

П. А. АЛЕКСАНДРОВ, В. А. ПИСАНКО,
С. Т. БОГАТЫРЕВ

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ
КАЛИБРОВОК ВАЛКОВ
СОРТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

ОНТИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
Харьков 1938

НКТП

Ответственный редактор проф. Н. Ф. Леве
Литрелактор А. Г. Левин
Техредактор Я. С. Фойнин
Корректор А. А. Томилина

Типо - цинкография ДНТВУ. Харьков, Сузальск. ряды, № 18/20. Уполномоч.
Главлита № 3527. Зак. №1415. Тираж 1500. 16¹/₈ печ. лист. Учетно-авт. листов
17,8, авторских 16,2. В печ. листе 52.000 зн. Бум. 60 × 92. Вес 1 метр, стопы 33 кг.
Сдано в производство 3/XI-37 г. Подписано к печати 26/XII-37 г.

ВВЕДЕНИЕ

В повышении производительности прокатных станов большую роль играет более рациональное использование их путем сокращения простоев, специализации станов и рационализации калибровок.

С возрастающими требованиями потребителей перед прокатчиками остро стоит вопрос о дальнейшем повышении качества выпускаемого проката. Последнее в немалой степени зависит от калибровки и температурного режима прокатки.

Под этими двумя точками зрения — повышения производительности и улучшения качества продукции, произведено прокатной группой Украинского института металлов под руководством инж. П. А. Александрова изучение прокатки и калибровки простых массовых профилей: полосового, круглого и квадратного железа на крупнейших южных metallurgических заводах. Материалы этого изучения легли в основу этой книги.

Работа начата в середине 1935 г. и закончена в середине 1936 г. Обследование охвачено круглое железо диаметром от 10 до 70 мм, полосовое железо шириной от 25 до 70—80 мм и от 100 до 200 мм, квадратное железо 16, 22 и 60 мм и несколько профилей мелкого фасонного проката, угловое железо, рессорное и проч. Для широкого сравнения и сопоставления методов калибровки и прокатки на различных заводах, — изучение одних и тех же профилей и размеров производилось не менее, чем на 2—3 заводах. Всего охвачено 20 сортопрокатных станов на 7—8 крупнейших южных заводах. Изучение калибровки и работы каждого стана производилось путем всестороннего анализа работы обжимных, черновых и чистовых клетей.

Методика работы практически заключалась в изучении калибровки по шаблонам, в хронометрировании операций по ходу прокатки, наблюдении над нагрузкой двигателя и температурным режимом прокатки. Для анализа калибровки выбранных профилей от каждого пропуска отрезались темплеты. Кроме того, производилась технико-экономическая оценка работы станов при существующей калибровке и сравнение ее с другими станами. При этом нами частично использованы заводские материалы по паспортизации прокатных станов с проверкой их контрольными наблюдениями.

Сравнение калибровок и работы большого количества сортовых станов дало богатый материал и позволило нам сделать ряд принципиальных предложений к улучшению калибровок как обжимных клетей, так и черновых и чистовых линий, которые изложены в настоящей работе.

Одновременно с упомянутой главнейшей работой, легшей в

основу этой книги, нами включены и результаты работ, связанные с калибровкой и проводившиеся в институте в течение более 5 лет.

Вопросам рационализации калибровок прокатных станов на заводах до последнего времени не уделяли соответствующего внимания. Калибровки прокатных станов никем не изменялись и не пересматривались, находясь целиком в ведении узких специалистов-калибровщиков.

Только в последнее время (особенно последние год-два) произошел в этом деле большой сдвиг, благодаря возникновению и широкому развитию стахановского движения в металлургической промышленности и в частности в прокатном производстве.

Стахановцы-прокатчики заставили пересмотреть калибровки многих прокатных станов с целью увеличения обжатий и сокращения числа пропусков, добиваясь увеличения производительности прокатных станов.

Стахановское движение придало нашей работе более конкретное содержание, заставив обратить большее внимание на возможность изменения калибровок с целью улучшения условий работы и увеличения производительности, путем сокращения числа пропусков, или путем более равномерного распределения числа пропусков по отдельным линиям и клетям станов.

В результате, при обследовании было сделано по каждому заводу ряд обоснованных конкретных предложений об изменении калибровок или перераспределении числа пропусков по отдельным клетям. На ряде заводов эти предложения проведены в жизнь.

В книге достаточно удалено места весьма серьезному и важному вопросу — выбору оптимальных размеров и весов слитков или заготовок, обеспечивающих наибольшую производительность станов.

Имеющаяся литература по вопросам калибровки прокатных станов, включая и классические работы Л. Жеза, Тафеля и Тринкса, ограничивается изложением основных правил и способов калибровки.

Цель нашей работы — на основании критического обзора существующих калибровок указать пути, по которым необходимо идти при улучшении калибровок прокатных станов.

Новизна такой постановки вопроса в области калибровки и недостаточная изученность явлений деформации металлов при прокатке весьма усложняет и затрудняет нашу задачу. Поэтому книга не лишена некоторых недостатков, но тем не менее, мы надеемся, она принесет большую пользу производственникам, помогая выяснению ряда важнейших вопросов, связанных с калибровкой.

В книге приведены данные о характеристике и оборудовании основных сортопрокатных станов металлургических заводов Украины, могущие послужить справочным материалом для сопоставления калибровок.

Книга рассчитана на калибровщиков и инженерно-технический персонал прокатных цехов. Указания о всех замеченных недостатках, а также указания о характере изложения материала, авторы примут с благодарностью.

При изучении и исследовании заводских калибровок со стороны администрации прокатных цехов и калибровщиков мы встречали неизменное содействие и помощь, за что пользуемся случаем выразить им искреннюю благодарность.

Авторы

Харьков, 1937 г.

дой группы обжимных клетей приводим после рассмотрения калибровок.

Приведенная классификация обжимных клетей является достаточно полной.

Дальнейшего уточнения рода механизации обжимных клетей и классификации их по числу оборотов делать нет необходимости, так как последними предопределяются только величины, составляющие период и темп прокатки, а не структурные особенности процесса, определяющие тип графика.

ГЛАВА I

ОБЖИМНЫЕ КЛЕТИ СОРТОВЫХ СТАНОВ

1. Классификация трио-обжимных клетей сортопрокатных станов

Обжимные клети сортопрокатных станов разделяются:

- а) в зависимости от их назначения на:
 - 1) обжимные клети крупносортных станов;
 - 2) обжимные клети среднесортных станов;
 - 3) обжимные клети мелкосортных станов;

- б) в зависимости от расположения клетей на две группы:

I. Обжимные клети, расположенные в одну линию с подготовительными и чистовыми клетями (расположение, встречающееся на среднесортных станах и характерное для крупносортных станов).

II. Обжимные клети, расположенные отдельно от чистовых (расположение, характерное для мелкосортных и часто встречающегося на среднесортных станах).

Кроме того, вводим классификацию обжимных клетей в зависимости от оборудования механизмами для задачи прокатываемой штуки в калибр, и обслуживающими передачу штуки из калибра в калибр — подъемные столы, рольганги, кантовальные аппараты и т. д.

Степень механизации определяет организацию или порядок работы на обжимной клети, что отчетливо выявляется на графиках нормальной работы обжимной клети (график Адамецкого).

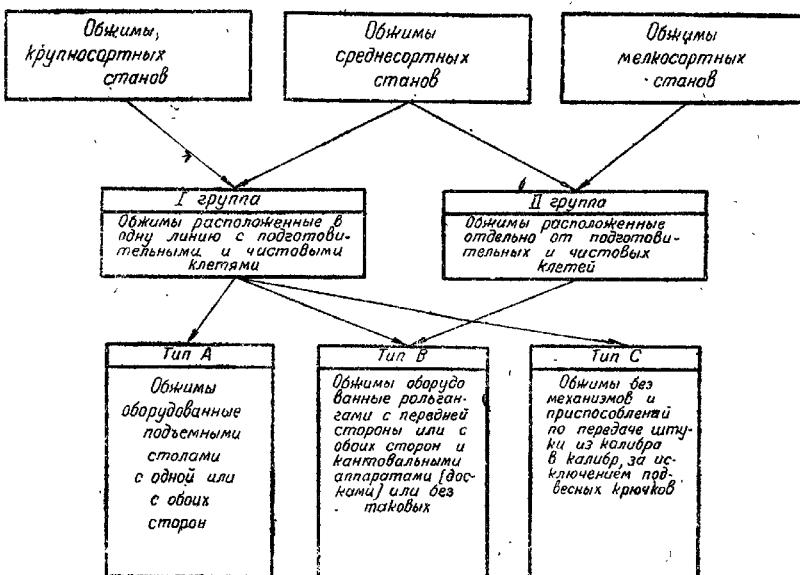
Из всех обжимных клетей мелкосортных, среднесортных и крупносортных станов будем иметь следующие типы по оборудованию:

Type A — обжимные клети, оборудованные подъемными столами с одной или с обеих сторон.

Type B — обжимные клети, оборудованные рольгангами с передней стороны или с обеих сторон и кантовальными аппаратами (досками) или без таковых.

Type C — обжимные клети без механизмов и приспособлений по передаче штуки из калибра в калибр, за исключением подвесных крючков.

Схема классификации обжимных клетей приведена на фиг. 1. Графики работы и технико-экономическую характеристику каж-



Фиг. 1. Схема классификации обжимных клетей трио крупносортных, среднесортных и мелкосортных станов

2. Техническая характеристика обжимных клетей

В отношении калибровки и работы рассмотренные нами обжимные клети находятся в разных условиях. Расположение обжимной клети на одной линии с подготовительными и чистовыми клетями тесно связывает ее работу с работой всего стана — величины обжатий, скорость, производительность и т. д.

Одни обжимные клети обслуживают мелкосортные станы, выпуская квадратные заготовки сечением от 35×35 мм до 70×70 мм; другие обслуживают среднесортные и крупносортные станы и выпускают квадратные заготовки сечением от 83×83 мм до 96×96 мм и прямоугольные заготовки $110 - 170 \times 54 - 85$ мм.

