцентриковых колец, встроены дополнительные эксцентриковые кольца (фиг. 4, з), поворотом которых с помощью привода через рейки и зубчатые секторы можно создать необходимую выпуклость валков и перераспределение усилий по ширине ленты.

Учитывая приведенные особенности и преимущества, а также то, что некоторые фирмы приобрели лицензии и освоили качественное изготовление, станы Сендзимира получили широкое распространение в ряде стран.

Наибольшее распространение для прокатки тончайших лент из различных металлов и сплавов получили станы Сендзимира следующих типов:

стан ZR32 — диаметр рабочих валков 6,3 мм, опорных подшипников 47,6 мм, можно прокатать ленту минимальной толщины 0,0025 мм;

стан ZR34 — диаметр рабочих валков 10,2 мм, опорных подшипников 76,2 мм, можно прокатать ленту минимальной толщины 0,01 мм;

стан ZR24 — диаметр рабочих валков 21,4 мм, опорных подшипников 120 мм, можно прокатать ленту минимальной толщины 0,02 мм.

Стан фирмы «Ёсида Кинен». Станы фирмы «Ёсида Кинен» по конструкции рабочей клетки похожи на четырехколонные клетки фирмы «Зундвиг». Однако колонны выполнены прямоугольного сечения в отличие от круглых фирмы «Зундвиг». Характерной и отличительной особенностью клетки является конструкция опорных валков [10].

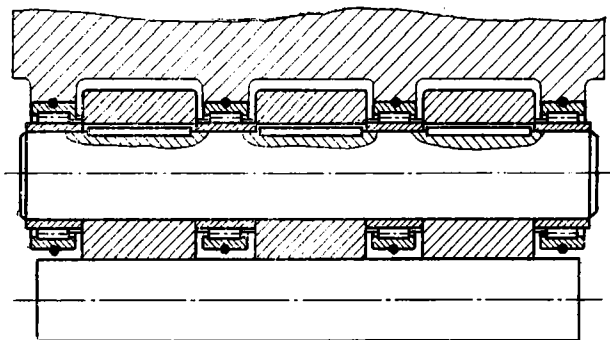
Опорные валки (фиг. 5) выполнены следующим образом.

На ось насаживаются по плотной посадке и на шпонки толстостенные стальные закаленные кольца, с каждой стороны которых насаживается подшипник качения. Такой валок устанавливается в гнезда станины таким образом, что усилие от него на станину передается через подшипники качения; в контакте с промежуточными (приводными) валками находятся стальные кольца оси.

Рабочие валки неприводные; приводятся во вращение за счет сил трения от четырех приводных промежуточных валков.

Нажимное устройство выполнено по аналогии с клетью фирмы «Зундвиг».

Моталки стана выполнены с приводом от электродвигателя переменного тока через электромагнитную порошковую муфту и редуктор с изменяемым передаточным числом. Такой привод мо-



Фиг. 5. Опорные валки стана фирмы «Ёсида Кинен» (Япония)

талок обеспечивает регулирование натяжения в большом диапазоне.

На стане установлены рабочие валки диаметром 6,5—12 мм, опорные — диаметром 58 мм; наибольшее давление металла на валки 6500 кг; скорость прокатки наибольшая 0,83 м/сек; диапазон натяжения моталок 2—300 кг. На стане можно прокатать ленту наименьшей толщины 0,002 мм.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МНОГОВАЛКОВЫЕ СТАНЫ

Для прокатки тончайших лент ВНИИМЕТМАШем создана серия многовалковых станов, которые успешно эксплуатируются на отечественных заводах.

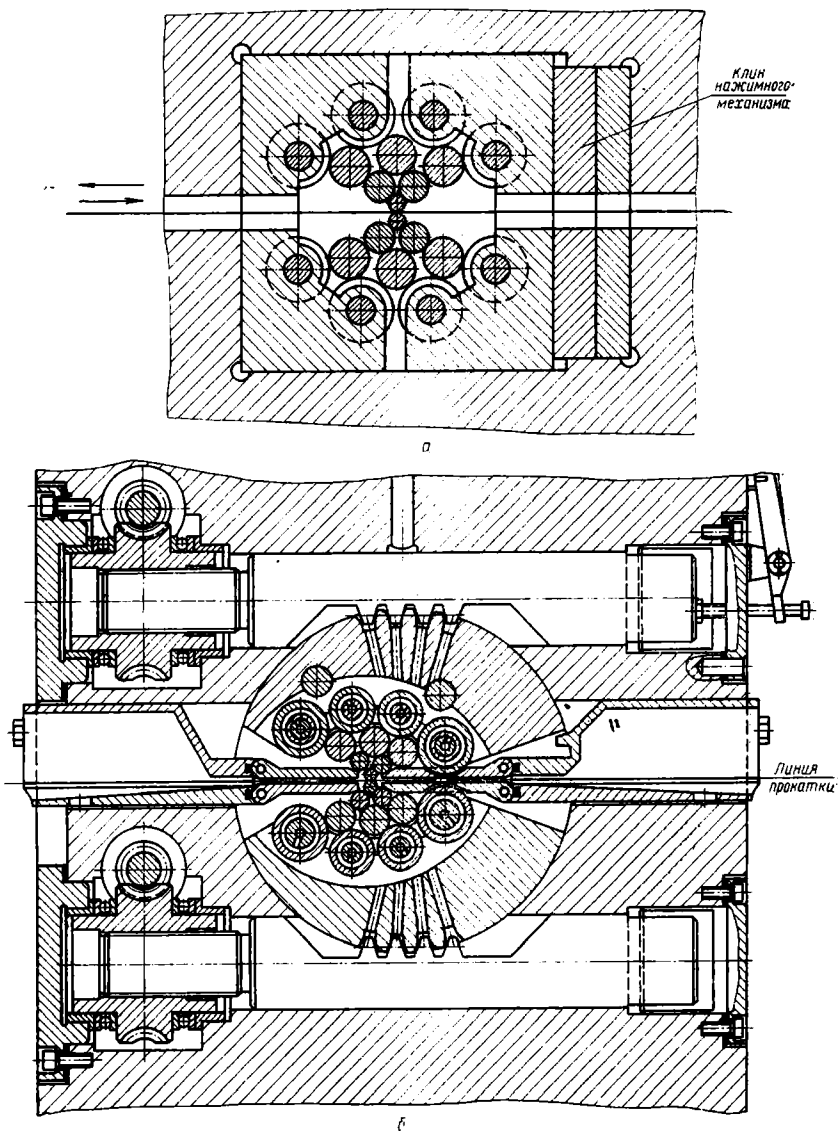
20-валковый стан 160. Для прокатки ленты толщиной до 0,005 мм было разработано несколько конструкций рабочих клеток с различными формами станин, валковых кассет, нажимных устройств, механизмов регулирования профиля валков. Все эти станы освоены и успешно эксплуатируются на заводах страны [11].

На фиг. 6, а показана схема рабочей клетки с валковыми кассетами прямоугольной формы. Зазор между рабочими валками изменяется перемещением подвижной кассеты, связанной с нажимным устройством клинового типа. Как показал опыт эксплуатации рабочей клетки с прямоугольными кассетами, из-за люфтов между кассетами и станиной жесткость клетки непостоянна.

Для устранения этого недостатка была разработана рабочая клетка с кассетами цилиндрической формы (фиг. 6, б).

Эта конструкция исключила люфты между кассетами и станиной, стабилизировала жесткость клетки.

Комплекты рабочих и опорных валков, собранных в кассеты,



Фиг. 6. Схемы рабочих кассет 20-валкового стана 160:
 а — с кассетами прямоугольной формы; б — с кассетами круглой формы

расположены в пирамидальном порядке и эксцентрично относительно оси расточки станины. Зазор между рабочими валками изменяется за счет поворота кассет с помощью нажимного механизма реечного типа с приводом от электродвигателя через червячно-винтовую передачу.

Для получения качественной ленты профиль валков регулируется путем изменения положения крайних подшипников опорных валков поворотом эксцентриковых втулок, которые установлены в качестве внутренних колец подшипников.

Повышенные требования к качеству ленты, а также опыт эксплуатации выявили необходимость разработки новой конструкции рабочей клетки и других основных узлов стана.

Конструкция рабочей клетки с раскрывающейся станией клещевого типа (фиг. 7) исключает все недостатки, имеющиеся в конструкциях клеток, рассмотренных выше [12]. Потерь на трение между кассетами и станией нет, так как кассеты не имеют перемещения относительно станины. Облегчена заправка ленты в валки. Упрощен доступ к валкам для замены и контроля состояния их поверхности. Шире диапазон изменения диаметров валков. Регулирование профиля валков производится с помощью двух механизмов, не зависящих друг от друга.

Рабочая клеть состоит из станины разъемного клещевого типа (верхней и нижней частей), верхней и нижней кассет с валками, устройства для регулирования прогиба валков, устройства осевого перемещения валков для регулирования давления на кромках ленты и нажимного устройства. Верхняя часть станины имеет возможность поворачиваться относительно нижней части вокруг шарнира.

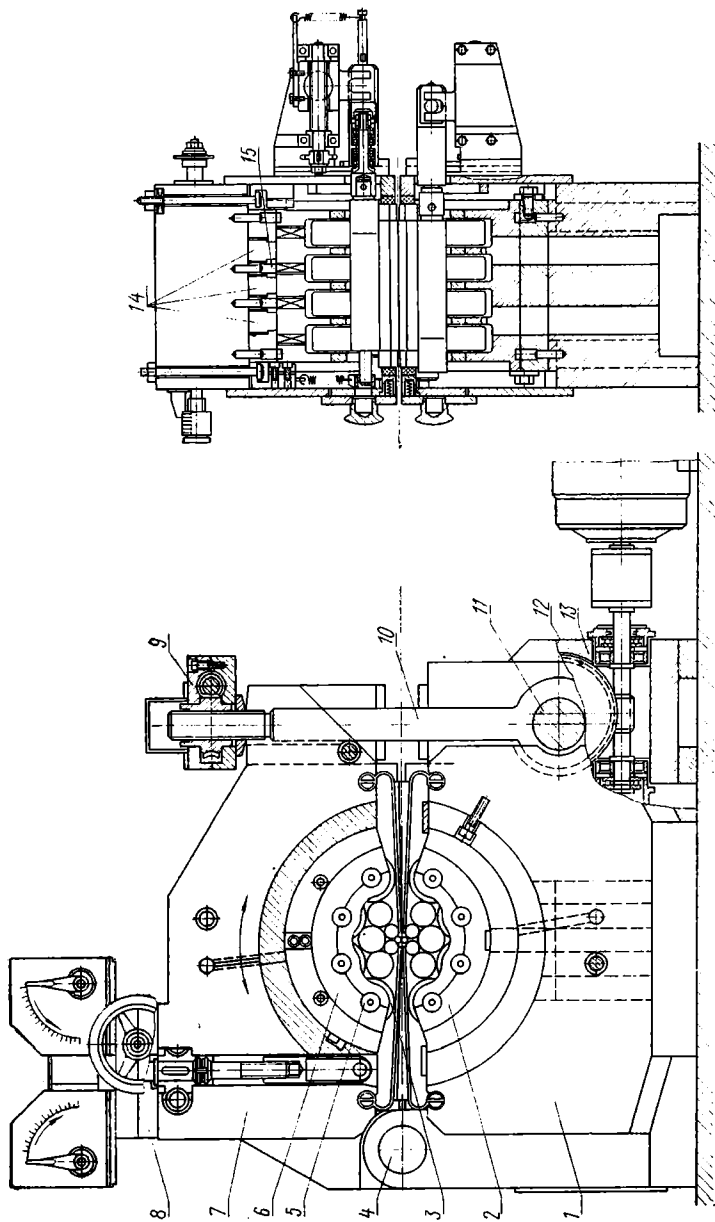
Одна из кассет (верхняя) выполнена сборной из отдельных опор, количество которых зависит от количества опорных подшипников, установленных на одной оси. Каждая опора служит для удержания одновременно четырех осей. Между станией и кассетой устанавливаются клинообразные проставки и клинья.

Под действием клиньев на опоры прогибаются оси, которые через опорные подшипники воздействуют на валки и придают им требуемый профиль. При отработанной технологии прокатки установка клиньев в требуемое положение производится до создания усилия на валках. Регулирование давления на кромках ленты производится в процессе прокатки путем перемещения средних опорных валков, имеющих на концах коническую часть.

Нажимное устройство состоит из червячного редуктора, эксцентрикового вала, двух тяг и установочного редуктора, который компенсирует переточки валков.