В таблице 1 приводится характеристика обжимных клетей, расположенных на одной линии с подготовительными и чисто-

Таблица 1

Характеристика обжимных клетей крупносортных станов, расположенных на одной линии с подготовительными и чистовыми клетями

Заводы	Вес слитка или заготовки в кг	Начальные размеры слитка или заготовки в мм		Конечные размеры штукки в мм	Характеристика калибровки	Сортамент стана
		Размеры поперечного сечения	Длина			
Имени Фрунзе	585	293—330	185×185—225×225	1000—1150	4971 10 4,324 1,157	750 68
Тоже	585	293—330	185×185—225×225	1000—1150	108×90 4669 10 4,060 1,150	750 68
Имени Фрунзе	585	293—330	185×185—225×225	1000—1150	115×90 3978 10 3,45 1,083	750 68
Тоже	585	380—450	215×240—250×275	1000—1150	135×90 5570 10 4,67 1,114	750 68
Имени Ворошилова	500	235	155×155—180×180	1150	153×84 4203 10 4,203 1,102	650 125
Тоже	500	235	155×155—180×180	1150	170×84 4833 10 4,833 1,145	650 125
Орджоникидзенский	550	265	185×185	1000	72×72 5700 11 5,54 1,168	1000 95
Тоже	550	235	155×155—180×180	1150	82×82 4630 11 4,48 1,150	1200 90
Имени Петровского	280	180	180×180	1100	83×83 4960 10 4,960 1,174	1000 95
Тоже	280	180	180×180	1100	83×83 4300 10 3,909 1,146	1200 90
Имени Петровского	280	175	150×150	1000	83×83 5500 13 5,057 1,13	1200 90
Тоже	280	175	150×150	1000	189×81 2416 8 2,199 1,104	1200 90
Имени Петровского	280	180	180×180	1100	141×85 1853 6 1,855 1,109	1200 90
Тоже	280	180	180×180	1100	189×81 2416 8 2,199 1,104	1200 90
Имени Петровского	280	175	150×150	1000	141×85 1853 6 1,855 1,109	1200 90

Примечание. На всех приведенных в таблицах 1 и 2 обжимных клетях валки имеют насечки, но различной формы и глубины. В последнее время насечки частично заменяются наваркой.

выми клетями. Как видно из таблицы, это преимущественно обжимные клети старых крупносортных станов.

В качестве двигателей таких станов в большинстве случаев служат паровые машины недостаточной мощности 750—1000 ЛС, и только на стане 550 завода имени Петровского имеется электродвигатель в 1200 ЛС.

В таблице 2 приводится характеристика обжимных клетей среднесортных и мелкосортных станов, расположенных отдельно от подготовительных и чистовых линий. Эти обжимные клети обслуживаются большей частью электродвигателями в 600—850 ЛС, достаточными для совершающей работы и только одна обжимная клеть 640 завода имени Дзержинского имеет сравнительно малую мощность двигателя — 540 ЛС.

Приведенная техническая характеристика существующих обжимных клетей показывает, что сравнение их работы и калибровки можно проводить только по группам, находящимся в одинаковых условиях работы.

По весу прокатываемых слитков или заготовок обжимные клети мелкосортных станов разделяются на три группы:

Первая группа — обжимные клети, работающие на слитках или заготовках весом от 135 до 160 кг. К этой группе относятся обжимные клети 500 (стан 250) Сталинского завода и 450 (стан 250) завода имени Петровского.

Вторая группа — обжимные клети, работающие на слитках или заготовках весом от 160 до 190 кг. К этой группе относятся обжимные клети 500 (стан 305) завода имени Фрунзе, 500 (стан 350) Сталинского завода, 520 (стан 400) Сталинского завода, 500 (стан 420) завода имени Петровского и 500 (стан 330) того же завода.

Третья группа — обжимные клети, работающие на слитках или заготовках весом от 190 кг и выше. К этой группе относятся обжимные клети 550 (станы 360 и 280) Орджоникидзенского завода, 600 завода имени Ворошилова, 600 завода имени Кирова, 550 и 640 завода имени Дзержинского.

Размеры начального сечения слитков или заготовок для указанных обжимных клетей весьма разнообразны. Наиболее употребительно начальное сечение 180×180 и 150×150 мм, максимальное начальное сечение заготовок 200×200 мм и минимальное 125×125 мм.

Ввиду того, что начальные длины заготовок или слитков для всех обжимных клетей приблизительно одинаковы и находятся в пределах 1000—1200 мм, то вес заготовок или слитков пропорционален размерам поперечного сечения их. Таким образом тяжелые слитки или заготовки имеют большие размеры в поперечном сечении, а легкие по весу заготовки — меньшие размеры в поперечном сечении. Например, заготовка минимального веса 125 кг имеет и минимальные размеры в поперечном сечении — 125×125 мм.

Таблица 2

Заводы	Диаметр обжимной клети и стана	Начальные размеры слятка или заготовки в м.м.		Конечные размеры пятушки в м.м.		Характеристика калибровки		Тип двигателя	Мощность двигателя в квт
		Без центрации на 32°	Без центрации на 32°	Без центрации на 32°	Без центрации на 32°	Без центрации на 32°	Без центрации на 32°		
Им. Фрунзе	500 стана 305	190	140/180	140/180	1100	58	8371	9	7,610
	500 стана 305	190	140/180	140/180	1100	54	10036	9	9,124
Им. Ворошилова	600 станов 300, 250	235	155/180	155/180	1150	62	7986	7	6,942
	600 станов 300, 250	300	180	180	1200	62	10230	7	8,525
Им. Кирова	600 станов 300, 250	390	200	200	160	62	13125	9	10,5
	600 станов 300, 250	490	200	200	160	70	13915	9	8,699
Им. Сталина	500 стана 350	230	150	150	1600	65	15493	9	9,763
	500 стана 350	160	125	125	1300	46	13822	11	10,633
"	500 стана 250	135	125	125	1100	46	9907	7	7,621
"	500 стана 250	195	150	150	1100	46	8400	7	7,621
"	500 стана 250	221	150	150	1250	91	3396	9	2,717
"	520 стана 400	239	150	150	1350	107	5257	11	3,894
"	520 стана 400	190	180	180	900	38	21940	9	22,438
"	550 стана 280	265	185	185	1000	48	14854	9	14,854
"	550 стана 360	265	185	185	1000	50	13698	9	13,639
"	550 стана 360	265	185	185	1000	58	10174	9	10,174
Им. Петровского	425 стана 250	160	135/160	135/160	1000	35	18246	9	18,246
	500 стана 330	175	150	150	1000	39	15500	9	15,5
Им. Дзержинского	500 стана 330	170	140	140	1100	39	14877	9	13,517
	550 станов 280 и 330	310	180	180	1100	57	6702	9	6,996
	640 стана 500	310	180	180	1200	63	9916	9	8,272
	640 стана 500	270	165	165	1260	80	4230	9	3,525
							3579	9	1,112

Примечание: 1) Привод общий с чистовой линией. 2) Общий двигатель с бушером и обжимом стана 400. 3) Общий двигатель с обжимом стана 250. 4) Привод общий с чистовой линией. 5) Привод общий с чистовой линией. 6) Привод общий с чистовой линией. 7) Привод общий с чистовой линией.

3. Основные требования к рациональной калибровке валков

Основными требованиями, предъявляемыми к калибровке прокатных валков, являются получение точного (размера) профиля (в пределах установленных допусков) и получение продукции надлежащего качества.

Повышение точности размеров профиля прокатных изделий ведет к экономии металла, а иногда устраивает целый передел в технологическом процессе производства готовых изделий из прокатного металла (например, протяжку — волочение при производстве болтов), значительно удешевляя стоимость изделий.

На точность профиля влияют следующие основные факторы:

- 1) методы построения и расчета калибров;
- 2) правильный учет температурного режима прокатки;
- 3) прочность стана и его деталей; качество подшипников, смазка, износ и упругий изгиб валков и другие;

4) надлежащий контроль над настройкой прокатных станов и точность измерительных приборов и шаблонов.

Качество продукции также находится в прямой зависимости от температурного режима прокатки и от калибровки. Чистота наружной поверхности, отсутствие на нем дефектов, получение профилей, свободных от внутренних напряжений и с надлежащим расположением ликвационной зоны, зависят от условий деформации металла при прокатке, т. е. от калибровки валков.

Вторым важным требованием ко всякой (рациональной) калибровке валков является обеспечение максимальной производительности стана с учетом равномерной нагрузки, существующего двигателя.

Высокая производительность прокатных станов обеспечивается интенсивной деформацией металла. Применение максимальных обжатий и вытяжек сокращает число пропусков металла при прокатке и при рациональном распределении пропусков по отдельным линиям и клетям станов — правильном монтаже калибров, обеспечивает максимальную производительность станов.

Третье основное требование к калибровке — это обеспечение низкой себестоимости прокатных изделий. Стоимость рабочей силы на сортовых станах составляет около 50% стоимости передела и 10—15% себестоимости прокатных изделий. Увеличение скорости прокатки, увеличение обжатий и построение калибровок с максимальным использованием автоматических проводок (Шепфа, Кваста) и Qводок для передачи штуки из клети в клеть повышает производительность станов, сокращает число рабочих и ведет к удешевлению себестоимости прокатных изделий.

ГЛАВА II

ОБЖАТИЯ, ВЫТЯЖКИ И ВЕРХНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ОБЖИМНЫХ ТРИО-СТАНАХ

1. Значение качества исходного металла прокатки и два способа обжатия в ящичных калибрах

При калибровке обжимных клетей необходимо считаться с тем, что является исходным металлом — слиток или заготовка с блюминга (блюмс).

Слиток стали не представляет собою физически вполне однородную массу металла. В зависимости от процесса выплавки и условий разливки углеродистых сталей (кипящий или спокойный металл), а также от соотношения размеров и весов изложниц и слитков, последние бывают различной плотности и различной неоднородности (пузыристость, ликвация).

На фиг. 2 представлен поперечный разрез слитка кипящей пузыристой стали завода имени Ворошилова.

Кроме того, условия кристаллизации стали в изложницах приводят в той или иной степени к развитию столбчатых кристаллов (транскристаллизация) и образование в поперечном сечении слитков по диагональным направлениям плоскостей слабины. Развитие столбчатых кристаллов приводит к междендритной ликвации — отложению вредных примесей серы и фосфора в пространствах между осями столбчатых кристаллов, что ослабляет связь между частицами металла.

На фиг. 3 показывается развитие столбчатых кристаллов (транскристаллизация) слитка № 1 спокойной стали завода имени Фрунзе.

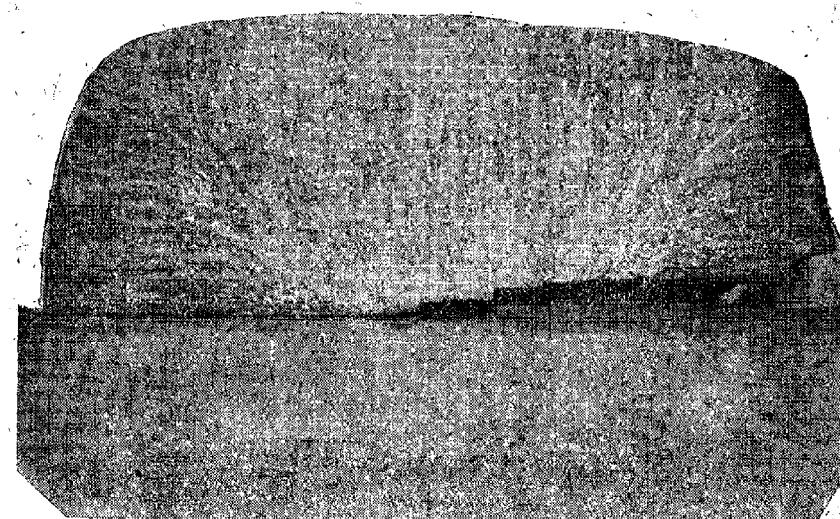
Вследствие наличия в слитках подкорковых пузырей, плоскостей слабины, междендритной и зональной ликвации и проч., при горячей обработке их на прокатных станах появляется опасность получения дефектов на конечной продукции: трещин, рванин, плен и др.

Наоборот, заготовки, обжатые на блюминге в отличие от слитков имеют плотное строение. Пузыри в большинстве случаев при обжатии свариваются, транскристаллизация разрушается, ликвация уменьшается (путем диффузии). Ряд поверхностных дефектов, образовавшихся при прокатке на блюминге, как мелкие трещины и др., при повторном нагреве выгорают.

Процесс обжатия слитка, в отличие от процесса обжатия заготовок, является более ответственной операцией в производстве,



Фиг. 2. Поперечный разрез слитка кипящей пузыристой стали.



Фиг. 3. Поперечный разрез слитка спокойной стали (транскристаллизация).

от которой в значительной мере зависит получение соответствующего качества продукции.

В таблице 3 приводится характеристика слитков, заготовок и разновидностей металла, прокатываемого на сортовых станах основных заводов Юга СССР.

Таблица 3

Характеристика прокатываемых сталей

Заводы и стани	Слитки вес в кг	Заготовки вес в кг	Характеристика прокатываемых сталей: виды, марки и назначение	Примечание
Имени Фрунзе Стан 585	293—330, 380—450	Нет	Углеродистые стали марок 0—7, медистые стали.	
" 305	173—190	Нет	Углеродистые стали 0—7. Связевое железо, цепное, медистые стали.	
Имени Ворошилова Стан 300	220—235	217, 300, 390	Углеродистые стали марок 0—6, автоматная сталь.	
" 500	220—235	217	Углеродистые стали марок 0—6, автоматная сталь.	
Имени Кирова Стан 330	Нет	490	Углеродистые стали марок 0—6, стали конструкционные марок 10—45, заклепочная сталь.	
" 280	Нет	490		
Орджоникидзенский Стан 280	190	Нет	Углеродистые стали марок 0—6, стали специального назначения.	
" 360	190	265		
" 550	Нет	235, 265		
Имени Сталина Стан 250	Нет	135, 195	Углеродистые стали марок 0—6, конструкционные марок 10—50, слабо легированные стали, пружинные стали.	Качественные стали до 30%
" 350	"	160—230		
" 400	"	180—240		
Имени Петровского Стан 250	160	170	Углеродистые стали марок 1—6, конструкционные марок 10—30, заклепочная сталь, рессорная.	
" 330	180	170—175		
" 420	160, 180	175		
" 550	320, 180	175, 280		
Имени Дзержинского Стан 280	Нет	310	Углеродистые стали марок 0—6, пружинная, рессорная и стали специального назначения.	
" 330	"	310		
" 500	"	310, 270		

Как видно из таблицы, большинство заводов применяют для прокатки на сортовых станах заготовку, только завод имени Фрунзе работает исключительно на слитках и частично работают на слитках заводы имени Петровского, имени Ворошилова и имени Орджоникидзе.

Что касается качества прокатываемой стали, то наряду с углеродистой сталью марок 0—6 почти на всех заводах прокатывают также качественные, конструкционные стали марок 10—50, рессорную, заклепочную, связевую, автоматную и др. стали.

Прямоугольные или ящичные калибры во всех случаях прокатки слитков и заготовок являются первыми калибрами, в которых производится первоначальный процесс обжатия стали.

Практически процесс обжатия в системе прямоугольных калибров происходит по двум способам:

1. Прокатка с свободным или малоограниченным уширением, когда ширина калибра в глубине ручья больше ширины задаваемой штуки, фиг. 4 (A).

2. Прокатка с ограниченным уширением, когда ширина калибра в глубине ручья равна или менее ширины прокатываемой штуки, фиг. 4 (B).

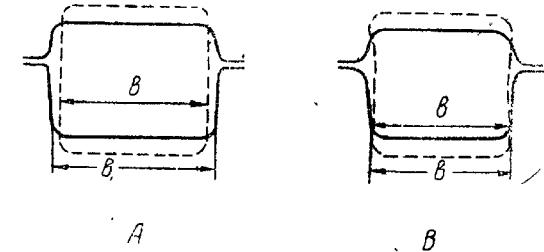
Калибры в первом и втором случаях отличаются друг от друга величиной запаса на уширение и величиной выпусков; отличаются также условия деформации металла.

Выбор того или иного способа обжатия должен производиться в зависимости от качества прокатываемого металла, а также и от того, что является исходным металлом для прокатки — слиток или заготовка.

В некоторых случаях выбор способа обжатия определяется местными специфическими условиями работы стана, например, ограниченностью длины бочки валков, большим количеством разнообразных начальных и конечных размеров заготовок.

Наблюдения показывают, что при прокатке с свободным уширением в уширяющихся частях металла в результате относительно больших поперечных смещений металла при деформации возникают сильные напряжения. Известно, что при свободном уширении при ковке или прокатке, частицы металла из боковых граней переходят на верхние и нижние грани.

Опыты обжатия цилиндров также показывают, что в результате трения на поверхности соприкосновения металла с бойками возникают как называемые конусы скольжения металла или области затрудненной деформации. В результате по границам об-



Фиг. 4. Обжатие металла в ящичных калибрах: А — прокатка с малоограниченным или свободным уширением, В — прокатка с ограниченным уширением

ластей затрудненной деформации приблизительно под углом в 45° к сжимающим плоскостям образуются наибольшие касательные напряжения. Уширяясь, металл скользит, деформируется по этим конусам. Если в зону скольжения попадают части металла с ослабленной внутренней связью — пузыри, плоскости слабины и проч., то в этих местах появляются трещины, что приводит к нежелательным порокам на готовой продукции.

Поэтому при проектировании калибровок для прокатки слитков нужно стремиться к тому, чтобы ослабленные места металла не попадали в зоны свободных уширений. Ослабленные места слитков это как раз углы слитков, следовательно углы слитков и заготовок должны поддерживаться боковыми стенками калибров.

При прокатке в калибрах с ограниченным уширением, боковые стенки калибра поддерживают деформируемые грани слитка и тем самым создают условия для всестороннего сжатия и способствуют уплотнению слитка и сварке подкорковых пузырей.

Назначение первых пропусков обжима при прокатке слитков состоит не только в уменьшении сечения и вытяжке металла, но и в уничтожении транскристаллизации.

Во избежание появления трещин и других пороков от большого смещения металла при уширении в одном направлении, на обжимных клетях при прокатке слитков весьма полезно применять кантовку после первого и второго пропусков, сохраняя в дальнейшем принцип кантовки через два пропуска.

Недостатком способа прокатки с ограниченным уширением является то, что при этом, вследствие трения металла на боковых стенках калибров необходима несколько большая мощность двигателя. Но ввиду того, что слитки в первых пропусках еще короткие, время прокатки составляет секунды и это не отражается заметно на работе двигателей, оборудованных маховиками. Расход энергии на тонну продукции в этом случае не увеличивается по сравнению с обычной прокаткой, так как при прокатке с ограниченным уширением вытяжка относительно больше, чем в случае прокатки с свободным уширением.

Другим недостатком работы при калибровке с ограниченным уширением является сравнительно больший износ боковых стекок калибров. Этот износ при соответствующих конструкциях калибров — большие выпуски, малые верхние давления, позволяющие уменьшить скольжение металла по поверхности валков, может быть доведен до минимума.

2. Величины обжатий, вытяжек и углов захвата

Величины максимальных обжатий зависят от условий захвата металла валками, последние в свою очередь от конструкции калибров, рабочих диаметров валков, скорости прокатки и коэффициентов трения на поверхности соприкосновения металла с валками.

Величины линейного ($H - h$) (а также и относительного $\frac{H-h}{H}$)

обжатия по пропускам не дают достаточно правильного представления о работе обжима, так как одно и тоже линейное обжатие для разных размеров прокатываемой штуки дает совершенно различные вытяжки. По величинам линейного и относительного обжатий невозможно судить о том, насколько полно используется на стане способность захвата металла валками (т. е. используется ли при этом максимально допустимые углы захвата).

Более правильную характеристику дают величины углов захвата. Чем больше углы захвата на обжиме, тем больше и вытяжки и тем более полно используется „обжимающая“ способность валков.

В таблице 4 приводятся данные о скоростях прокатки и углах захвата по пропускам для некоторых обжимных клетей.

Из таблицы видно, что максимальные углы захвата в прямоугольных калибрах порядка $24-25^\circ$ употребляются на обжимных клетях 550 стана 280 Орджоникидзенского завода, 500 и 600 стана 300 Ворошиловского завода, 425 стана 250 завода имени Петровского, 500 стана 305 завода имени Фрунзе и других. Углы захвата ниже $20-21^\circ$ на обжиме 640 завода имени Дзержинского, 500 стана 500 на заводе имени Ворошилова. Углы захвата низки также на обжиме 600 завода имени Кирова и на всех обжимных клетях Сталинского завода.