Под действием давления металла на валки верхняя часть станины всегда поджата к установочному редуктору, который через тяги передает усилие на вал.

Поскольку вал установлен эксцентрично относительно червячного колеса редуктора, последнее, поворачиваясь в диапазоне



Фиг. 7. Рабочая клеть 20-валкового стана 160 клещевого типа:
 1 — нижняя часть станины; 2 — кассета нижняя; 3 — подшипник опорный; 4 — шарир; 5 — ось; 6 — кассета верхняя; 7 — верхняя часть станины; 8 — устройство для регулирования прогиба валков; 9 — редуктор установочный; 10 — тяга; 11 — эксцентриковый вал; 12 — нажимное устройство; 13 — редуктор червячный; 14 — клинья; 15 — проставки клинообразные

рабочего угла 60—90°, постоянно поджато одной стороной зубьев к витку червяка. Это обеспечивает безлюфтовую передачу от червяка к валкам, что позволяет оснастить стан системой автоматического регулирования толщины (САРТ) ленты.

Диаметр рабочих неприводных валков 10—12 мм, длина бочки 160 мм. Валки приводятся во вращение, как и на ряде других станов, за счет сил трения от четырех приводных промежуточных валков второго ряда.

Диаметр подшипников опорных валков 60 мм; количество подшипников на одной оси 4 шт. В предыдущих станах на одной оси устанавливалось только по три подшипника, в последней конструкции стана усилие, передаваемое от валков на четыре подшипника, имеет более равномерное распределение. Это обстоятельство в сочетании с улучшенной конструкцией самого подшипника позволило увеличить общую нагрузку на валки при прокатке в 1,5 раза.

Для отвода тепла, выделяемого в зоне деформации металла, смазки подшипников, ленты и валков стан оборудован циркуляционной системой охлаждения и смазки, которая снабжена фильтрами тончайшей очистки масла.

На стане значительно расширен сортамент прокатываемой ленты, увеличен развес устанавливаемого рулона ленты, расширен диапазон натяжения ленты на моталках. Моталки выполнены со съемным двухопорным барабаном, в связи с чем стан снабжен специальным намоточно-перемоточным устройством.

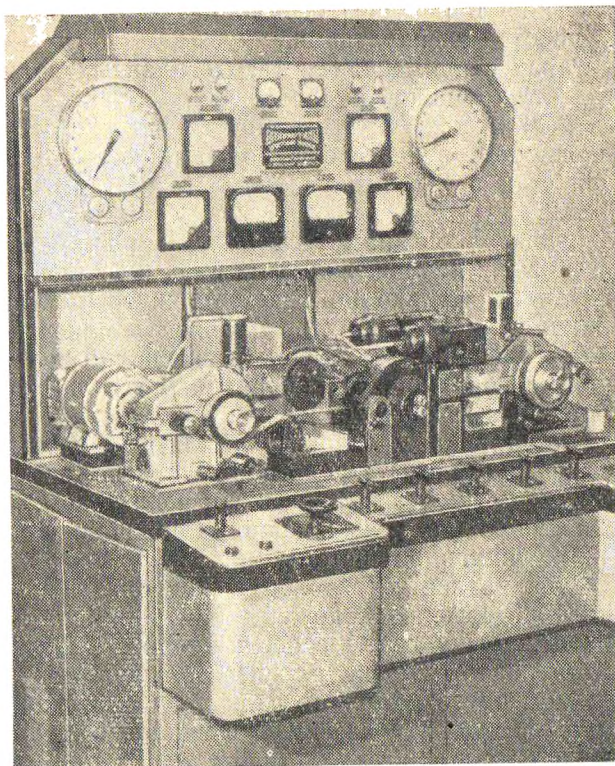
20-валковый стан 60. Для прокатки ленты толщиной 0,002 мм, шириной 20—40 мм создан 20-валковый стан 60 (фиг. 8) с рабочими валками диаметром 3 мм, длиной бочки 60 мм.

Стан имеет рабочую клеть клещевого типа. Для удобства заправки ленты верхняя часть рабочей клетки легко откидывается на угол 90° с фиксацией в этом положении и на угол 180° для замены опорных и промежуточных валков или для чистки клетки в случаях обрыва и забуривания ленты.

Нажимное устройство на этом стане состоит из двух тяг, закрепленных шарнирно с нижней станиной. Вверху тяги имеют винтовую часть, на которой установлены редукторы. Тяги с помощью редукторов и электродвигателей стягивают верхнюю часть клетки с нижней, создавая тем самым давление на валках. Для раскрытия клетки тяги с редукторами легко отводятся в сторону.

Такая конструкция клетки и нажимного устройства вполне оправдывает свое назначение, так как при прокатке тонкой ленты наблюдаются частые обрывы ленты, требуется тщательная чистка клетки от обрывков ленты, для осмотра необходим хороший доступ к клетке.

Опорные валки выполнены в виде набора подшипников на оси; опоры оси и расточки для установки ее выполнены непосредственно в станине.



Фиг. 8. 20-валковый стан 60

Расточки станины под опорные оси, сами оси, подшипники и валки изготавливаются с особо высокой точностью геометрии.

Регулирование прогиба валков осуществляется путем смещения в осевом направлении средних промежуточных валков, имеющих на концах коническую часть. На таких станах для большего эффекта регулирования прогиба рабочих валков в сочетании с осевым перемещением среднего промежуточного первые промежуточные валки делают бочкообразными или концы их на некотором расстоянии делают коническими. Конусность обычно делают в пределах $1/1000$ — $4/1000$.

Стан реверсивный, оборудован всеми необходимыми механизмами с учетом особенностей и специфики прокатки такой тонкой ленты.

Кроме того, стан оснащен необходимыми для управления приборами и системой автоматизации электропривода.

Толщина ленты во время прокатки контролируется бесконтактными радиоизотопными измерителями. Все механизмы стана,

система управления и приборы сконпонованы в единую установку с учетом удобства эксплуатации.

На этих станах с применением твердосплавных валков можно прокатывать ленту толщиной до 0,0015 мм.

26-валковый стан 60. Учитывая потребность некоторых отраслей промышленности в ленте еще более тонкой (до 0,001 мм и менее), создан стан с рабочими валками диаметром 2 мм и длиной бочки 60 мм.

Для установки валков диаметром 2 мм при диаметре опорных подшипников 20 мм в каждой валковой пирамиде (верхней и нижней) введены дополнительно по два промежуточных и одному опорному валку. Общее количество валков в рабочей клети на этом стане 26. Такое конструктивное решение позволило унифицировать опорные подшипники с опорными подшипниками на 20-валковом стане 60 и сохранить величину усилия прокатки.

На фиг. 9, а, б показаны поперечный и продольный разрезы рабочей клети. Нажимное устройство выполнено с эксцентриковым валом, двумя тягами и установочным редуктором.

Охлаждение валков и смазка опорных подшипников осуществляются от циркуляционной системы.

Для нанесения на ленту технологической смазки предусмотрены капельницы, которые расположены над барабанами моталок, что обеспечивает смазку ленты с обеих сторон. Капельницы предусмотрены для подачи смазки на первых двух-трех пропусках. Для более равномерного и тонкого слоя предусмотрено нанесение смазки путем распыления с помощью специального устройства и сопел, установленных у рабочей клети.

Контроль сплошности прокатываемого материала осуществляется с помощью установленных в линии стана подсветок ленты.

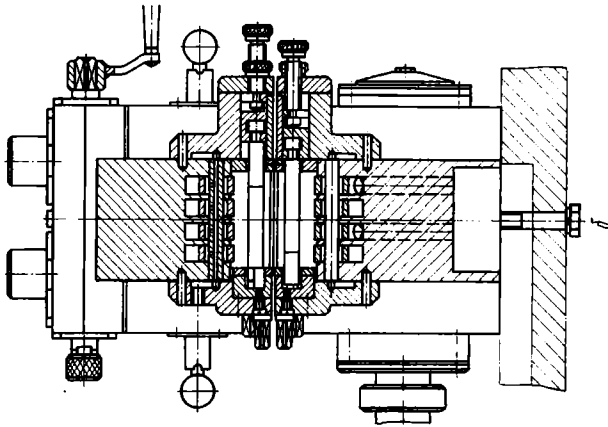
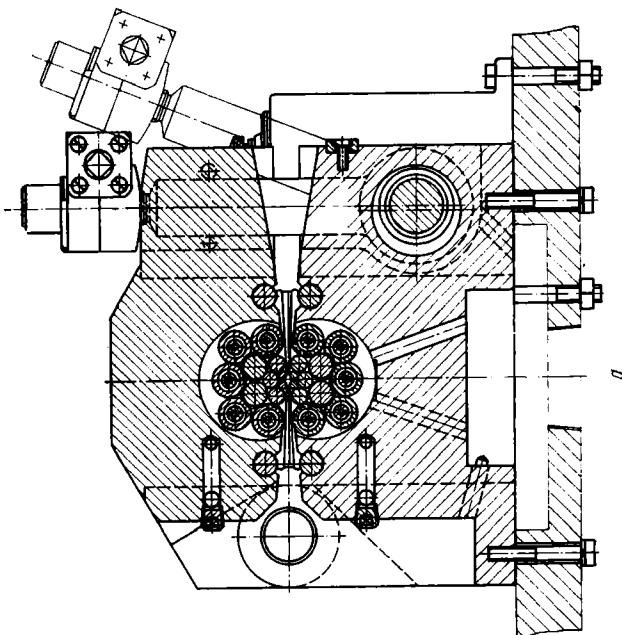
Для обеспечения тонкого регулирования натяжения ленты в требуемом диапазоне величин в приводе моталок применены электромагнитные порошковые муфты.

Перемотка готовой ленты с барабана на катушку производится непосредственно на редукторе моталки с помощью предусмотренных для этой цели необходимых средств.

Для прокатки лент толщиной 0,01 мм и выше ВНИИМЕТ-МАШем созданы 20-валковые станы с монолитной неразъемной станиной рабочих клетей.

Принципиальная схема конструкции этих станов аналогична схемам конструкций станов Сендзимира, но ряд узлов (нажимные устройства, механизмы регулирования профиля валков, механизмы осевого перемещения, проводковые устройства, следящие системы и др.) имеют значительные конструктивные отличия от известных станов и защищены авторскими свидетельствами на изобретения [13, 14, 15, 16, 17, 18].

В табл. 5 приведены основные характеристики станов ВНИИМЕТМАШа, предназначенных для прокатки тончайших лент.



Фиг. 9. Разрез рабочей клетки 26-валкового стана 60:
 а — поперек валков, б — вдоль валков

Параметры	20-ВАЛКОВЫЕ СТАНЫ							
	12 вал- ковый стан 350	26 валко- вый стан 60	60	160	160М	300	300М	410
Толщина ленты, мм: начальная	0,600	0,005	0,030	0,200	0,200	0,200	0,200	0,600
конечная	0,050	0,001	0,002	0,005	0,005	0,035	0,010	0,020— 0,010
Ширина ленты, мм	190—300	20—40	20—40	60—120	60—120	65—130	150—250	150—300
Диаметр рабочих валков, мм	38	2	3	10	10	10—12	12	15—20
Длина бочки валков, мм	350	60	60	160	160	160	300	400
Давление металла на валки максимальное, т	35	2	2	10	10	15	15	30
Скорость прокатки максимальная, м/сек	5,0	0,250	0,375	2,5	2,5	2,5	2,0	3,0
Вес рулона, кг	1000	1,0	1,0	60	60	160	60	450
Мощность двигателя, кВт: главного привода	165	1,0	1,5	42	42	42	7,5	85
моталки	18,5+60	0,1	0,2	8,5	8,5	10	3,2+19	2×32
Вес механического оборудования, т	35	1,4	1,5	8,0	8,0	11	23,15	46+ +2×140
Габаритные размеры стана, м	7×8×2,7	1,6× 1,6×2,0	1,6× 1,6×2,0	5×5×2	5×5×2	7×8×2 (с ма- шинным залом)	5,5× 4,6×2,0	15,1× 11,6×2,0

12-валковый стан для прокатки узкой тончайшей ленты. Миниатюризация в приборостроении, радиотехнике и электронике выявила необходимость получения тончайших узких лент из различных металлов и сплавов.

Для прокатки лент толщиной до 0,001 мм и шириной менее 1,0 мм, необходимых для радиоэлектронной промышленности, создан 12-валковый стан со станиной консольного типа [19].

Верхний и нижний комплекты валков установлены в расточках вертикальных стоек. Нижняя стойка со своим комплектом валков образует единый подвижной блок, не зависящий от верхнего неподвижного блока.

Стойка нижнего блока находится в направляющем стакане и опирается на клин механизма перемещения.

Такая конструкция позволяет изменять зазор между рабочими валками с точностью до $\frac{1}{4}$ мк и применять рабочие и промежуточные валки разного диаметра. Рабочие валки диаметром 2 и 3 мм и промежуточные диаметром 4 и 4,4 мм изготовлены из твердого сплава марки ВК6М. Два опорных приводных валка диаметром 7,5 мм стальные. Остальные четыре — спаренные опорные валки — выполнены в виде набора прецизионных игольчатых подшипников. Все валки выполнены с высокой степенью точности. Эллипсность и конусность находятся в пределах 0,15—0,3 мк.

Приводные опорные валки своей бочкой опираются на подшипники, расположенные в расточках стоек; рабочая зона валков хорошо просматривается. Задача ленты в валки производится сбоку в щель между разведенными валками, что обеспечивает наблюдение за ходом прокатки и правильную установку ленты при задаче.

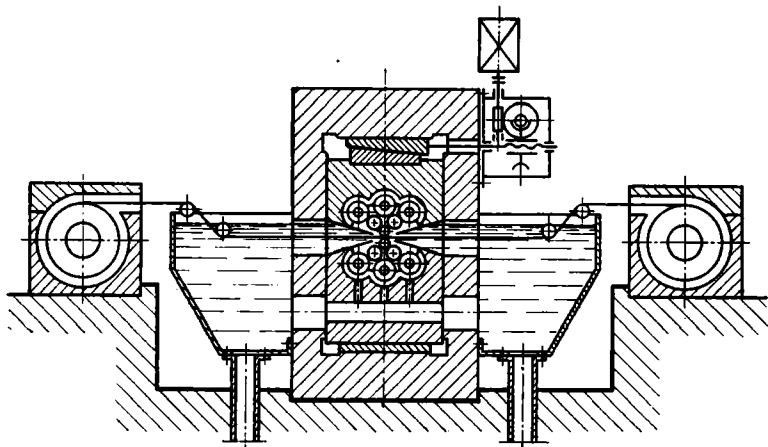
Стан снабжен двумя системами моталок. Одна из них — пневматическая — позволяет создавать усилия натяжения от 10 до 80 Г, вторая — электрическая — от двигателей постоянного тока с усилием натяжения до 350 Г.

Имеется устройство автоматической остановки стана в случае обрыва ленты при прокатке. Привод валков осуществляется от реверсивного двигателя постоянного тока мощностью 60 вт. Скорость прокатки регулируется от 0,3 до 1,0 м/мин. Лента при прокатке наматывается в рулоны на катушки шелевого типа.

12-валковый лабораторный стан Московского вечернего металлургического института. Для проведения исследовательских работ в лабораторных условиях Московским вечерним металлургическим институтом и ВНИИМЕТМАШем создана 12-валковая рабочая клеть для холодной и теплой прокатки [20].

Диаметр рабочих валков 16—20 мм, диаметр опорных подшипников 80 мм, длина бочки валков 160 мм.

Клеть (фиг. 10) имеет две прямоугольные кассеты с нажимным механизмом клинового типа. В отличие от описанной конструкции клетки с прямоугольными кассетами в данной конструк-



Фиг. 10. Схема 12-валкового лабораторного стана (МВММ)

ции регулирование зазора между валками осуществляется перемещением верхней кассеты в вертикальном направлении. Такая конструкция позволяет менять валки в широком диапазоне диаметров; кроме того, можно менять количество валков путем замены кассет, а также применять комбинированные валковые схемы.

Наличие специальных ванн по обеим сторонам рабочей клетки обеспечивает возможность прокатки ленты в расплаве щелочи NaOH или КОН при температуре 450—550° С по способу ТМО.

В результате проводимых работ на стане прокатывали ленту с высоким пределом прочности $\sigma_b = 260 \div 320 \text{ кг/мм}^2$.

36-валковый лабораторный стан ЦНИИЧМ. Для получения лент толщиной менее 0,001 мм в исследовательских целях в Институте прецизионных сплавов ЦНИИЧМ создан 36-валковый стан с диаметром рабочего валка 1,5 мм [21]. Рабочая клетка разъемная клещевого типа. Стан реверсивный. Рабочие валки неприводные; приводятся во вращение за счет сил трения от четырех приводных промежуточных валков.

В качестве мотора использован безредукторный привод от электродвигателя переменного тока с полым короткозамкнутым ротором. Благодаря малой инерционности, отсутствию коллектора и очень малому моменту холостого хода мотора обеспечивают необходимые величины и постоянство натяжения.

На стане прокатывают ленту шириной 5—10 мм из магнитомягких сплавов (79НМ и 77НМД) толщиной 0,001; 0,0008; 0,0007; 0,0005 мм. Исследования таких лент показали, что даже в толщине 0,0005 мм нарушений сплошности металла не наблюдается, магнитные свойства высокие.

Ленты, прокатанные до 0,001 мм и менее, по своим магнитным свойствам приближаются к пленкам, полученным напылением. Напыленные пленки и прокатанные ленты имеют много общего по своей физической природе, однако катаные ленты обладают высокой однородностью состава, более совершенной кристаллической структурой, меньшей коэрцитивной силой, отсутствием подложки и связанных с ней явлений.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШИХ ЛЕНТ

Прокатка лент микронных толщин имеет ряд трудностей и особенностей. Факторы, не имеющие значения при прокатке средней и даже тонкой ленты из мягких металлов и сплавов, играют существенную роль при прокатке тончайших лент из труднодеформируемых металлов и сплавов.

Основными особенностями прокатки таких лент являются необходимость применения рабочих валков малого диаметра, высокие удельные натяжения ленты, тонкое регулирование натяжения при прокатке, интенсивный отвод тепла, выделяемого в зоне деформации, исключительно тонкая фильтрация технологической смазки, способы нанесения смазки на ленту, поддержание постоянства рабочей температуры клетки, регулирование профиля валков в процессе прокатки.

Прокатка лент микронных толщин осложнена большой чувствительностью к обрывам, трудностью заправки в валки, появлением продольных складок при намотке на барабаны моталок, наличием проколов ленты, на которые влияют качество поверхности рабочих валков, качество фильтрации технологической смазки, чистота окружающего воздуха и другие факторы.

Поэтому для успешной эксплуатации таких станов и получения качественной и точной ленты большие требования предъявляются к помещениям, в которых устанавливаются станы. Нагнетательные вентиляционные системы должны обеспечивать фильтрацию воздуха от частиц величиной до 0,001 мм и менее. В связи с тем, что приборы, применяемые на станах, имеют повышенную чувствительность, для их стабильной работы необходимо поддерживать температуру воздуха в помещениях в пределах $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Вибрация фундамента оборудования стана, вызванная работой вблизи стоящих машин, должна быть исключена.

На Магнитогорском металлургическом комбинате для производства высокоточной ленты 20-валковый стан 700 конструкции ВНИИМЕТМАШа установлен в отдельном помещении с системой кондиционирования воздуха.

Одна из ведущих американских фирм по производству высокоточной тонкой полосы «Карпентер» (шт. Пенсильвания) установила 20-валковый стан Сендзимира для прокатки ленты шириной 219 мм.

Весь потолок помещения, где установлены стан и система управления с компьютером, покрыт пластиковыми панелями со специальными аэродинамическими отверстиями для подачи кондиционированного очищенного воздуха. Несмотря на то, что через систему проходит приблизительно 2000 м³/ч, перемещение воздуха внутри помещения совершенно не ощущается [22].

Учитывая предъявляемые требования высокой точности к валкам, подшипникам и другим элементам опорных валков, необходимо иметь участки для обработки и доводки валков с оборудованием, обеспечивающим обработку поверхности валков 12—14-го классов чистоты и точности геометрии до долей микрона. Кроме того, необходимо иметь участок для контроля и комплектования опорных подшипников и валков, оснащенный мерительным инструментом, специальной оснасткой и приспособлениями. Особое внимание на этих участках уделяется чистоте и стабильности температуры воздуха.

В процессе эксплуатации станов при прокатке тончайших лент очень большое внимание уделяется качеству работы систем тонкой фильтрации технологических смазок и поддержанию стабильной температуры охлаждающей жидкости и рабочей клетки.

Таблица 6

Номер про-пуска	Толщина ленты, мм	Обжатие, %	Натяже ние заднее, кг/мм ²
Нержавеющая сталь 18-8 (ширина 90 мм)			
0	0,075	—	—
1	0,037	50,7	18,0
2	0,019	48,8	52,0
3	0,010	47,4	60,0
Низкоуглеродистая сталь (0,08%С, ширина 60 мм)			
0	0,110	—	—
1	0,055	50,0	9,6
2	0,028	49,0	24,0
3	0,014	50,0	28,5
4	0,007	50,0	33,0
Нейзильбер (12% Ni, ширина 90 мм)			
0	0,100	—	—
1	0,062	38,0	6,0
2	0,040	35,5	18,5
3	0,028	30,0	21,3
4	0,020	28,6	22,2
5	0,014	30,0	22,5
6	0,010	28,6	22,5

Таблица 7

Прокатываемый материал	Степень превари- тельного обжатия, %	Ширина ленты, мм	Толщина ленты, мм		Число проходов	Среднее обжатие за проход, %
			начальная	конечная		
Медь	26,0	70	0,50	0,005	9	42
Латунь 70-30	—	100	0,50	0,160	3	32
8%-ная фосфористая бронза	15,0	100	0,18	0,008	7	48
Бериллиевая бронза	10,0	70	0,09	0,006	9	26
Константан	79,0	85	0,06	0,010	4	24
Алюминий	98,8	75	0,40	0,006	6	52
2,5% Mg—Al сплав	—	100	0,30	0,008	4	70
5,0% Mg—Al сплав	—	100	0,32	0,007	4	73
Низкоуглеродистая сталь	55,0	100	0,14	0,005	8	38
Кремниевая сталь	—	100	0,17	0,016	8	24
50/50 Fe—Ni сплав	55,0	100	0,15	0,006	20	15
Никель	75,0	100	0,09	0,010	3	52
Титан	—	100	0,25	0,006	29	18

В зависимости от типоразмера стана, толщины прокатываемой ленты, требований качества ленты, производительности, станы оснащаются циркуляционными системами, обеспечивающими очистку смазки от частиц величиной 5; 2 и менее 1 мк. Обычно применяют бумажные или земляные намывные, патронные или ленточные фильтры.

При прокатке особо тонких лент толщиной 0,001 мм и менее в качестве технологической смазки применяют тщательно отфильтрованную безвозвратную смазку, обычно высокой вязкости, например, касторовое масло.

На обрывность ленты, помимо качества ее структуры, большое влияние имеет состояние кромок исходного подката ленты. Поэтому исходный подкат ленты, который поступает со стана, оснащенного валками большего диаметра, должен иметь обязательно обрезанные, очень качественные кромки без трещин и заусенцев. Материал ленты должен иметь высокое качество структуры и постоянство механических свойств по всей ее длине и ширине.

Поверхность поступающей на стан ленты обязательно промывают или очищают каким-либо механическим способом для исключения посторонних частиц.

Существенную роль в получении качественной ленты с необходимыми свойствами играет правильность принятой технологии прокатки. Для каждого отдельного материала должны быть правильно выбраны исходная толщина, режимы обжатий, количество отжигов, профилирование валков, величины удельных натяжений.

Наиболее характерные режимы прокатки тончайших лент из различных металлов и сплавов приведены в табл. 6, 7, 8.

Таблица 8

Прокатываемый материал	Толщина ленты, мм		Число пропусков
	исходная	конечная	
Железо	0,10	0,003	14
Никель	0,10	0,003	11
Медь	0,10	0,003	6
Тантал	0,10	0,003	9
Кремнистая сталь *	0,10	0,004	9
Молибденовый пермаллой	0,10	0,003	16
50%/н-ный никелевый пермаллой **	0,08	0,003	25
Особо мягкая сталь	0,10	0,002	12
Нержавеющая сталь ***	0,20	0,004	26
Бериллиевая бронза	0,10	0,004	12

* Отжиг после двух пропусков.

** Отжиг при толщине 0,6 мм.

*** Отжиг при толщине 0,012 мм.

Для контроля сплошности материала лент (отсутствие проколов) пользуются просвечиванием отдельных образцов готовой ленты [23], а также производят контроль непосредственно в процессе прокатки с помощью подсвечивания ленты, например, на 26-валковом стане 60 ВНИИМЕТМАШа.

При прокатке ленты со скоростью, при которой визуальный контроль качества ленты затруднен, для этих целей применяют автоматический β -радиограф [24].