В отношении фактора скорости прокатки, как видно из таблицы 4, большинство наших обжимных клетей имеют окружную скорость прокатки на начальной окружности шестерен $2,5-2,7 \text{ м/сек}$ (10 обжимов), несколько обжимных клетей имеют скорости в пределах $2,8-3,0 \text{ м/сек}$ и один обжим имеет наименьшую скорость $1,95 \text{ м/сек}$ (обжим 600 завода имени Ворошилова).

Действительные скорости прокатки в прямоугольных калибрах, рассчитываемые по рабочим диаметрам валков в глубине первых двух-трех пар сопряженных калибров меньше примерно на $20-30\%$.

При малых скоростях захват металла валками происходит без задержки даже при сравнительно больших величинах обжатий и углов захвата. С увеличением скорости прокатки допускаемые углы захвата, а следовательно и величины обжатий уменьшаются. С другой стороны при малых скоростях прокатки машинное время увеличивается, а при больших скоростях прокатки — увеличивается подсобное время прокатки, так как при этом прокатываемую штукку выбрасывает из валков довольно членко.

Большой интерес представляет в вопросе установлении оптимальной скорости прокатки на ~~треугольных~~ ^{стационарных} обжимных клетях, обеспечивающей возможность максимального обжатия и минимальной затраты времени прокатки для получения максимальной производительности стана.

По литературным данным, максимально допускаемые углы захвата для гладких некалиброванных валков составляют $22-24^\circ$,

Углы захвата по пропускам

Заводы	Номинальные диаметры обжимов в мм	Углы захвата в калибрах по пропускам											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Им. Дзержинского	640 старая калибровка . . .	9°10'	-20°15'	14°40'	18°50'	20°30'	18°20'	21°35'	21°	-	9°20'	-	
Тоже	640 новая калибровка . . .	600	2,83	600	2,83	600	2,57	600	2,57	600	2,45	600	2,45
Им. Кирова	600 станы 330, 280	21°35'	19°10'	20°40'	18°20'	21°10'	19°50'	20°10'	18°00'	21°15'	16°28'	-	
Им. Фрунзе	585 новая калибровка . . .	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08
Тоже	585 старая калибровка . . .	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08	585	2,08
Им. Дзержинского Орджоникидзеского	550 станы 330, 280	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54
Тоже	550 стан . . .	540	2,71	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,45	540	2,45
Тоже	550 стан . . .	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54	540	2,54
Им. Петровского	550 . . .	530	2,50	530	2,50	530	2,50	530	2,50	530	2,50	530	2,50
Тоже	500 стан . . .	474	2,98	500	2,51	500	2,51	500	2,51	500	2,34	500	2,34
Им. Фрунзе	500 станы 300, 250	30°5	50	27°30'	23°30'	29°30'	24°20'	19°10'	17°25'	27°05'	24°—	22°—	—
Им. Ворошилова	старый . . .	500	1,47	31°18'	18°06'	31°38'	21°08'	25°52'	19°25'	27°16'	23°—	28°47'	—
Тоже	600 станы 300, 250	608	1,95	608	1,95	608	1,95	608	1,95	608	1,95	608	1,95
Тоже	500 стан . . .	459	3,00	520	2,72	480	2,51	480	2,51	480	2,51	480	2,51
Им. Сталина	520 стан 400 . . .	12°16'	19°10'	18°33'	18°52'	15°40'	14°—	20°41'	20°10'	18°18'	21°30'	15°53'	22°32'
Им. Петровского	500 станы 350, 250	17°14'	19°08'	21°29'	15°—	19°47'	15°—	19°47'	15°—	19°47'	15°—	19°47'	15°—
Тоже	500 стан 330 . . .	478	2,65	478	2,65	478	2,66	478	2,66	478	2,65	478	2,65
	425 стан 250 . . .	435	2,65	435	2,66	435	2,66	435	2,66	435	2,66	435	2,66

а для калиброванных валков с насечкой 30—34° (Зальцброннер, Хирст, Тафель и Шнейдер). Последние величины максимальных углов захвата 30—34° относятся к прямоугольным или ящичным калибрам.

Известные кривые зависимости величины углов захвата от скорости прокатки, данные Тафелем и Шнейдером¹ для гладких валков сортовых станов, не вполне применимы к обжимным клетям, вследствие несовместимости условий работы станов. Опыты с ненасеченными (гладкими) валками Тафелем и Шнейдером были проведены на листопрокатном стане дуо диаметром валков 990 мм, очевидно с чугунными закаленными валками. Выведенные зависимости для скоростей $v = 1,5 - 2,3 \text{ м/сек}$ дают углы захвата 16—21°, скоростей $v = 2,6 - 3,1 \text{ м/сек}$ дают углы захвата 12—15°.

Практика показывает, что в прямоугольных калибрах на стальных обжимных валках захват металлов в пределах скоростей до 3 м/сек происходит удовлетворительно без насечек при углах захвата значительно больших, чем 12—15°.

Это говорит о необходимости проведения новых тщательно поставленных опытов в условиях, близких к практическим существующим с целью более точного определения максимально допускаемых углов захвата.

В этой работе Тафель и Шнейдер рекомендуют наивыгоднейшую скорость прокатки для обжимных клетей 1,5 м/сек.

Условия захвата металла валками при прокатке в гладкой части бочки валков без насечки значительно труднее, чем при прокатке в калибрах, при условии ограничения уширения, так как поверхность соприкосновения металла с валками, а отсюда и втягивающие силы в первом случае относительно меньше, чем в калиброванных валках. Вследствие этого для прямоугольных ненасеченных калибров, при условии ограничения уширения соответствующей формой и размерами калибров, предельные углы захвата могут быть значительно увеличены против рекомендуемых для гладких ненасеченных валков — метод Седлячека².

По нашим материалам, максимально допустимые углы захвата для ящичных калибров без насечки могут быть доведены до 28—30°. Например, на старой обжимной клети 500 стана 300 завода имени Ворошилова углы захвата без насечки доходили до 28° и более до 30°.

Вытяжки

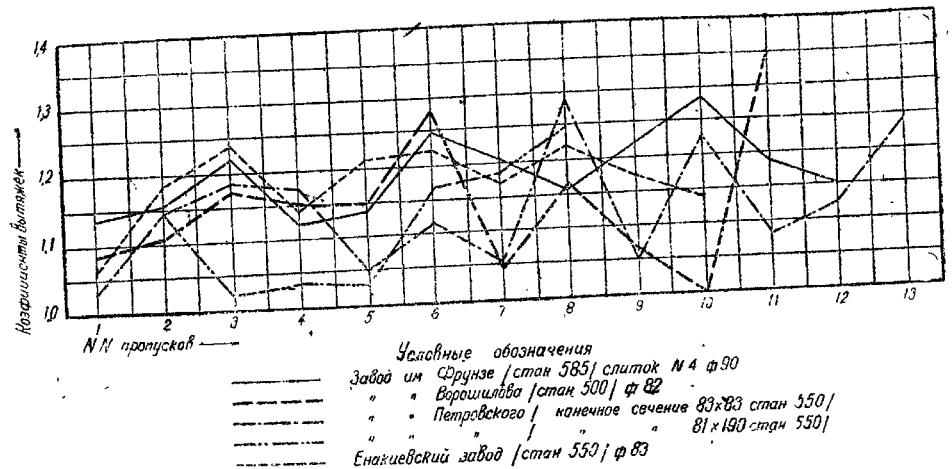
Величины вытяжек на обжимных клетях зависят от начальных размеров слитка или заготовки и конечных размеров выпускаемых заготовок. Чем больше начальные и конечные размеры заготовок, тем меньше будут средние вытяжки металла при равных величинах линейных обжатий.

¹ Тафель и Шнейдер, журнал St. u. Eis., 1924 г., март.

² St. u. Eis. 1927 г., № 1, стр. 26—27, реферат в журнале «Металлург», 1929 г., № 4.

По мере уменьшения абсолютных размеров прокатываемой штуки при равных величинах линейных обжатий с переходом от ящичных калибров на систему вытяжных — „овал-квадрат“ или трапециoidalный „калибр квадрат“, вытяжки естественно увеличиваются. Поэтому, чем меньше размер выпускной заготовки или чем больше на обжиме вытяжных калибров, тем больше будут и величины средней вытяжки.

Для сравнения величины вытяжек на рассматриваемых обжимных клетях мы разделили их на группы по расположению и по

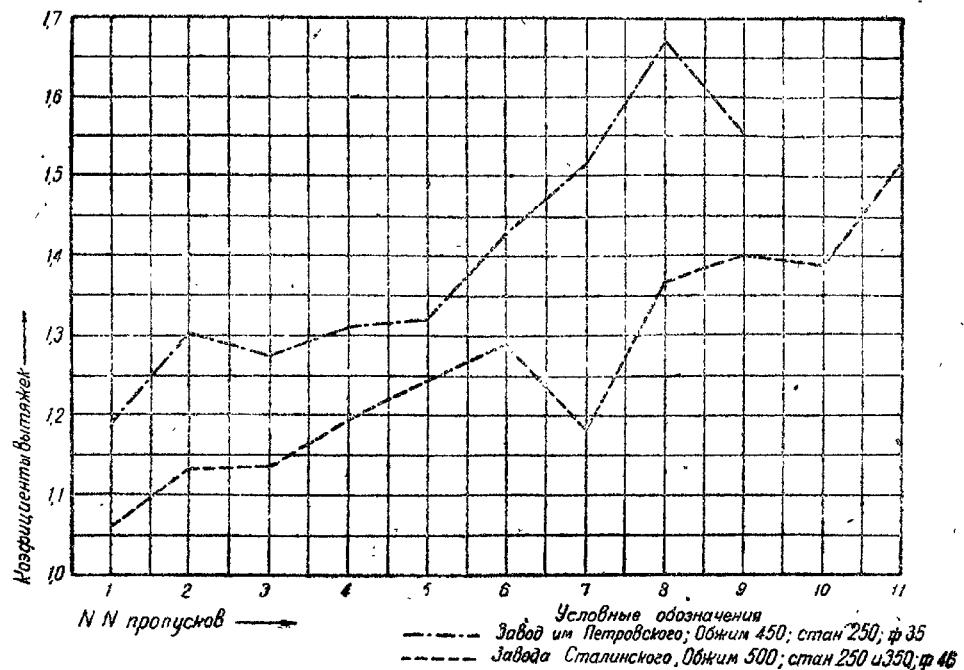


Фиг. 5. Диаграмма вытяжек по пропускам на обжимных клетях крупносортных станов, расположенных на одной линии с подготовительными и чистовыми клетями (I группа)