Такое оборудование позволяет прокатывать ленту при повышенной скорости и контролировать качество поверхности ее на большой площади.

Высокая разрешающая способность позволяет определять мельчайшие дефекты в ленте толщиной 0,0254 мм и менее.

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Современные прокатные станы представляют собой пример тесной взаимосвязи элементов конструкций, технологического процесса и автоматизированного электропривода. Поэтому создание новых производительных прокатных станов в настоящее время возможно только на основе комплексного решения вопросов технологии процесса, конструкции механизма, его электропривода и систем автоматического регулирования технологических параметров процесса прокатки.

Одним из основных вопросов при проектировании новых станов холодной прокатки является вопрос определения мощности двигателя главного привода. Ошибка в определении требуемой мощности может привести к неоправданной установке двигателя завышенной мощности, что в свою очередь вызывает увеличение мощности и габаритов преобразовательных установок для питания двигателя и занимаемой ими площади; увеличиваются размеры пускорегулирующей аппаратуры и потери энергии вследствие работы электрооборудования с пониженным из-за недогрузки к. п. д. Установка двигателя заниженной мощности приводит к уменьшению производительности стана, так как в этом случае приходится работать на пониженных скоростях прокатки или с меньшими частными обжатиями.

Обычно при определении мощности двигателя главного привода используют два метода расчета: по аналитическим формулам и по статистическим данным (по кривым удельного расхода энергии). Эти два метода взаимно дополняют и контролируют друг друга.

При расчете мощности двигателя главного привода по аналитическим формулам необходимо учитывать потери мощности в главной линии стана. Как показали исследования, проведенные ВНИИМЕТМАШем на отечественных промышленных 20-валковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты, эти потери (по-

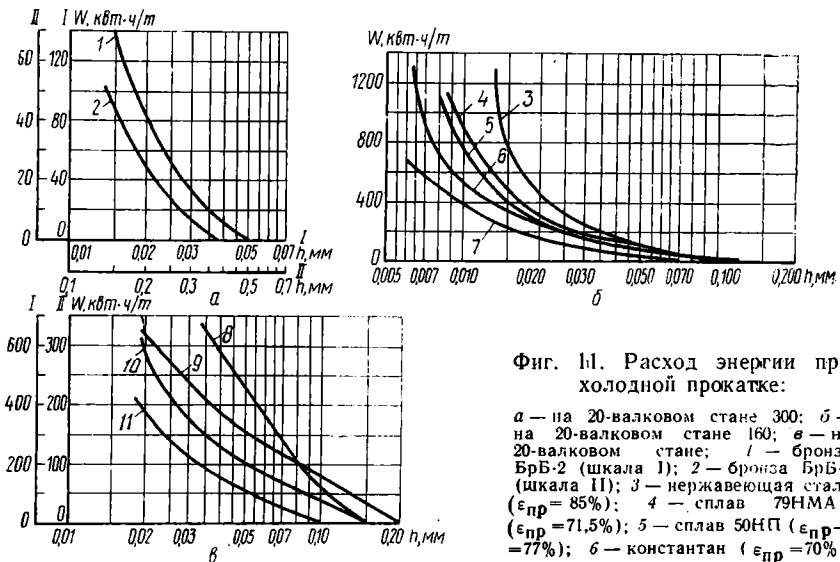
тери на трение в подшипниках опорных валков, потери в местах контактов валков и потери холостого хода) из-за большого количества опорных валков и большого числа контактирующих валков достигают значительной величины [25].

Поэтому большое практическое значение для расчета мощности двигателя главного привода имеют кривые удельного расхода энергии.

Ввиду относительной новизны процесса прокатки в рабочих валках малого диаметра на многовалковых станах вопрос расхода энергии очень плохо освещен в технической литературе.

Во ВНИИМЕТМаше был проведен ряд экспериментов по определению расхода энергии при холодной прокатке ленты из различных материалов на отечественных 20-валковых станах 60, 160 и 300. Некоторые из полученных кривых приведены на фиг. 11. В кривые расхода энергии включены потери энергии в рабочей клетке, а также нагрузочные потери в шестеренной клетке стана. При пользовании этими кривыми расхода энергии следует учитывать и предварительное обжатие, которое имела лента перед прокаткой на 20-валковом стане 160.

Интересные результаты при сравнении расхода энергии при холодной прокатке ленты из низкоуглеродистой и высокоуглеродистой марок стали на 4-валковых и многовалковых станах были получены немецкими исследователями [26]. Схемы, а также сило-



Фиг. 11. Расход энергии при холодной прокатке:

a — на 20-валковом стане 300; *б* — на 20-валковом стане 160; *в* — на 20-валковом стане; 1 — бронза БрБ-2 (шкала I); 2 — бронза БрБ-2 (шкала II); 3 — нержавеющая сталь ($\epsilon_{пр} = 85\%$); 4 — сплав 79НМА ($\epsilon_{пр} = 71,5\%$); 5 — сплав 50НП ($\epsilon_{пр} = 77\%$); 6 — константан ($\epsilon_{пр} = 70\%$); 7 — константан ($\epsilon_{пр} = 0\%$); 8 — титан (шкала I); 9 — цирконий; 10 — ни- хром; 11 — тантал

Таблица 9

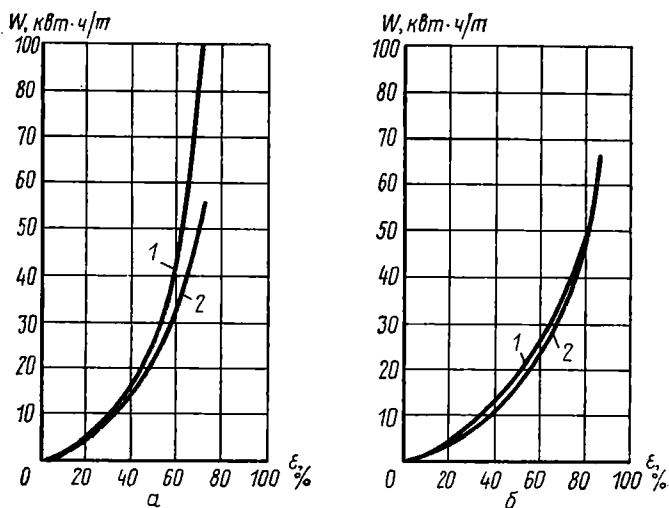
Номер про-пуска	Толщина ленты, мм		Обжатие, %	Ширина ленты, мм	Скорость прокатки, м/сек	Многовалковый стан ($d_p=10$ мм)		4-валковый стан ($d_p=80$ мм)	
	до пропуска	после пропуска				Давление на валки, т	Мощность привода клетки, кВт	Давление на валки, т	Мощность привода клетки, кВт
1	0,50	0,35	30,0	100	1,34	5,85	10,0	21,3	12,3
2	0,35	0,26	25,7	100	1,34	5,29	11,1	20,9	14,3
3	0,26	0,20	23,1	100	1,34	5,38	9,8	28,1	14,7
4	0,20	0,16	20,0	100	1,67	5,00	9,8	29,3	19,3
5	0,16	0,14	12,5	100	2,30	3,85	8,8	27,5	19,8

Примечание. Сталь с содержанием 0,8% С; 0,3% Si; 0,4% Mn.

Таблица 10

Номер про-пуска	Толщина ленты, мм		Обжатие, %	Ширина ленты, мм	Скорость прокатки, м/сек	Многовалковый стан ($d_p=30$ мм)		4-валковый стан ($d_p=130$ мм)	
	до пропуска	после пропуска				Давление на валки, т	Мощность привода клетки, кВт	Давление на валки, т	Мощность привода клетки, кВт
1	2,00	1,20	40,0	250	1,00	47,0	96,0	95,0	105,0
2	1,20	0,78	35,0	250	1,17	41,3	86,0	86,0	88,0
3	0,78	0,53	32,1	250	1,34	33,7	66,3	77,2	62,0
4	0,53	0,38	28,4	250	1,67	28,0	57,5	60,5	58,0
5	0,38	0,28	26,3	250	2,00	23,9	56,0	58,8	56,8

Примечание. Сталь с содержанием 0,08% С; 0,06% Si; 0,36% Mn.



Фиг. 12. Расход энергии при холодной прокатке:
 а — высокоуглеродистая сталь; б — низкоуглеродистая сталь; 1 —
 4-валковый стан; 2 — многовалковый стан

вые и энергетические показатели процесса прокатки лент приведены в табл. 9 и 10. Чтобы исключить влияние потерь в намоточных устройствах на величину расхода энергии, прокатка лент на соответствующих станах проводилась с одинаковыми натяжениями.

Расход энергии при прокатке лент из указанных марок стали (см. табл. 9, 10) в виде зависимости удельного расхода энергии от степени деформации лент приведен на фиг. 12.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что, несмотря на значительную разницу в величинах диаметров рабочих валков многовалкового ($d_p=30$ мм) и 4-валкового ($d_p=130$ мм) станков, расход энергии на прокатку ленты из низкоуглеродистой стали на этих станах одинаков. В то же время наблюдается значительное превышение расхода энергии на 4-валковом стане ($d_p=80$ мм) над расходом энергии на многовалковом стане ($d_p=10$ мм) при прокатке ленты из высокоуглеродистой стали. Причем с увеличением степени деформации ленты разница в расходе энергии на прокатку также увеличивается. Так, если при обжатии ленты на 30% расход энергии на 4-валковом стане превышал расход энергии на многовалковом стане примерно на 27%, то при обжатии ленты на 70% разница в расходе энергии составляет 50%.

Ближкие результаты при сравнении расхода энергии на прокатку ленты из низкоуглеродистой стали и материалов с более высокими прочностными характеристиками на многовалковых и 4-валковых станах холодной прокатки с рабочими валками, зна-

чительно отличающимися по диаметру, были получены в Советском Союзе и Японии [27].

Данные, полученные при расчетах по аналитическим формулам и кривым удельного расхода энергии, обычно сравниваются с величинами мощностей двигателей эксплуатирующихся многовалковых станов. Анализ удельных мощностей приводных двигателей валков зарубежных многовалковых станов, т. е. установленная мощность двигателей валков, отнесенная к ширине ленты 100 мм и скорости прокатки 1,0 м/сек, показывает, что последние изменяются в пределах от 8 до 15 квт/0,1 м/м/сек. Такой широкий диапазон изменения удельной мощности привода валков можно объяснить как различными конструктивными особенностями и параметрами многовалковых станов (диаметры рабочих валков, конструктивное исполнение опорных валков и других элементов), особенностями технологии прокатки (величины натяжений, обжатий, давлений, скорости прокатки, смазки и пр.), так и параметрами прокатываемой ленты (прочностные характеристики, исходная и конечная толщина, ширина).

ЭЛЕКТРОПРИВОД ВАЛКОВ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

Необходимость регулирования скорости прокатки в широком диапазоне обусловила применение для привода валков многовалковых станов холодной прокатки тончайшей ленты электродвигателей постоянного тока.

Питание двигателей валков эксплуатируемых многовалковых станов осуществляется как от общего, так и от индивидуальных источников. В качестве индивидуальных источников используются вращающиеся (генераторы постоянного тока) и статические (управляемые ртутные выпрямители, тиристорные) преобразователи. В зависимости от конкретных условий работы стана применяются различные схемы соединения статических преобразователей. Обычно при прокатке тончайшей ленты темпы ускорения и замедления станом невелики, и большинство многовалковых станом не требует реверса якорного тока приводного двигателя валков в течение одного пропуса. Это позволило на ряде отечественных и зарубежных реверсивных многовалковых станом применить для питания приводных двигателей валков нереверсивные преобразователи. Так, приводной двигатель валков ряда отечественных 20-валковых станом 60 и 160 управляется от нереверсивного силового магнитного усилителя промышленной частоты. Для управления двигателем валков отечественных 20-валковых станом 160 и 300 последних модификаций используются нереверсивные тиристорные преобразователи. Приводные двигатели валков некоторых зарубежных многовалковых станом имеют управление от статических преобразователей, собранных по реверсивной несимметричной схеме.

Реверс скорости вращения приводных двигателей валков для изменения направления прокатки при применении подобных схем питания осуществляется при остановленном стане (при запертых преобразователях) изменением полярности питания обмотки возбуждения двигателя.

Отличительной особенностью систем управления скоростью вращения приводных двигателей валков многовалковых станов для холодной прокатки тончайшей ленты является регулирование скорости вращения во всем диапазоне скоростей прокатки при постоянстве момента двигателя.