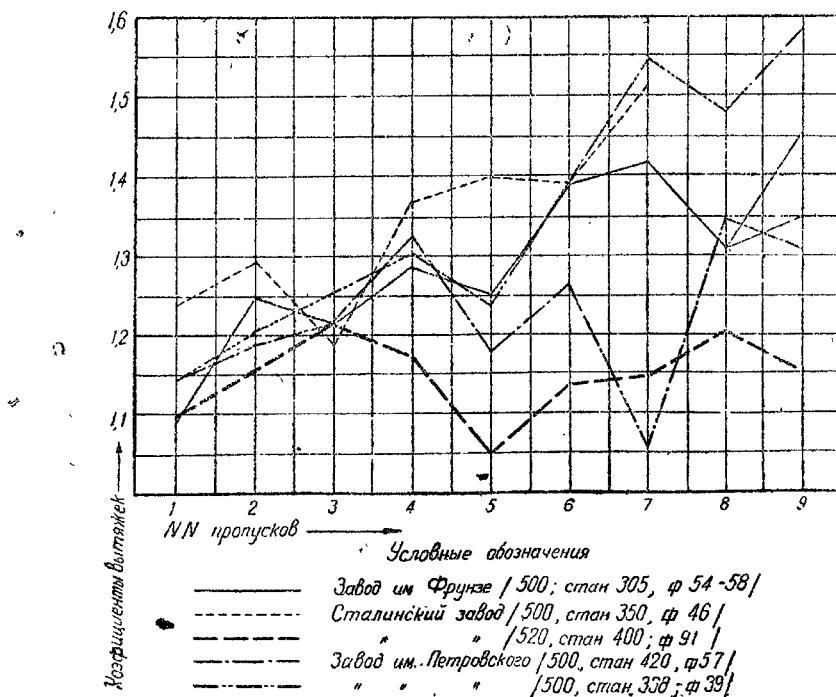
весу прокатываемых заготовок или слитков, так как длины слитков или заготовок в большинстве случаев примерно постоянны, следовательно, размеры поперечных сечений заготовок приблизительно пропорциональны весам заготовок.

На фиг. 5 приводится диаграмма вытяжек по пропускам для обжимных клетей крупносортных станов, расположенных на одной линии с подготовительными и чистовыми клетями. Диаграмма показывает резкое неравномерное распределение вытяжки по отдельным пропускам для обжимов 500 завода имени Ворошилова и 550 завода имени Петровского. Величины средней вытяжки за один пропуск для данной группы обжимных клетей весьма низки и находятся в пределах 1,10—1,17, максимальные вытяжки за один пропуск 1,20—1,30.

На фиг. 6 приводится диаграмма вытяжек по пропускам для обжимных клетей, работающих на заготовках весом от 135 до 160 кг. Из диаграммы видно, что величины вытяжек для обжимов станов 250 и 350 Сталинского завода по сравнению с обжимом завода имени Петровского значительно ниже. Средний коэффициент вытяжки для первого при заготовке 125 × 125 мм прокатываемой за 7 пропусков составляет 1,34 (прокатка начинается



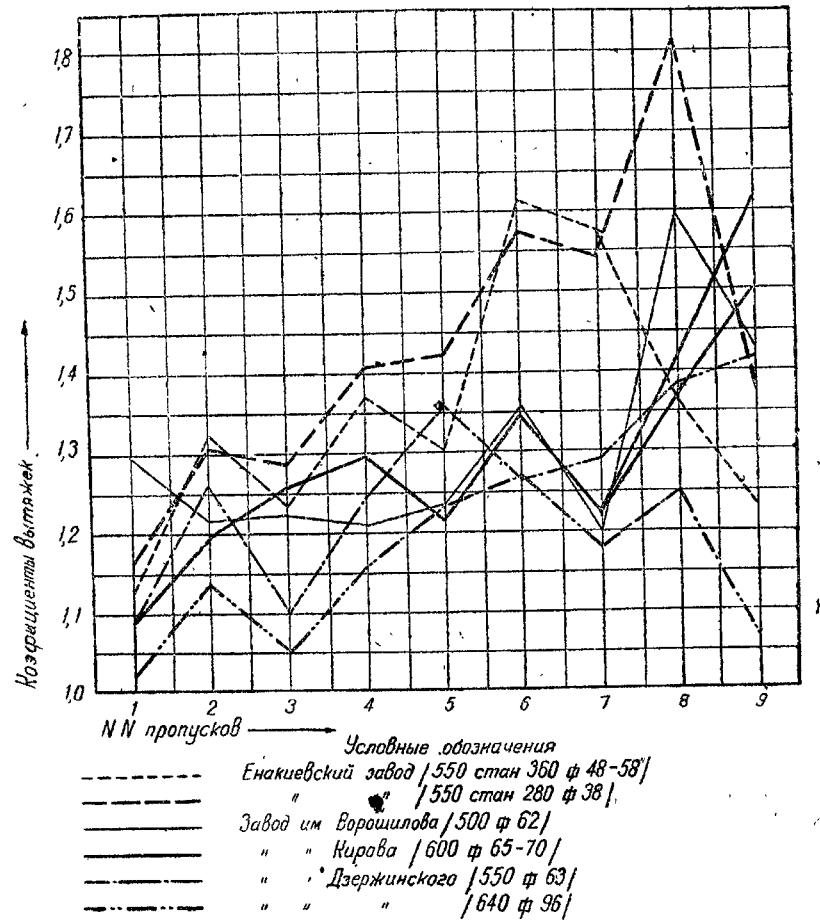
Фиг. 6. Диаграмма вытяжек по пропускам для II группы обжимных клетей, работающих на заготовках весом от 135 до 160 кг



Фиг. 7. Диаграмма вытяжек по пропускам для II группы обжимных клетей, работающих на слитках или заготовках весом от 160 до 190 кг

с пятого калибра); при заготовке 150×150 мм прокатываемой за 11 пропусков средний коэффициент будет 1,24, а для обжимной клети завода имени Петровского средний коэффициент вытяжки 1,38 (включая все калибры).

На фиг. 7 приводится диаграмма вытяжек для обжимных клетей, работающих на заготовках или слитках весом от 160 до



Фиг. 8. Диаграмма вытяжек по пропускам для II группы обжимных клетей, работающих на слитках или заготовках весом от 190 кг и выше

190 кг. Вытяжки по пропускам на обжиме 500 стана 420 завода имени Петровского и обжиме 520 Сталинского завода распределены крайне неравномерно.

На фиг. 8 приводится диаграмма вытяжек для обжимных клетей, работающих на заготовках или слитках весом больше 190 кг.

Сравнивая величины вытяжек и углов захвата на отдельных

обжимных клетях, можно сделать вывод, что на многих обжимных клетях имеются возможности для повышения обжатий и вытяжек и таким образом сокращения числа пропусков и увеличения производительности станов. К таким обжимам, в первую очередь относятся: 550 стана 500 завода имени Петровского, 500 стана 500 завода имени Ворошилова, 500 станов 250 и 350 Сталинского завода, 640 завода имени Дзержинского, 500 стана 400 Сталинского завода и другие.

3. Верхние давления и секундные растяжения

На обжимных станах трио, — прямоугольные калибры, для сбережения места на валках, почти всегда располагаются друг над другом, с таким расчетом, что верхний ручей нижнего калибра (вырез на среднем валке) является нижним ручьем верхнего калибра, т. е. вырез на среднем валке служит и для нижнего и для верхнего калибра.

Такое комбинированное ящичных калибров на трио-обжимных клетях вносит значительное усложнение в их проектирование и работу, в отличие от дуо реверсивных станов.

На трио-обжимных клетях бывает значительная разность рабочих диаметров валков (в калибрах).

На обжимных дуо станах (блюмингах) диаметр нижнего валка в целях предохранения от поломок роликов рабочих рольгангов специально делается на 10—15 мм больше диаметра верхнего валка, т. е. блюминги работают с нижним давлением.

На трио-обжимных клетях работают с верхним давлением, чтобы во избежание оковывания валков прокатываемой штукой ставить выводные проводки только на одном валке — нижнем, при прокатке в нижних калибрах, на среднем, при прокатке в верхних калибрах.

В том и другом случае для достижения цели разность рабочих диаметров валков может быть весьма небольшой, например, Тринкс рекомендует 0,8 мм для валков до 400 мм и 1,6 мм для валков более 400 мм диаметром¹. Но фактически в настоящее время на наших станах разность диаметров делается значительно больше.

В отношении кантовок трио-обжимные клети разделяются на две группы — с кантовкой на передней стороне после четных пропусков и с кантовкой на задней стороне после нечетных пропусков. По удобству работы следует отдать предпочтение способу кантовки с передней стороны, кроме того при этом возможно устанавливать автоматические кантовальные доски.

Величина разности рабочих диаметров или верхнее давление на трио обжимных клетях значительно влияет на работу двигателя и всего стана, на износ валков, качество продукции, прочность валков и соединительных деталей. Хотя конкретных иссле-

¹ Тринкс — „Калибровка валков“, ч. I, стр. 130.

дований о влиянии этого фактора на работу и на качество продукции до сих пор не проведено, но следующий анализ выясняет значение и роль этой величины верхнего и нижнего давления.

Число оборотов верхнего, среднего и нижнего валков всегда одинаково, поэтому окружная скорость валков в какой либо точке калибра пропорциональна их диаметрам. Когда диаметры валков, равны и прямоугольные ручьи вырезаны в верхнем и нижнем валке симметрично, то скорости во всех точках калибра соответственно одинаковы и действие верхнего и нижнего валка на прокатываемую штукку совершенно идентично.