На некоторых станах используют двухзонное регулирование скорости вращения двигателя валков, применяя схему с зависимым ослаблением поля двигателя.

Скорость вращения двигателя валков многовалковых станов для холодной прокатки тончайшей ленты обычно поддерживается с высокой точностью. Так, на 20-валковом стане конструкции Рона с диаметром рабочих валков 5,5—8,5 мм, установленном в ФРГ [28], скорость вращения двигателя валков в диапазоне 34—1700 *об/мин* за счет введения отрицательной обратной связи по скорости вращения двигателя поддерживается с точностью $\pm 1,0\%$.

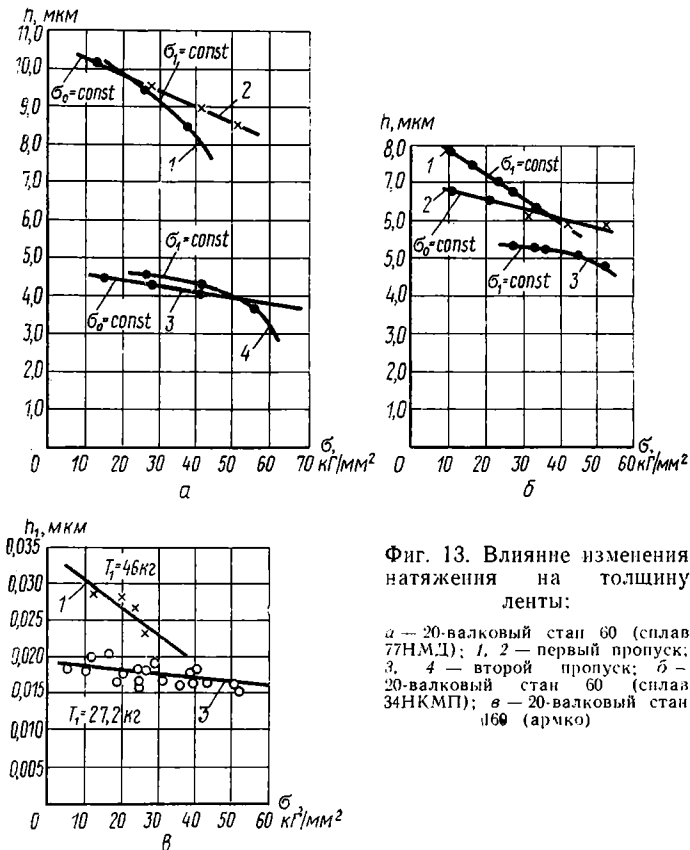
Следует также отметить выполнение привода валков 20-валкового стана для холодной прокатки тончайшей ленты, разработанного фирмой «Есида Кинен» (Япония) [10]. Стан имеет рабочие валки диаметром 6,5—8,5 мм. Привод промежуточных валков стана осуществлен от асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 11 квт через электромагнитную муфту скольжения. Скорость вращения валков плавно регулируется в диапазоне 120—1200 *об/мин*.

ЭЛЕКТРОПРИВОД МОТАЛОК

Одним из основных параметров процесса холодной прокатки тончайшей ленты является натяжение, от которого в значительной степени зависит разнотолщинность, качество поверхности и однородность свойств готовой продукции.

Возможность прокатки на многовалковых станах материалов с различными прочностными характеристиками, значительным диапазоном толщины (отношение начальной исходной толщины ленты к конечной достигает величины 1:50) и ширины (1:2) прокатываемой ленты обуславливает необходимость создания на этих станах широкого диапазона натяжений. В большинстве случаев требуемый диапазон уставок натяжения ленты превышает 1:50.

Наряду с этим условия деформации ленты в рабочих валках малого диаметра требуют высоких удельных натяжений, заданные значения которых должны поддерживаться постоянными с большей точностью, чем на станах других конструкций, во всех



Фиг. 13. Влияние изменения натяжения на толщину ленты:

a — 20-валковый стан 60 (сплав 77НМД); 1, 2 — первый пропуск; 3, 4 — второй пропуск; $б$ — 20-валковый стан 60 (сплав 34НКМП); $в$ — 20-валковый стан 160 (армко)

режимах работы стана: на установившейся скорости прокатки, в процессе ускорения и замедления стана.

На фиг. 13 приведены зависимости влияния изменения натяжения ленты на ее толщину, полученные на отечественных 20-валковых станах 60 и 160. Анализ этих зависимостей показывает, что наибольшее влияние на толщину прокатываемой ленты оказывает изменение заднего натяжения ленты в первом пропуске. По мере упрочнения ленты в последующих пропусках влияние изменения натяжения ленты на ее толщину несколько уменьшается.

Особо резкие изменения толщины ленты в зависимости от изменения натяжения происходят при прокатке ленты с натяжениями, близкими к пределу текучести прокатываемого материала.

В процессе проведения экспериментов на указанных станах было также отмечено, что изменение переднего натяжения ленты оказывает существенное влияние на качество поверхности готовой продукции.

Перечисленные выше особенности прокатки тончайших лент на многовалковых станах предъявляют специфические требова-

ния к системам электропривода моталок и системам автоматического регулирования натяжения (САРН).

В ряде случаев для расширения диапазона уставок натяжения электропривод моталок выполняется от двух двигателей различной мощности. При прокатке толстой или широкой ленты натяжение создается с помощью двигателя большей мощности. При прокатке тонкой или узкой ленты в конечных пропусках двигатель большей мощности отсоединяется от входного вала редуктора моталки и отключается электрически, и натяжение ленты создается двигателем меньшей мощности.

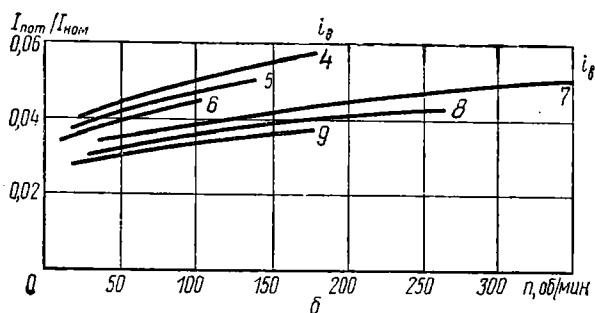
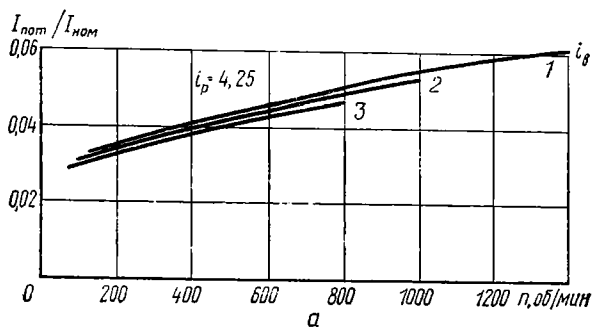
Такая компоновка электропривода моталки позволяет снизить динамический момент привода механизма моталки при ускорениях и замедлениях стана, который при малых уставках натяжения может быть соизмерим с моментом натяжения, а также несколько уменьшить влияние потерь в приводе моталки на точность поддержания заданного натяжения. Следует, однако, отметить, что при приводе барабана моталки от двигателя меньшей мощности через редуктор, рассчитанный на передачу момента двигателя большей мощности, относительные потери мощности все же являются значительными и без специальных мер для компенсации потерь значительного расширения диапазона уставок натяжения при косвенном способе регулирования последнего получить не удастся.

С целью расширения диапазона регулирования натяжения ленты на некоторых многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты используют однодвигательный привод барабана моталки через редуктор с изменяемым передаточным числом.

На фиг. 14 приведены зависимости тока потерь холостого хода в приводе моталки отечественного реверсивного 20-валкового стана 160. Привод моталки стана осуществлен от двигателя постоянного тока типа П-52 мощностью 10 квт, напряжением 220 в и скоростью вращения 750/1500 об/мин через редуктор с изменяемым передаточным числом 1:4,25; 1:1 и 2:1. Ток потерь холостого хода при различных токах возбуждения двигателя во всем диапазоне скоростей вращения не превышает 6%. С допустимой степенью точности на каждой ступени редуктора при косвенной системе регулирования двигатель моталки может обеспечить следующие диапазоны натяжения: I ступень (1:4,25) — $350 \div 70$ кг, II ступень (1:1) — $80 \div 20$ кг и III ступень (2:1) — $40 \div 10$ кг. Привод моталок многовалковых станов для холодной прокатки тончайшей ленты осуществляется от регулируемых двигателей постоянного тока.

Питание приводных двигателей моталок эксплуатируемых станов производится как от вращающихся (генераторы, электромашинные усилители), так и от статических (управляемые ртутные, тиристорные) преобразователей.

В связи с тем, что процесс прокатки тончайших лент занимает длительное время, на этих станах обычно принимается не-



Фиг. 14. Графическая зависимость потерь холостого хода в приводе моталки 20-валкового стана 160 при $i_p=4,25$ (а) и при $i_p=0,5$ и $i_p=1,0$ (б):

- 1 — $i_p=4,25$, $i_b=1$ а; 2 — $i_p=4,25$, $i_b=1,5$ а; 3 — $i_p=4,25$, $i_b=2$ а;
 4 — $i_p=0,5$, $i_b=1$ а; 5 — $i_p=0,5$, $i_b=1,5$ а; 6 — $i_p=0,5$, $i_b=2$ а;
 7 — $i_p=1$, $i_b=1$ а; 8 — $i_p=1$, $i_b=1,5$ а; 9 — $i_p=1$, $i_b=2$ а

высокий темп ускорения и замедления стана, который не оказывает существенного влияния на производительность стана. Принятые невысокие темпы ускорения и замедления стана приводят к тому, что ток якоря приводного двигателя моталки в этих режимах работы не изменяет своего направления. Это позволяет применить на ряде многовалковых станов для питания приводного двигателя моталки нереверсивные или в некоторых случаях реверсивные несимметричные статические преобразователи.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ

На современных многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты получили распространение два способа регулирования натяжения: в функции регулирования косвенных параметров, определяющих натяжение ленты, и в функции непосредственно измеренного натяжения.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ ПО КОСВЕННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Жесткие допуски по толщине и однородности свойств тончайших лент, малые абсолютные величины натяжений, необходимые при прокатке тончайших лент толщиной 0,0015—0,0020 мм, а также возможность прокатки лент в широком диапазоне толщины, ширины и прочностных характеристик обуславливают необходимость обеспечения уставок натяжения в пределах 1:35 и выше. Причем заданное натяжение ленты должно поддерживаться постоянным с заданной степенью точности, определяемой технологическими особенностями процесса прокатки.

Для отечественных 20-валковых станков 60 были разработаны и внедрены два варианта электропривода моталок.

По первому варианту привод выполнен по схеме: двигатель — редуктор — барабан моталки. В связи с незначительным изменением диаметра рулона в процессе прокатки и большим временем прокатки рулона в каждом пропуске регулирование натяжения ленты осуществляется в функции постоянства тока в якорной цепи двигателя. Регулятора э. д. с. двигателя на стане нет. Для обеспечения требуемого диапазона изменения уставок натяжения на моталках стана предусмотрены сменные барабаны различных диаметров и ступенчатое изменение тока возбуждения двигателя.

Анализ работы стана показывает, что при разгоне и торможении наличие потерь в приводе моталки вызывает значительное изменение натяжения ленты. Кроме того, при работе на малых скоростях с небольшими натяжениями у двигателей малой мощности, имеющих небольшое число пазов якоря и коллекторных пластин, становятся заметными зубцовые и коллекторные колебания момента двигателя моталки.

По второму варианту привод барабанов моталок 20-валкового стана 60 был выполнен от двигателя постоянного тока через бесконтактную электромагнитную порошковую муфту типа МПБ-63-2.

Входной вал муфты вращается от двигателя через редуктор с передаточным отношением i_1 , которое необходимо для согла-

Техническая характеристика муфты типа МПБ-63-2

Номинальный момент, кгс.м	63
Остаточный момент, кгс.м	6
Допустимая мощность скольжения, вт	180
Ток в обмотке управления при напряжении 24 в, а	0,22
Время нарастания скорости вращения выходного вала от 0 до 90% скорости вращения ведущего вала при моменте статической нагрузки, соответствующем остаточному моменту муфты, сек	0,08
Время нарастания момента до 63% максимальной величины, сек	0,30
Скорость вращения ведущего вала, об/мин	2000

сования скоростей вращения двигателя и входного вала муфты. Выходной вал муфты связан с барабаном моталки посредством редуктора с передаточным отношением i_2 . Этот редуктор необходим для согласования номинального момента муфты с требуемым моментом натяжения ленты. Применения редуктора с передаточным отношением i_2 можно было бы избежать при наличии в промышленности достаточного сортамента муфт. Однако даже при таком исполнении привода его преимущества по сравнению с первым вариантом ощутимы.