Наоборот, при неравенстве диаметров валков окружная скорость ручья на валке большего диаметра больше, чем соответствующая скорость ручья на валке меньшего диаметра. Прокатываемая штукка захватывается и увлекается валками большего диаметра и по выходе штуки изгибаются в сторону меньшего валка. Условия работы деталей стана при этом весьма тяжелые. Валок большего диаметра стремится через прокатываемую штукку увеличить скорость меньшего валка, но так как число оборотов последнего не может возрасти ввиду того, что валки связаны жестко с шестеренной передачей 1:1, то все ее соединительные детали муфты, шпинделья будут тормозить возрастанию скорости. В этом случае валок меньшего диаметра делается ведущим для своих соединительных деталей. Шпинделья и соединительные детали валка большего диаметра перегружаются. После прохода штуки это действие моментально прекращается и валок меньшего диаметра снова делается ведомым. Ввиду наличия зазора или "игры" в муфтах и шпинделях захват и выпуск прокатываемой штуки каждый раз сопровождается сильными ударами, увеличивается износ трефов валков и соединительных деталей, муфт и шпинделей, а также учащаются поломки их.

Условия деформации металла при прокатке в валках с неравными диаметрами также неблагоприятны. Неодинаковая скорость валков создает тенденцию к неравномерному растяжению металла по сечению. Тенденция к неравномерному растяжению тем больше, чем больше разность диаметров или окружных скоростей валков. Напряжения, вызванные разностью окружных скоростей, особенно велики при насеченных и наваренных валках, препятствующих легкому скольжению металла по поверхности валков.

Разница в окружной скорости между валками в глубине ручьев называется секундным растяжением. При проектировании калибровки трио-обжимных клетей необходимо делать величину секундного растяжения наименьшей, особенно при проектировании калибровки для качественных сталей.

Расположение валков трио-стана и в частности трио-обжима, при котором расстояние между осями среднего и верхнего, и среднего и нижнего валков одинаково и равно диаметрам шестерен, считается нормальным.

Такое расположение конструктивно обеспечивает работу всего

стала, соединительных частей муфт и шпинделей, без перекосов. В этом случае при обычных конструкциях калибров (с кантовкой с передней стороны), неизбежно будут большие верхние давления и секундные растяжения.

При калибровке трио-обжимов обычно задаются величинами расстояний между осями верхнего, среднего и нижнего валков a и b (фиг. 9).

Величин a , b и $(H-h)$ обжатия при передаче из нижнего калибра в верхний достаточно для определения верхних давлений и секундных растяжений. Из фиг. 9 мы имеем следующие соотношения:

$$r_1 + r_3 = b - H,$$

$$r_2 + r_3 = a - h,$$

откуда

$$r_1 = (b - H) - r_3,$$

$$r_3 = (a - h) - r_2.$$

Сумма верхних давлений в обоих калибрах:

$$2(r_3 - r_2) + 2(r_2 - r_1) = 2(r_3 - r_1) = \\ = 2(a - b) + 2(H - h),$$

т. е. сумма верхних давлений равна удвоенной разности между расстояниями a и b , плюс удвоенное обжатие в верхнем калибре.

Какие способы имеются для конструирования калибровок без верхних давлений?

Подойдет к этому вопросу чисто математически. Надо найти условий, при которых будет удовлетворяться равенство:

$$2(a - b) + 2(H - h) = 0.$$

Первое условие. Для того, чтобы приведенное равенство обращалось в нуль, необходимо:

$$2(a - b) = -2(H - h)$$

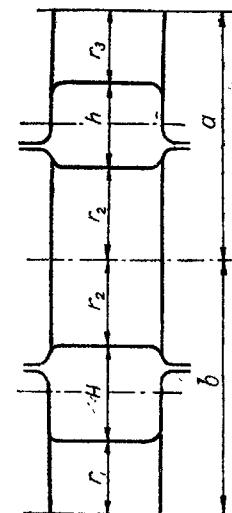
или

$$b - a = H - h,$$

т. е. для того, чтобы секундные растяжения были равны нулю, необходимо, чтобы разница между расстоянием осей нижнего и среднего валков и среднего и верхнего была равна разности высот нижних и верхних сопряженных калибров, т. е. величине обжатия.

На этом принципе построена калибровка обжимной клети $D = 650$ для прокатки специальных сталей¹ (фиг. 10). Здесь

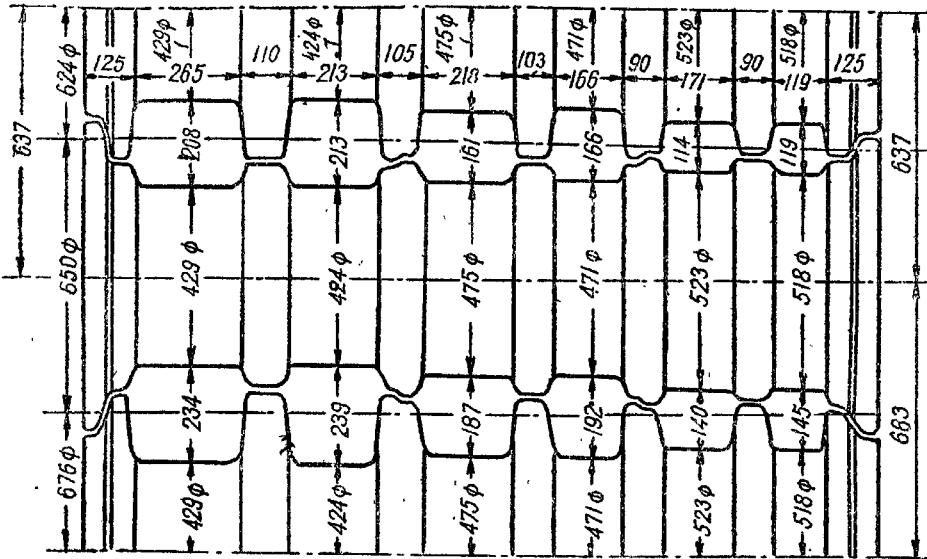
¹ St. u. Eis., 1932 г. Ф. Даль — „Калибровка валков обжимного трио-стана“. Реф. сборник „Мировая техника прокатки“, стр. 55.



Фиг. 9. Прямоугольные калибры на обжимных трио-станах

обжатия во всех пропусках постоянны и равны 26 мм, разница между осями нижнего и среднего, и верхнего и среднего валков также равна 26 мм и во всех сопряженных калибрах рабочие диаметры одинаковы.

Второе условие. Если расстояния между осями валков "а" и "б" равны между собою, то для того, чтобы верхние давления были равны нулю, необходимо иметь $H = h$, т. е. в этом случае высоты всех сопряженных калибров равны между собой, а по-



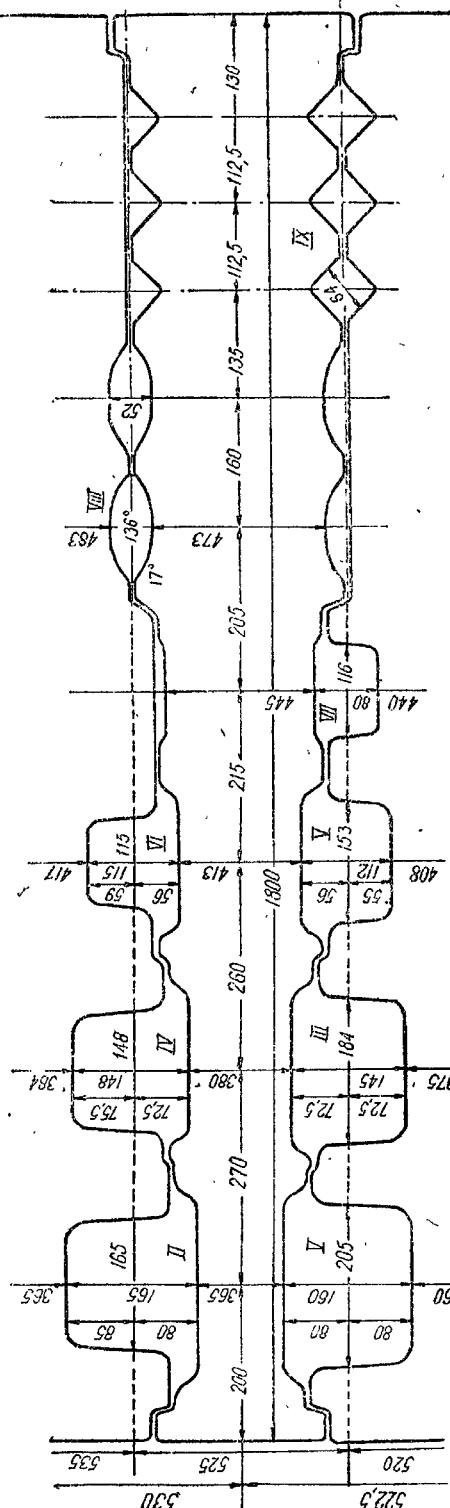
Фиг. 10. Калибровка валков обжимного трио-стана $D = 650$ для прокатки специальных сталей (Ф. Даль)

этому обжатие возможно только с кантовкой при переходе из нижних калибров в верхние, т. е. с задней стороны.

На этом принципе сделан проект калибровки обжима 500 для одного из южных заводов (фиг. 11) калибровщиком Н. П. Калининым.

Практически оба приведенных типа калибровки в чистом виде, т. е. с полным отсутствием верхних давлений, встречаются редко, ввиду того, что в таком случае для предупреждения оковывания валков выводные проводки необходимо было бы ставить и сверху и снизу калибров, т. е. на всех валках. Во избежание этого при конструировании калибровки по первому способу для получения небольших верхних давлений достаточно, чтобы разница между осями ($b - a$) была меньше средней величины обжатия ($H - h$), а при втором способе, чтобы a было больше b на несколько мм.

При работе обжима по первому способу валки и соединительные детали — шпинделы и муфты будут установлены в на-



Фиг. 11. Калибровка валков обжимной клети 500 для станов 300 и 250 завода имени Ворошилова (проект)

клонном положении с перекосом. Условия работы соединительных деталей и трефов валков при этом также тяжелые.

Для улучшения условий работы стана в этом случае необходимо проведение некоторых конструктивных изменений в деталях стана, применение шпинделей с выпуклыми головками, удлинение шпинделей, или как радикальное мероприятие — применение шарнирного сочленения шпинделей со стороны шестереной клети (для новых обжимов). При шарнирных шпинделах устраняются удары, прекращается шум при работе и совершенно устраняется вред от перекосов.

На трио-обжимных станах обычно середина нижних калибров располагается на одной так называемой средней или нейтральной линии. Для прямоугольных калибров эта линия приблизительно совпадает с центром тяжести калибров. Середины верхних калибров обычно несколько смещены по отношению друг к другу. Но при конструировании калибровок совершенно без верхних давлений по обоим приведенным способам середины верхних и нижних калибров будут располагаться также на одной линии, приблизительно совпадающей с центром тяжести калибров.

4. Верхние давления на существующих трио-обжимных станах

После этого краткого анализа принципов конструирования трио-обжимов, перейдем к анализу калибровок обжимов южных заводов.

На фиг. 12—28 приводятся чертежи валков обжимных трио-станов южных заводов.

В таблице 5 (стр. 30) приводятся элементы построения калибров приведенных обжимных трио-валков. Как видно из фигур и таблицы, ни один из обжимов южных заводов по конструкции калибровки полностью не подходит к рассмотренным выше двум типам трио-обжимных клетей, обеспечивающих отсутствие или минимальную величину секундных растяжений.

Расстояние между осями верхних и средних, и средних и нижних валков одинаково только для одного действующего обжима 600 завода имени Кирова (фиг. 13).

Для четырех обжимов: 640 завода имени Дзержинского (фиг. 12), 585 завода имени Фрунзе (фиг. 14) новая калибровка, 500 завода имени Фрунзе (фиг. 21), и 520 Сталинского завода (фиг. 25), расстояние между осями средних и верхних валков меньше, чем расстояние между осями средних и нижних валков.

Величины верхних давлений и секундных

Заводы	Диаметр обжимной клети и станы (мм)	Среднее число оборотов в минуту		1 калибр		2 калибр		3 калибр		4 калибр	
		Верхнее давление (в м.)		Сек. рас.		d		s		d	
		d	s	d	s	d	s	d	s	d	s
Им. Фрунзе	510 стан 305 . . .	96	10	50	12	60	14	70	14	70	
" "	585 старая калибровка . . .	68	21	76	39	140	27	97	45	161	
" "	585 новая калибровка . . .	68	15	53	15	53	19	67	19	67	
Им. Ворошилова	500 стан 300 старая калибровка . . .	56	6	18	60	175	20	58	48	142	
" "	600 стан 300 новая калибровка . . .	60	5	16	5	16	41	130	41	130	
Им. Кирова	500 стан 50 . . .	125	6	40	54	356	6	49	54	356	
Им. Сталина	600 станы 330, 280 . . .	82	13	56	47	202	25	107	51	219	
Орджоникидзенский	500 станы 250, 350 . . .	100	21	110	35	183	25	131	35	183	
" "	520 стан 400 . . .	100	20	105	18	94	20	105	20	105	
Им. Петровского	550 станы 360, 280 . . .	90	48	226	46	217	54	254	46	217	
" "	550	96	5	25	5	25	55	275	5	25	
" "	500 стан 420 . . .	120	6	38	3	12	30	189	36	226	
" "	500 стан 30 . . .	106	-3	-17	14	78	21	116	40	222	
Им. Дзержинского	425 стан 250 . . .	117	8	52	-7	-42	8	49	45	275	
" "	640 стан 500 . . .	90	-	-	-	20	94	35	165		
" "	540 станы 330, 280 . . .	90	28	132	64	301	32	151	64	301	

Для остальных обжимов расстояние между осями верхних и средних валков на 5—8 мм больше, нежели расстояние между осями средних и нижних валков, например, фиг. 28 обжим стана 250 завода имени Петровского. Такая конструкция обжимов, при которых расстояние между осями верхнего и среднего валков больше, чем между осями среднего и нижнего ($a > b$), является нерациональной и приводит к максимальным верхним давлениям и секундным растяжениям.

В таблице 6 приводятся данные о секундных растяжениях по каждому калибру для приведенных обжимных клетей.

Для примера посмотрим величины верхних давлений на обжимных клетях 500 завода имени Фрунзе (фиг. 21), 520 Сталинского завода (фиг. 25) и 550 завода имени Дзержинского (фиг. 16). Для первого верхние давления в миллиметрах по порядку в калибрах: 10, 12, 14, 14, 22, 6; для второго: 20, 18, 20, 20, 13, 10 и для третьего: 28, 64, 32, 64, 24 и 36. На первых двух обжимных клетях расстояние между осями нижнего и среднего валка больше расстояния между осями верхнего и среднего ($b > a$) соответственно на 20 мм (стан 500 завода имени Фрунзе) и 3 мм, а на последней обжимной клети 550 завода имени Дзержинского, наоборот, $a > b$ на 4 мм, вот почему в последнем случае так велики верхние давления.

Таблица 6

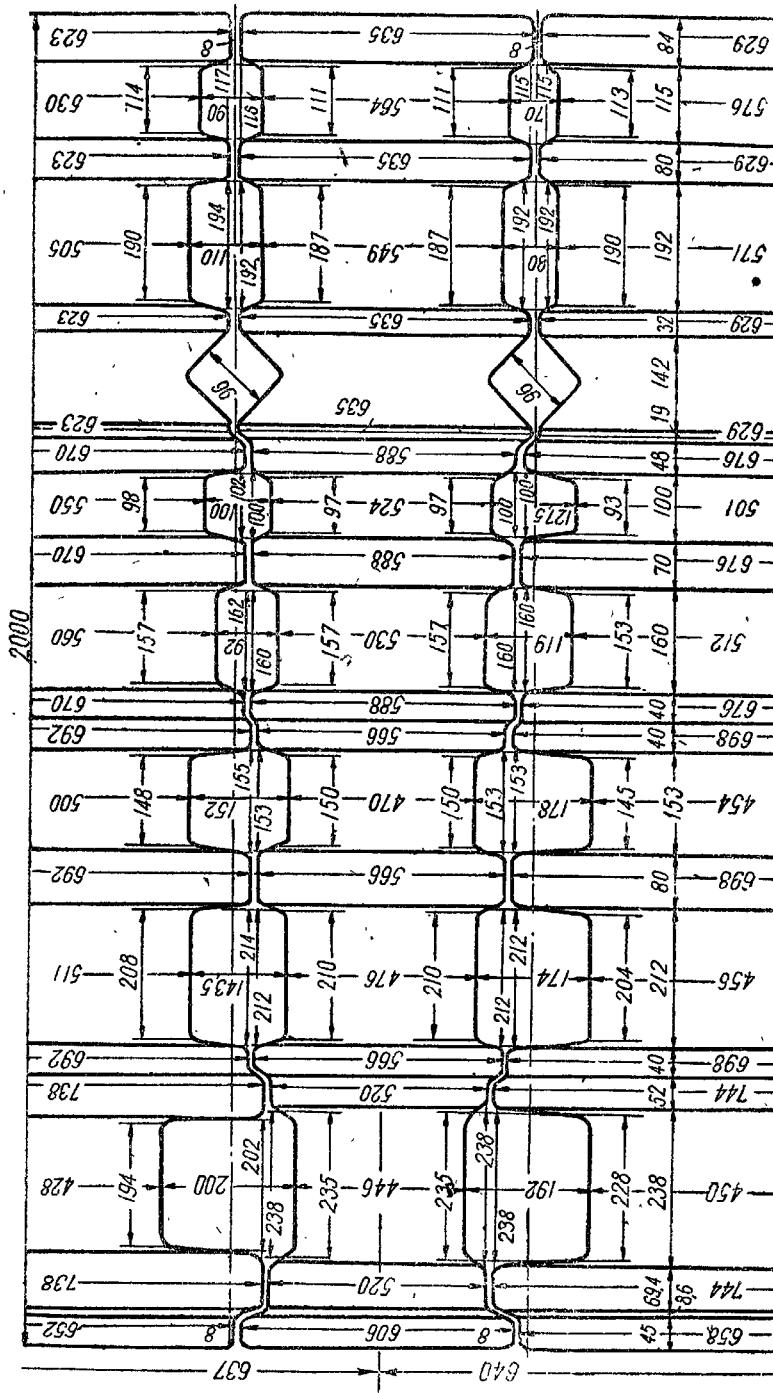
растяжений на трио-обжимных клетях

5 калибр	6 калибр	7 калибр	8 калибр	9 калибр	10 калибр		11 калибр		12 калибр		13 калибр	
					d	s	d	s	d	s	d	s
22	110	6	30	6	30	6	30	6	30	—	—	—
27	97	43	155	15	54	25	90	19	68	31	112	13
17	61	17	61	5	18	5	18	15	53	15	53	7
30	106	8	23	42	123	-1	3	10	59	—	—	—
5	16	5	16	5	16	3	10	3	10	—	—	—
22	145	18	119	6	39	24	159	5	33	5	33	6
37	119	23	98	41	176	25	107	15	64	25	107	15
25	131	31	162	15	78	5	26	5	26	—	—	—
13	68	10	53	20	105	12	63	6	31	—	—	—
4	19	6	28	4	19	6	28	4	19	—	—	—
5	25	55	275	47	236	5	25	47	236	5	25	35
25	117	25	117	25	117	47	221	21	99	23	108	33
29	183	37	232	6	38	—	—	—	—	8	50	13
-7	39	10	56	—	10	56	—	—	—	—	—	—
26	159	33	202	—	9	55	—	—	—	—	—	—
16	75	30	142	18	84	30	142	23	108	26	122	—
24	112	36	170	4	19	4	19	4	19	—	—	—