Момент на выходном валу муфты не зависит от скорости вращения выходного вала и определяется током управления муфты. Изменение уставки натяжения ленты осуществляется изменением тока обмотки управления муфты, величина которого в процессе работы стана поддерживается постоянной с помощью регулятора тока.

Опыт длительной промышленной эксплуатации и экспериментальные исследования подтвердили, что применение электромагнитных порошковых муфт в приводах моталок позволяет расширить диапазон регулирования натяжения до 1:50, обеспечивает плавный пуск и торможение моталок, а также поддержание натяжения ленты (при малых изменениях диаметра рулона) во всех режимах работы стана с точностью $\pm 5\%$. При установке между выходным валом муфты и барабаном моталки редуктора с переключением передаточного отношения диапазон регулирования натяжения ленты можно значительно расширить при сохранении качества регулирования. Применение электромагнитных порошковых муфт позволяет значительно упростить схему управления приводом моталки и повысить надежность ее работы.

Привод моталок отечественного 26-валкового стана 60 выполнен по аналогичной схеме через бесконтактные электромагнитные порошковые муфты типа МПБ-10-2 с номинальным моментом 10 кгсм.

На многовалковых станах со значительным изменением диаметра рулона на моталке регулирование натяжения основано на регулировании косвенных параметров, определяющих натяжение ленты:

$$T = k_1 I \frac{E}{v} = k_2 I \frac{\Phi}{D},$$

где I, E, Φ — ток якоря, э. д. с. и поток возбуждения двигателя моталки;

v — скорость прокатки ленты;

D — диаметр рулона;

k_1, k_2 — коэффициенты пропорциональности.

Таким образом, регулятор натяжения ленты, работающий в функции косвенных параметров, в наиболее распространенных схемах регулирования состоит из двух регуляторов: регулятора

тока, поддерживающего постоянство якорного тока воздействием на напряжение двигателя, и регулятора, поддерживающего постоянство отношения э. д. с. двигателя моталки к скорости прокатки ленты или постоянство отношения потока возбуждения двигателя к диаметру рулона воздействием на поле возбуждения двигателя моталки.

При таком способе регулирования натяжения ленты диапазон регулирования скорости вращения двигателя потоком возбуждения выбирается равным диапазону изменения диаметра рулона.

Регулятор тока воздействует на напряжение преобразователя, питающего двигатель моталки. Помимо задания и отрицательной обратной связи по току якоря, в регулятор тока вводится еще ряд дополнительных сигналов, которые увеличивают точность работы регулятора натяжения в установившемся режиме прокатки и в периоды ускорения и замедления стана. К этим сигналам относятся сигнал компенсации динамической составляющей тока двигателя моталки при ускорениях и замедлениях стана, сигнал скорости прокатки, увеличивающий статическую точность регулятора тока.

Регулятор э. д. с. двигателя моталки является одной из основных частей регулятора натяжения, от работы которого в значительной степени зависит точность поддержания постоянства натяжения ленты.

Наибольшее распространение в регуляторах натяжения ленты получил астатический регулятор э. д. с., в котором на вход узла сравнения поступают два сигнала, один из которых пропорционален линейной скорости ленты на моталке, а другой — э. д. с. двигателя моталки. Разность этих сигналов поступает на вход интегрирующего устройства. Сигнал с выхода последнего поступает на вход усилителя, питающего обмотку возбуждения двигателя моталки.

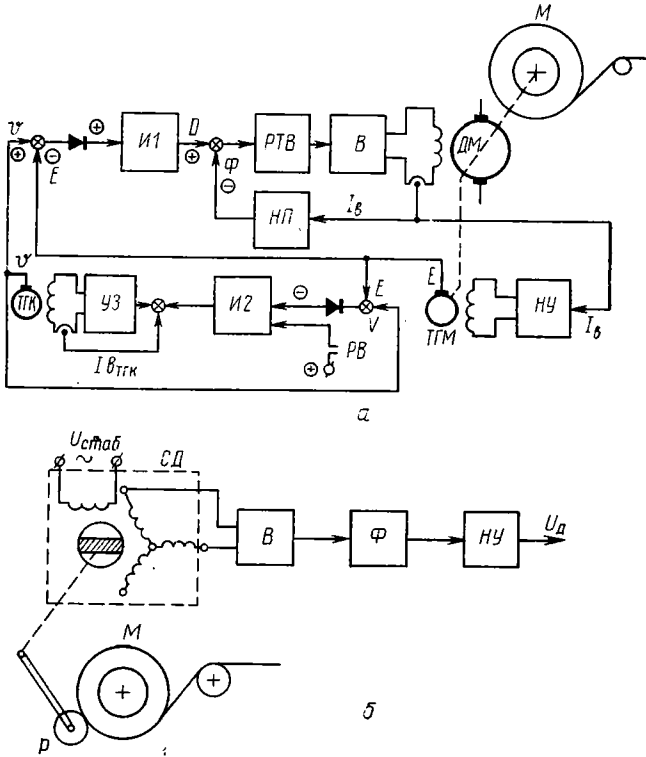
В практике конструирования регуляторов натяжения ленты имеется несколько решений выполнения регуляторов э. д. с. двигателей моталок.

Существенным источником погрешности регулятора э. д. с. является датчик э. д. с. двигателя моталки.

Во ВНИИМЕТМАШе был разработан применительно к многовалковым станам для прокатки тончайшей ленты ряд регуляторов э. д. с. и измерителей диаметра рулона.

Блок-схема регулятора э. д. с. с тахометрической схемой измерения э. д. с. двигателя моталки приведена на фиг. 15, а [29].

Контур регулирования потока возбуждения двигателя моталки включает в себя регулятор тока возбуждения РТВ, возбудитель *В*, питающий обмотку возбуждения двигателя моталки *ДМ*, и нелинейный преобразователь *НП* в цепи обратной связи, который вычисляет величину потока по измеренному значению тока возбуждения. Сигнал уставки потока возбуждения двигателя подается с выхода интегрирующего устройства *И1*. На вход инте-



Фиг. 15. Электрическая схема регулятора э. д. с. двигателя моталки:

а — с тахометрическим измерителем э. д. с.; б — с сельсинным измерителем диаметра рулона

регулятора поступает разность двух сигналов, один из которых пропорционален скорости полосы v , а другой — э. д. с. двигателя моталки E . При равновесии схемы соблюдается условие $E/v = \text{const}$.

Э. д. с. двигателя моталки измеряется тахогенератором $ТГМ$, вал которого соединен с валом двигателя, а поток возбуждения изменяется пропорционально потоку возбуждения двигателя моталки при помощи нелинейного усилителя $НУ$ по измеренному значению тока возбуждения I_b .

Линейная скорость ленты измеряется с помощью тахогенератора клетки $ТГК$. В разматывающем режиме поток возбуждения тахогенератора $ТГК$ корректируется с помощью узла компенсации обжатия. Так как при намотке тончайшей ленты диаметр рулона изменяется медленно, в качестве возбудителя $В$ применен трехфазный силовой магнитный усилитель промышленной частоты.

В качестве интеграторов $И1$ и $И2$ используется сельсинный

задатчик, включающий сельсин-датчик, работающий в трансформаторном режиме, вал которого поворачивается через редуктор серводвигателем. Обмотка управления серводвигателя получает питание от усилителя рассогласования.

Рассмотренный регулятор э. д. с. двигателя моталки был внедрен на ряде 20-валковых станков 160 и 300. Результаты эксплуатации показали, что данный регулятор поддерживает требуемое постоянство отношения E/v с точностью до 5%.

На ряде многовалковых станков для прокатки тончайшей ленты по требованию технологии на моталках устанавливают прижимные ролики, улучшающие качество намотки ленты на барабан моталки и предотвращающие образование продольных складок, появление которых приводит к порче готовой продукции.

Установка прижимных роликов позволяет непосредственно измерить величину диаметра рулона по углу отклонения поддерживающего ролик рычага.

Во ВНИИМЕТМАШе разработан сельсинный измеритель диаметра рулона, который обладает большой надежностью и позволяет значительно упростить схему управления моталкой реверсивного стана при сохранении, а в ряде случаев при повышении точности регулирования.

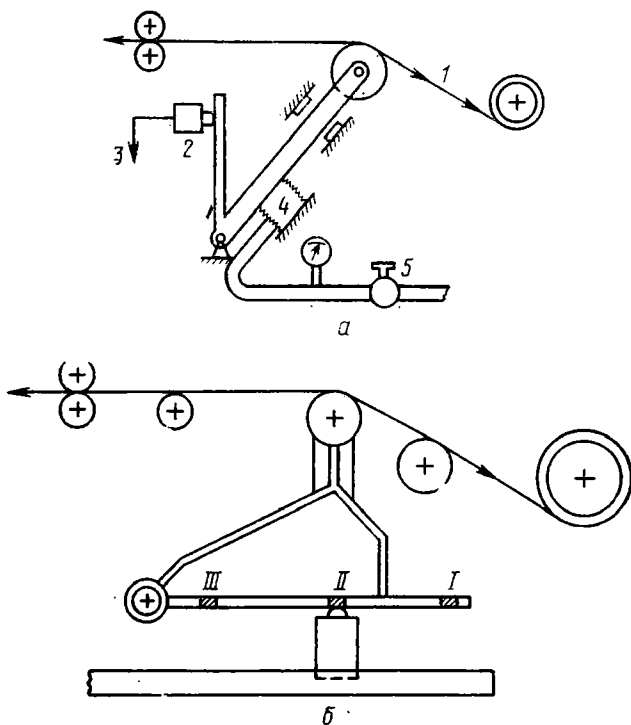
Блок-схема сельсинного измерителя диаметра рулона представлена на фиг. 15, б. Измеритель содержит сельсин-датчик $СД$, работающий в трансформаторном режиме, вал которого соединен с валом поворота рычага прижимного ролика, выпрямитель $В$, фильтр Φ и нелинейный усилитель $НУ$. Характеристика вход — выход усилителя $НУ$ выбирается из условия компенсации нелинейностей измерительного механизма и характеристики сельсин-датчика, так чтобы выходное напряжение U_d было пропорционально величине диаметра рулона. Для поддержания натяжения в функции измеренной величины диаметра рулона регулируется поток возбуждения приводного двигателя моталки или изменяется уставка регулятора тока.

Результаты эксплуатации подтвердили высокую надежность измерителя и его достаточную точность.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ В ФУНКЦИИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ

Для расширения диапазона применяемых уставок натяжения и увеличения точности поддержания постоянства заданного натяжения ленты широкое применение на многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты нашли системы автоматического регулирования натяжения в функции непосредственного измерения.

Системы прямого регулирования натяжения ленты, получившие распространение в промышленности, можно разделить на



Фиг. 16. Схемы измерителей натяжения ленты:
 а -- схема позиционного измерителя натяжения ленты; б -- схема измерителя натяжения с изменением плеча приложения силы к датчику

две основные группы. К первой группе относятся так называемые позиционные, в которых натяжение ленты поддерживается петледержателем. При этом скорость приводного двигателя моталки регулируется следящей системой для поддержания постоянства петли ленты.

Ко второй группе относятся регуляторы натяжения, оснащенные измерителями натяжения ленты и осуществляющие регулирование натяжения по замкнутому контуру.

Позиционные регуляторы натяжения. Позиционные регуляторы натяжения ленты нашли применение на зарубежных многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты с приводными двигателями моталок мощностью до 44 квт и скоростью прокатки до 2,5 м/сек.

Принцип работы такой системы показан на фиг. 16, а. Рычаг петледержателя находится в равновесии под действием двух моментов, один из которых создается давлением воздуха 4, а другой — натяжением ленты 1. При отклонениях рычага от нейтрального положения чувствительный элемент 2 выдает сигнал 3

в регулятор скорости приводного двигателя моталки, который возвращает рычаг в нейтральное положение. Натяжение ленты при этом пропорционально воздушному давлению, которое регулируется вентилем 5.

Подобные системы регулирования натяжения ленты успешно применяются на многих зарубежных многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты с диапазоном натяжений более чем 1:40. Эти станы имеют относительно большие времена ускорения и замедления.

Примером стана с позиционным регулятором натяжения может служить 20-валковый стан типа ZR32-4, установленный фирмой «Арнольд инжиниринг» (США) [30]. Стан имеет рабочие валки диаметром 6,35 мм и предназначен для холодной прокатки ленты из магнитных сплавов, кремнистой (с содержанием 3,3% Si), нержавеющей марок стали и цветных металлов максимальной шириной 100 мм с начальной толщины 0,254 до конечной 0,005 мм. Максимальная скорость прокатки на стане равна 1,52 м/сек. Привод валков стана — от двигателя постоянного тока мощностью 5,5 квт, привод каждой моталки — от двигателя постоянного тока мощностью 2,2 квт. Питание приводных двигателей валков и моталок производится от общего генератора с бустерами в якорных цепях двигателей моталок.

Применение позиционных регуляторов для регулирования натяжения ленты на стане позволяет при однодвигательном приводе моталки обеспечить диапазон регулирования натяжения 4,5—180 кг (1:40).

Аналогичные регуляторы натяжения ленты нашли также применение на ряде 20-валковых станов Сендзимира типа ZR34-10. Один из таких станов установлен фирмой «Империэл метал индастриз» (Англия) [31]. Стан имеет рабочие валки диаметром 10 мм и предназначен для холодной прокатки ленты из тантала, циркония, титана, а также из латуни, бериллиевой бронзы и других материалов максимальной шириной 254 мм и конечной толщиной 0,010 мм (в стальных рабочих валках) и 0,0075 мм (в твердосплавных рабочих валках). Максимальная скорость прокатки на стане 1,52 м/сек.

Привод валков стана осуществляется от двигателя постоянного тока мощностью 59 квт, скоростью вращения 666 об/мин, напряжением 250 в. Привод каждой моталки для расширения диапазона натяжений выполнен от двух двигателей постоянного тока различной мощности: 44 и 5,5 квт, скоростью вращения 1800 об/мин, напряжением 400 в. Двигатели соединены с двумя входными валами редуктора моталки, причем двигатель большей мощности соединен с входным валом редуктора через рассоединяемую муфту.

Питание приводных двигателей валков и моталок производится от общего генератора. Сигнал от позиционного регулятора натяжения подается к бустер-генераторам, якорные цепи которых

соединены последовательно с якорными цепями двигателей моталок.

Для того, чтобы поддержать точность регулирования в пределах $\pm 2\%$ во всем диапазоне прокатываемых толщин, полный диапазон требуемых натяжений ленты 1:80 разбит на две части. Диапазон высоких натяжений 1810—227 кг (1:8) обеспечивается двигателем мощностью 44 квт, диапазон натяжений 227—22,7 кг (1:10) — двигателем мощностью 5,5 квт. При создании малых натяжений ленты двигатель мощностью 44 квт отсоединяется от входного вала редуктора моталки.

Регуляторы, содержащие замкнутый контур регулирования натяжения. Регуляторы натяжения ленты в функции непосредственного измерения регулируемого параметра применяются на реверсивных многовалковых станах холодной прокатки тончайшей ленты, где требуется широкий диапазон натяжений и высокая точность поддержания заданного натяжения.

Для непосредственного измерения натяжения ленты используются измерители натяжения с тензорезисторными или магнито-стрикционными мессдозами.

Примером регулятора натяжения в функции непосредственного измерения, который обеспечивает широкий диапазон регулирования уставок натяжения (1:61,5) при однодвигательном приводе моталки, может служить регулятор, примененный на 20-валковом стане холодной прокатки конструкции Рона, установленном в цехе Токуяма завода Сунами фирмы «Ниссин Сэйко» (Япония). Стан предназначен для прокатки ленты максимальной шириной 200 мм из углеродистых, легированных инструментальных и конструкционных марок стали с толщины 1,5 до 0,025 мм. Максимальный наружный диаметр рулона 800 мм, максимальный вес рулона 400 кг, максимальная скорость прокатки 3,3 м/сек. Натяжение ленты 65—4000 кг [32].

Привод валков стана производится от двигателя постоянного тока мощностью 130 квт, скоростью вращения 600/1200 об/мин, напряжением 600 в; привод каждой моталки — от двигателя постоянного тока мощностью 90 квт, скоростью вращения 520/1040 об/мин, напряжением 570 в, который соединен с валом барабана моталки через трехскоростной редуктор с гидравлическим переключением.

Питание приводных двигателей валков и моталок производится от индивидуальных управляемых вентильных преобразователей.

Для измерения натяжения ленты применены трехроликовые, трехдиапазонные измерители натяжения, упрощенная схема которых приведена на фиг. 16, б. Переключение диапазонов измерения натяжения ленты осуществляется изменением точки опоры рамы на мессдозу. Измеритель обеспечивает измерение натяжения ленты в трех диапазонах: I — 700÷4000 II — 370÷2600 кг III — 65÷650 кг.

Применение трехдиапазонного датчика натяжения ленты, а

также редуктора моталки с переключаемым передаточным отношением позволяет обеспечить точное регулирование натяжения ленты при однодвигательном приводе моталки в широком диапазоне (1:61,5).

Блок-схема регулятора натяжения ленты приведена на фиг. 17, а.

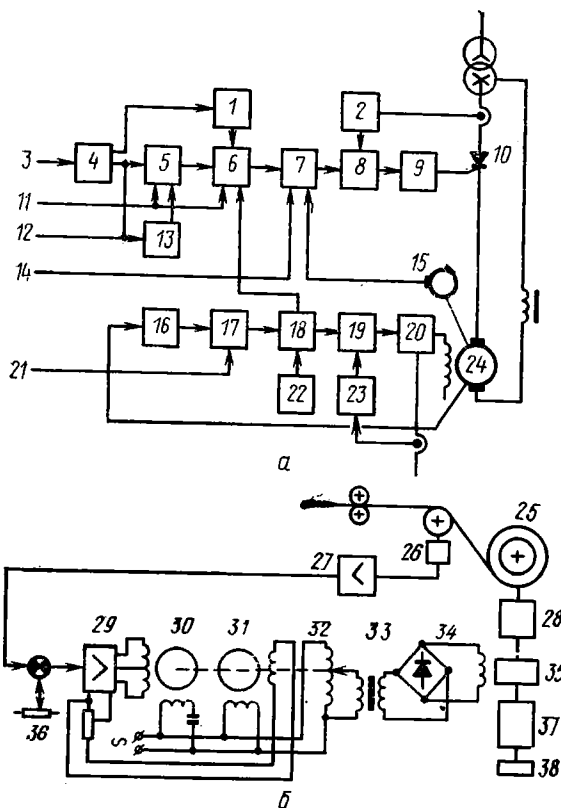
Регулятор натяжения в функции непосредственного измерения построен по принципу подчиненного регулирования и содержит три соподчиненных контура: регулятор тока, регулятор скорости и регулятор натяжения.

Регулятор тока 8 получает задание на уставку тока якоря от регулятора скорости 7 и сравнивает его с действительным значением тока якоря, получаемого с помощью датчика тока 2. Регулятор тока воздействует на систему управления 9 вентиляльным преобразователем 10, который питает якорь двигателя 24 моталки. Регулятор скорости 7 получает задание на уставку скорости от блока ограничения 6. В этот же регулятор вводятся значения действительных величин скорости прокатки 14 от тахогенератора клетки и скорости вращения двигателя моталки — от тахогенератора 15. В блок ограничения 6, помимо сигнала от регулятора натяжения 5, вводятся сигналы заданной величины уставки натяжения 11, темпа изменения величины действительного натяжения через блок 1 и величины потока возбуждения двигателя от регулятора потока 18.

Регулятор натяжения 5 получает задание на уставку натяжения от датчика натяжения 11. Сюда же поступает сигнал действительной величины натяжения ленты от датчика натяжения 3 через усилитель 4. Контроль натяжения осуществляется с помощью реле 13 и указательного прибора 12.

В схеме предусмотрен также регулятор э. д. с. двигателя моталки, который также построен по принципу подчиненного регулирования и состоит из трех соподчиненных регуляторов: регулятора тока возбуждения 19, воздействующего на усилитель 20, питающий обмотку возбуждения двигателя (измерение действительной величины тока возбуждения двигателя производится с помощью датчика тока 23); регулятора потока 18 и регулятора э. д. с. 17. В регулятор э. д. с. 17 вводятся сигналы от датчика э. д. с. 16 и от регулятора компенсации обжатия 21; в регулятор потока 18, помимо задания от регулятора э. д. с. 17, вводится также сигнал от регулятора ускорения 22.

Аналогичную схему измерения натяжения ленты имеет 20-валковый стан, установленный в ФРГ для прокатки тантала, ниобия, молибдена и циркония. Стан имеет рабочие валки диаметром 5,5—8,5 мм, максимальная скорость прокатки на стане 0,83 м/сек. Привод валков стана осуществляется от двигателя постоянного тока мощностью 6,3 квт, скоростью вращения 1600 об/мин; привод каждой моталки — от двигателя постоянного тока мощностью 4,15 квт, скоростью вращения 550 об/мин. Приводные двигатели



Фиг. 17. Схемы автоматического регулирования натяжения ленты:

a — подчиненное регулирование с непосредственным измерением натяжения; *б* — с непосредственным измерением натяжения при приводе моталки через электромагнитную порошковую муфту

валков и моталок питаются от индивидуальных источников. Изменяя плечо приложения силы к магнитострикционной мессдозе, измеряют натяжение ленты в три ступени в диапазоне от 5 до 250 кг.

Примером другого применения регулятора натяжения в функции натяжения может служить регулятор реверсивного 20-валкового стана холодной прокатки тончайшей ленты, разработанного фирмой «Ёсида Кинен» (Япония). Стан имеет рабочие валки диаметром 6,5—8,5 мм и предназначен для прокатки ленты максимальной шириной 110 мм, с толщиной 0,5 до 0,010 (0,003) мм из тантала, титана, циркония, пермаллоя, никеля, бериллиевой бронзы и других металлов.

Привод каждой моталки стана выполнен от асинхронного

редукторного двигателя мощностью 1,5 кВт, скорость вращения 1500/150 об/мин через порошокую электромагнитную муфту с номинальным моментом 20 кгм при напряжении возбуждения 20 в и токе возбуждения 3,3 а.

Блок-схема регулятора натяжения ленты приведена на фиг. 17, б.

Барaban моталки 25 приводится во вращение двигателем 37 через порошокую муфту 35 и редуктор 28. Редуктор 28 моталки для увеличения диапазона регулирования натяжения выполнен двухскоростным с передаточными числами 1:2,46 и 1:1,23. Тормоз 38 предназначен для быстрой остановки привода моталки в аварийных ситуациях.

Регулятор натяжения работает следующим образом. Сигнал натяжения ленты, измеренного мессдозой 26 с тензорезисторными датчиками, усиливается с помощью усилителя 27. Выходной сигнал усилителя 27 сравнивается с уставкой натяжения, задаваемой оператором при помощи реостата 36. Разность этих сигналов поступает на вход усилителя 29, который питает обмотку управления серводвигателя 30.

Вал серводвигателя 30 соединен с валом генератора обратной связи 31 и движком автотрансформатора 32. Напряжение переменного тока, снимаемое с движка автотрансформатора 32 через понижающий трансформатор 33 и выпрямительный мост 34, питает обмотку возбуждения электромагнитной порошокой муфты.

Применение подобной схемы регулирования, а также редуктора с переключаемым передаточным числом, позволяет значительно уменьшить погрешности, вызванные нестабильностью момента порошокой муфты и изменением диаметра рулона от 150 до 220 мм, и получить широкий диапазон уставок натяжения ленты: 2—150 кг при скорости прокатки 0,83 м/сек и до 300 кг при скорости прокатки 0,42 м/сек при высокой точности регулирования. Средняя ошибка регулирования натяжения ленты составляет $\pm 3,5\%$.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЕНТЫ

Производство тончайшей ленты является сложным процессом, требующим большой точности и комбинаций различных факторов для получения продукции высокого качества. Независимо от используемого метода прокатки критерием качества готовой ленты всегда является равномерность толщины как по ширине, так и по всей длине ленты.

Для контроля толщины ленты все современные многовалковые станы для холодной прокатки тончайшей ленты оснащаются бесконтактными радиоизотопными измерителями толщины.

В отечественной промышленности нашли применение радиоизотопные измерители толщины тончайшей ленты, разработанные Киевским институтом автоматки и ВНИИАчерметом. Радиоизотопные измерители толщины ленты конструкции ВНИИАчермета имеют следующие технические данные. Измеритель толщины ленты типа ИТ-5555 с источником Рт-147 имеет пределы измерения: 0,002—0,020 и 0,010—0,100 мм; погрешность измерения составляет $\pm 0,0002$ мм при толщине ленты 0,015 мм и менее и $\pm 1,5\%$ при толщине ленты более 0,015 мм; постоянная времени равна 0,2 сек. Измеритель толщины ленты типа ИТ-5465 предназначен для пределов измерения: 0,03—0,80 мм (источник Sr-90), 0,05—1,00 мм (источник Се-144) и 0,10—1,20 мм (источник Ru106); погрешность измерения составляет 0,0015 мм при толщине ленты 0,15 мм и менее и $\pm 1,0\%$ при толщине ленты более 0,15 мм; постоянная времени прибора 0,2 сек.

Производством радиоизотопных измерителей толщины ленты занят ряд зарубежных фирм США, ГДР, ФРГ, Японии, Англии. Так, фирмой «Коба индастриэл инструментс» (Япония) выпускается радиоизотопный измеритель толщины ленты типа СТG-220А на следующие пределы измерения: 0,001—0,020 мм (источник Рт-147), 0,006—0,090 мм (источник Кг-85) и 0,025—0,700 мм (источник Sr-90); погрешность измерения составляет $\pm 1,0\%$; постоянная времени 0,5 сек и более. Фирмой Индастриэл ньюклеоникс Корп.» (США) выпускаются радиоизотопные измерители толщины ленты типа ТЛК с пределами измерения 0,002—0,100 мм (источник Кг-85) и типа ТМ с пределами измерения 0,030—0,500 мм (источник Sr-90). Погрешность измерения приборов равна $\pm 1,0\%$, постоянная времени — 0,1—0,5 сек.

На многовалковых станах для холодной прокатки тончайшей ленты нашли применение САРТ ленты, построенные по различным принципам.

Большинство эксплуатируемых САРТ ленты используют принцип регулирования по отклонению. В этом случае заданная уставка толщины сравнивается с действительной толщиной ленты после ее выхода из валков. Усиленный сигнал разности после преобразования в виде аналогового или дискретного сигнала используется для регулирования. В СССР и за рубежом, учитывая значительное влияние изменения заднего натяжения на толщину ленты, используют этот сигнал для воздействия на систему регулирования натяжения разматывающей моталки [10].

Во ВНИИМЕТМАШе разработана и внедрена на ряде отечественных многовалковых станков, оснащенных быстродействующими электрогидравлическими нажимными устройствами, дискретная САРТ ленты.

Усиленный сигнал разности между заданной и действительной толщиной прокатываемой ленты преобразуется в дискретную форму и воздействует на силовой шаговый двигатель, который управляет следящим золотником гидравлического нажимного

устройства. В системе осуществлен учет времени транспортного запаздывания.

На ряде многовалковых станов САРТ ленты используют сигнал отклонения действительной толщины от заданной для комбинированного регулирования: изменением заднего натяжения и изменением раствора валков. Усиленный сигнал отклонения толщины поступает в блок выбора зоны нечувствительности, а оттуда в схему логики, где в зависимости от величины отклонения толщины вырабатывается сигнал на регулирование толщины ленты изменением натяжения или изменением раствора валков. При малых отклонениях толщины сигнал из схемы логики с помощью интегратора и усилителя воздействует на величину уставки заднего натяжения ленты. Обычно уставка натяжения ленты изменяется в пределах $\pm (15 \div 20) \%$. Если при достижении установленных допустимых пределов изменения натяжения наблюдается отклонение толщины ленты от заданной, функции регулирования толщины передаются системе управления нажимным устройством. В зависимости от знака отклонения толщины в схеме логики вырабатывается сигнал на увеличение или уменьшение раствора валков, который поступает в схему управления нажимным устройством. Время транспортного запаздывания сигнала отклонения толщины ленты определяется с помощью специального блока.

САРТ ленты, использующим принцип регулирования по отклонению от заданной величины, свойственен один недостаток, заключающийся в том, что вследствие установки измерителя толщины на некотором расстоянии от зоны деформации он определяет отклонение в толщине уже после того, как определенные участки ленты прошли через валки стана.

В СССР и за рубежом ведутся работы по улучшению САРТ ленты. Так, во ВНИИМЕТМАШе для устранения указанного недостатка разработана дискретная САРТ ленты, состоящая из двух регуляторов. Первый регулятор корректирует толщину ленты по сигналам измерителя толщины, установленного на входе стана (регулирование по возмущению), воздействием на быстродействующее нажимное устройство. В этом регуляторе производится сопровождение отклонения толщины ленты от зоны измерения до зоны деформации с учетом запаздывания микрометра и нажимного устройства. Второй контур регулирует толщину ленты по сигналам измерителя толщины, установленного на выходе стана (регулирование по отклонению), изменением заднего натяжения ленты. Для регулирования толщины ленты предусмотрено изменение заданного в данном пропуске заднего натяжения ленты на $\pm 20\%$. Если при достижении допустимых изменений уставок натяжения ленты ее толщина продолжает изменяться, то в специальном блоке вырабатывается сигнал, изменяющий коэффициент усиления первого контура.

Для получения качественной ленты фирма «Карпенгер» (шт. Пенсильвания, США) установила на своем 20-валковом

стане типа ZR33-8 $\frac{5}{8}$ вычислительное устройство (компьютер) для регулирования толщины ленты.

Стан предназначен для холодной прокатки ленты из нержавеющей стали и различных сплавов до конечной толщины 0,025 мм на скорости 2,55 м/сек. В дальнейшем предполагается прокатка ленты толщиной 0,018 и 0,0127 мм.

При использовании модифицированных контактных измерителей толщины фирмы «Прэйт энд Уитни» система может поддерживать требуемую толщину ленты с точностью $\pm 0,0025$ мм.

В основу работы компьютера положено постоянство секундного объема металла. Воздействие осуществляется на нажимное устройство стана. В компьютере сравниваются сигналы действительной абсолютной толщины ленты на входе стана с требуемой толщиной и абсолютной действительной величиной толщины ленты на выходе стана. Измеряются верхнее и нижнее предельные значения толщины и сравниваются с заранее определенными вычислениями в миллисекундах. Если измеренная величина выходит за пределы предельных значений, то вырабатывается сигнал коррекции для установки валков пропорционально величине погрешности.

Второй корректирующий контур в компьютере проверяет выходную толщину ленты за 16 циклов вычислений. В случае необходимости сигнал коррекции изменяет величину уставки раствора валков, чтобы компенсировать незначительные отклонения в ширине материала, расположении измерителей толщины, тепловом расширении дисков импульсного генератора и другие изменения.

Компьютер может получать, сравнивать, вырабатывать и видоизменять управляющие сигналы погрешности в пределах 25 мсек — фактор, который делает возможным прокатку на скорости 2,55 м/сек.

При использовании β -лучевых бесконтактных измерителей толщины система регулирования поддерживает толщину ленты на выходе в пределах 0,0025; 0,00127 или 0,00025 мм. Допуски толщины готовой ленты могут поддерживаться в пределах $\pm 0,00127$ мм.

Кроме регулирования толщины ленты, компьютер дает информацию о количестве прокатанной ленты в линейных единицах и о всех отклонениях толщины ленты от заданной в виде диаграммы. В конце каждого пропуска оператор может запрашивать данные о толщине ленты. По требованию, компьютер при помощи пишущего аппарата может выдать информацию по следующим параметрам: общая длина готовой ленты, длина ленты, находящейся в пределах допуска по толщине, длина ленты, выходящей из допусков по толщине. При длине ленты 3000 м с помощью указанного устройства можно получить 99,9% ленты в пределах допуска $\pm 0,001$ мм.

* *
*

Постоянный рост требований к качеству отделки поверхности и повышенной точности холоднокатаных лент выявил необходимость совершенствования существующих и создания новых конструкций прокатных станков.

Практика показывает, что в производстве тонких и тончайших лент повышенного качества и точности из труднодеформируемых металлов и сплавов наиболее экономичным является применение многовалковых прокатных станков.

Большая жесткость рабочей клетки по длине валков, наличие средств, позволяющих осуществлять регулирование прогиба валков, а следовательно, и профиля ленты, в сочетании с поддержанием в процессе прокатки постоянства удельных натяжений с большой точностью обеспечивают возможность получения ленты с весьма жесткими допусками как по ширине, так и по всей ее длине.

Наряду с дальнейшим совершенствованием конструкций многовалковых станков в последнее время особое значение придают повышению точности изготовления основных узлов стана; качеству материала и точности обработки (доводки) валков; точности изготовления и комплектации подшипников и элементов опорных валков; применению рабочих валков из твердого сплава, стойкость которых выше в 15—30 раз по сравнению со стальными (использование валков из твердого сплава особенно важно на последних пропусках, когда лента имеет наибольшую длину в рулоне и наибольший наклеп); оснащению станков системами фильтрации технологической и охлаждающей жидкостей со степенью очистки от частиц величиной 0,001 мм и менее; оснащению станков современными системами электропривода, а также приборами контроля и системами автоматического регулирования технологических параметров; поддержанию стабильности температуры и чистоты воздуха в очень жестких пределах в местах установки станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. „Industrial Heat“, 1965, 32, № 7.
2. Bänder-Bleche-Rohre“, 1968, 9, № 8.
3. „Journal Metals“, 1967, 19, № 8.
4. „Engineer“, 225, 5845, 1968.
5. Каталог фирмы «Инночентт».
6. „Blech“, 1967, 14, № 4.
7. Каталог фирмы «Зундвиг».
8. Каталог станков Сендзимир.
9. Каталог фирмы «Фив-Лиль-Кайл».
10. Проспект фирмы «Есида Кинен».
11. «Сталь», 1970, № 5.
12. Авт. свид. № 194730.

13. Авт. свид. № 196694.
 14. Авт. свид. № 2086-И1.
 15. Авт. свид. № 182657.
 16. Авт. свид. № 168243.
 17. Авт. свид. № 209385.
 18. Авт. свид. № 223027.
 19. «Цветные металлы», 1972, № 4.
 20. Труды ВНИИМЕТМАШа, вып. 23, 1969.
 21. Сб. трудов ЦНИИЧМ, вып. 71, 1969.
 22. „Sheet Metal Industries“, 1970, 47, № 1.
 23. „Light Metals Age“, 1967, 25, № 1—2.
 24. „Non. Destruct. Test“, 1969, 2, № 3.
 25. Труды ВНИИМЕТМАШа, сб. № 20, 1967.
 26. „Blech“, 1970, 17, 1.
 27. Труды ВНИИМЕТМАШа, сб. № 33, 1972.
 28. „Stahl und Eisen“, 1960, 80, № 14.
 29. Труды ВНИИМЕТМАШа, сб. № 28, 1970.
 30. „Iron and Steel Engineer“, 1961, 38, № 11.
 31. „Metallurgia“, 1963, 68, № 410.
 32. Nisshin Seiko giho, Techn. Rept. Nisshin Steel Works Ltd, 1963, № 9.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Станы для прокатки тончайших лент	2
Многовалковые прокатные станы	4
Зарубежные многовалковые станы	10
Отечественные многовалковые станы	16
Технологические особенности и условия прокатки тончайших лент	27
Электропривод и системы автоматического регулирования технологических параметров	31
Электропривод валков и системы автоматического регулирования скорости	35
Электропривод моталок	36
Системы автоматического регулирования натяжения ленты	39
Системы автоматического регулирования натяжения ленты по косвенным параметрам	40
Системы автоматического регулирования натяжения ленты в функции непосредственного измерения	44
Системы автоматического регулирования толщины ленты	50
Литература	54

Ведущий редактор *Л. П. Терешина*

Редактор *Ю. Б. Смирнова*

Технический редактор *Е. В. Щевьева*

Корректор *З. М. Райнина*

Т-14004	Сдано в набор 22/V-73 г.	Подписано к печати 10/VIII-73 г.
Формат 60×90 ^{1/16}	Печ. л. 3,5	Уч.-изд. л. 3,73
Тираж 920 экз.	Зак. инст. 17336	Зак. тип. 483а
		Цена 38 коп.

НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 129835, Москва, ГСП-110, проспект Мира, 106

Московская типография № 19 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
наб. Мориса Тореза, 34

УДК 621. 771.063



Панфилов Ю. М., Приведенцев В. П.

МНГОВАЛКОВЫЕ СТАНЫ ДЛЯ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШИХ ЛЕНТ. — Металлургич. оборудование (НИИ-ИНФОРМТЯЖМАШ), 1973, № 36, с. н.л.

В обзоре рассмотрены вопросы производства тончайших лент, конструкции современных отечественных и зарубежных многовалковых станов, а также системы электропривода и автоматического регулирования технологических параметров этих станов.

1-73-36