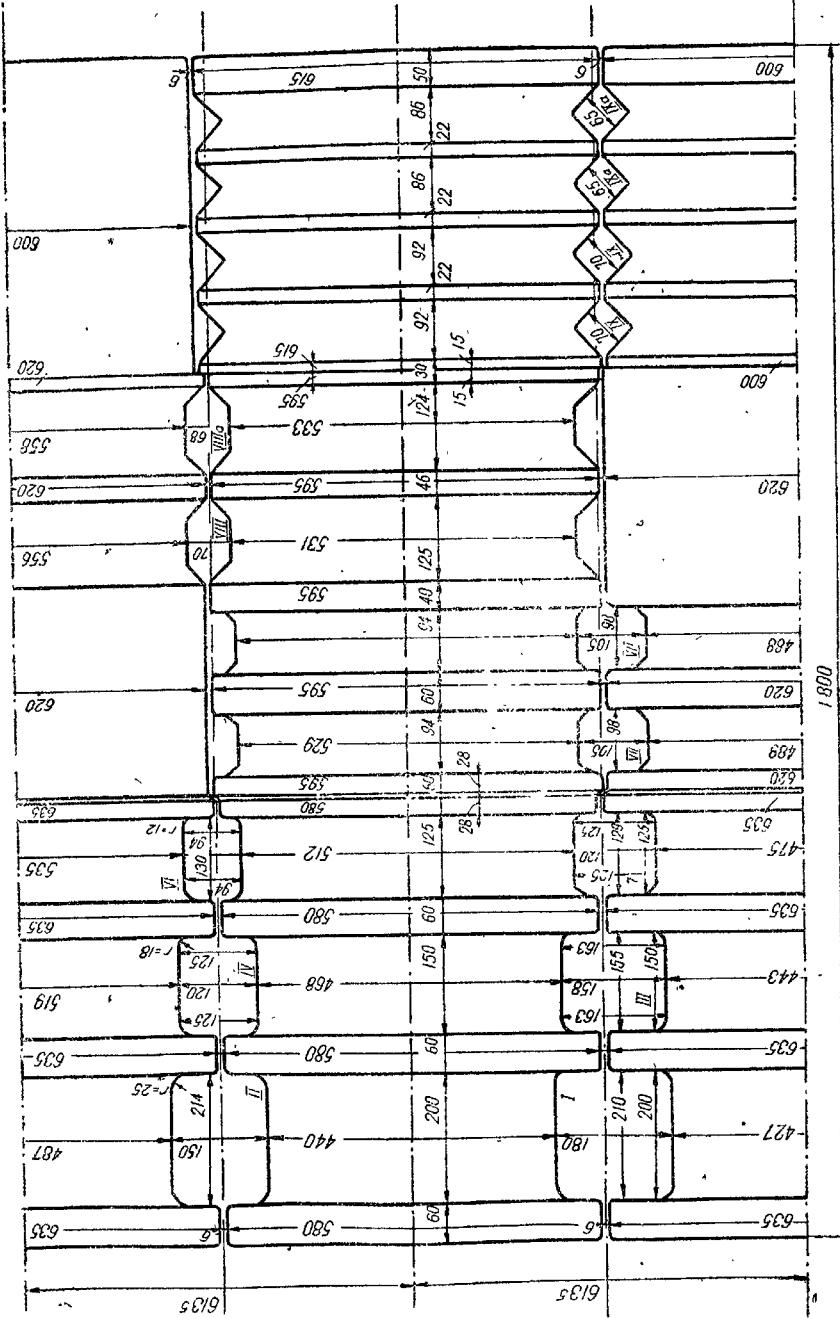
Таблица 5

Элементы построения ящичных калибров на трио-обжимных станах

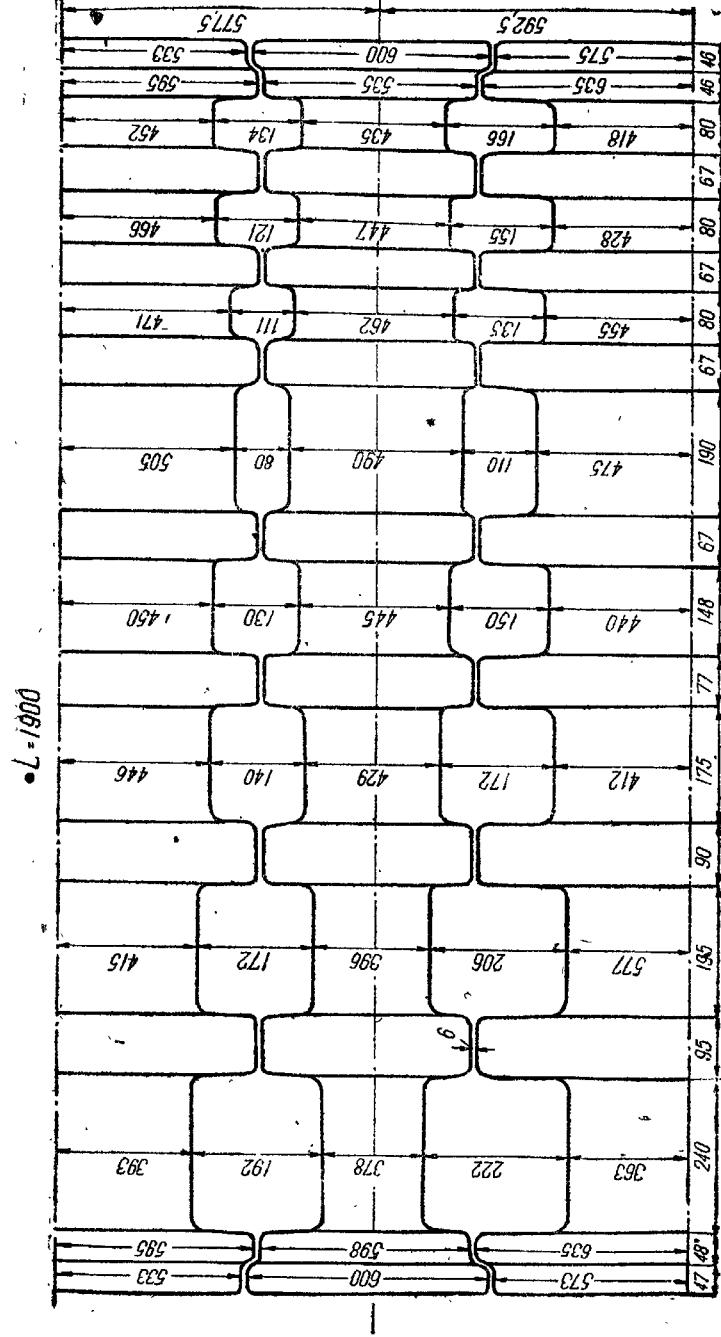
Заводы	Диаметры валков обжимных клетей в м.м.	$\frac{H+h}{4}$		Глубина вреза в тело среднего вала в м.м.	Параметры калибра
		Боевое рабочее напряжение в т.н.	Боевое рабочее напряжение в т.н.		
Имени Дзержинского	640 старая калибровка	98	79,5	38	45
Имени Кирова	600 станицы 330, 280	82,5	69,5	78	59
Имени Фрунзе	535 новая калибровка	103,5	93,5	80	71
Имени Дзержинского Орджоникидзенский	585 старая калибровка	102,5	94	77,5	69
"	550 станицы 330, 280	77	540	48	52
Имени Петровского	550 стан 360	67	540	75	45
"	550 стан 280	67	540	66	53,5
Имени Фрунзе	500 стан 420	70,5	530	91	56
Имени Ворошилова	500 стан 305	59	474	41	36,5
"	500 стан 300 старая калибровка	59	500	59	61
Имени Сталина	600 стан 300 новая калибровка	68	500	71,5	45
Имени Петровского	500 стан 500	94	608	69	60
"	520 стан 400	68	459	66	48
Имени Петровского	500 станы 250, 350	66	520	68	46,5
"	500 стан 330	67	480	68,5	53
"	425 стан 250	58	478	39	27
		61,5	435	41	40
		61,5		10,5	



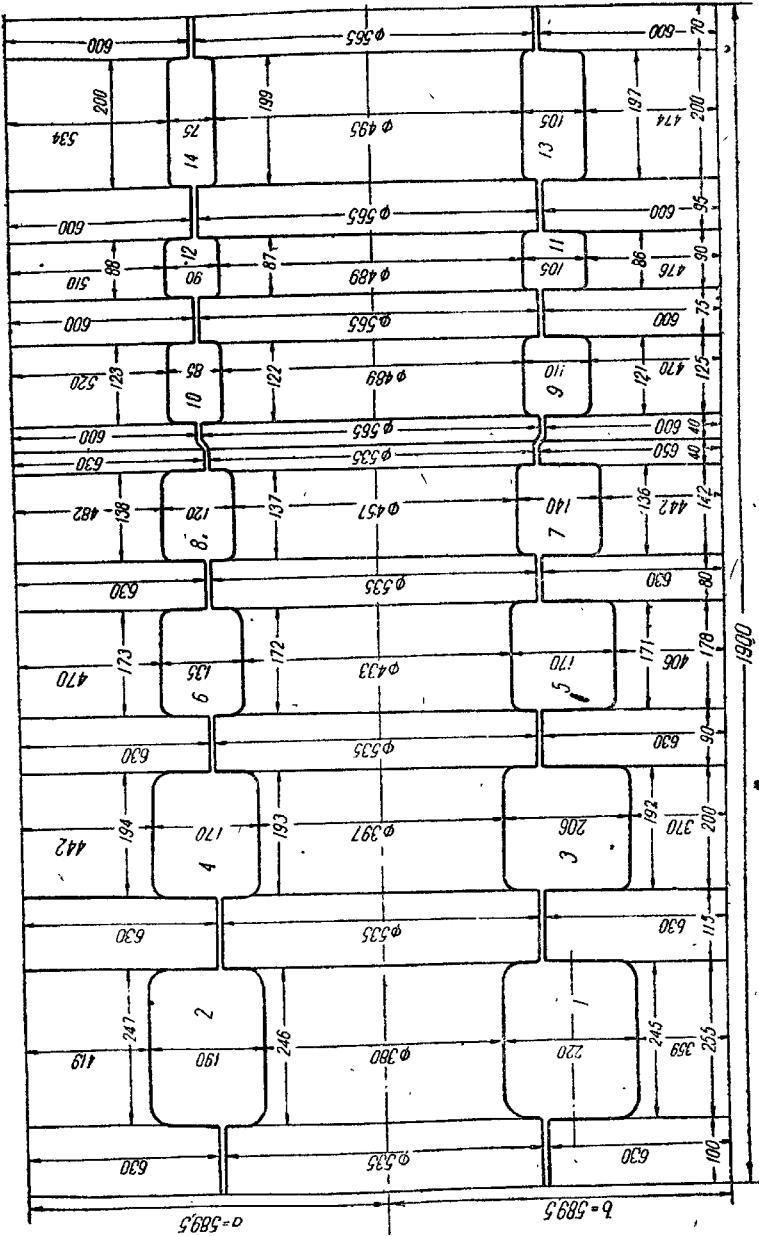
Фиг. 12. Калибровка валков обжимной клети 640 стана 500 завода имени Дзержинского



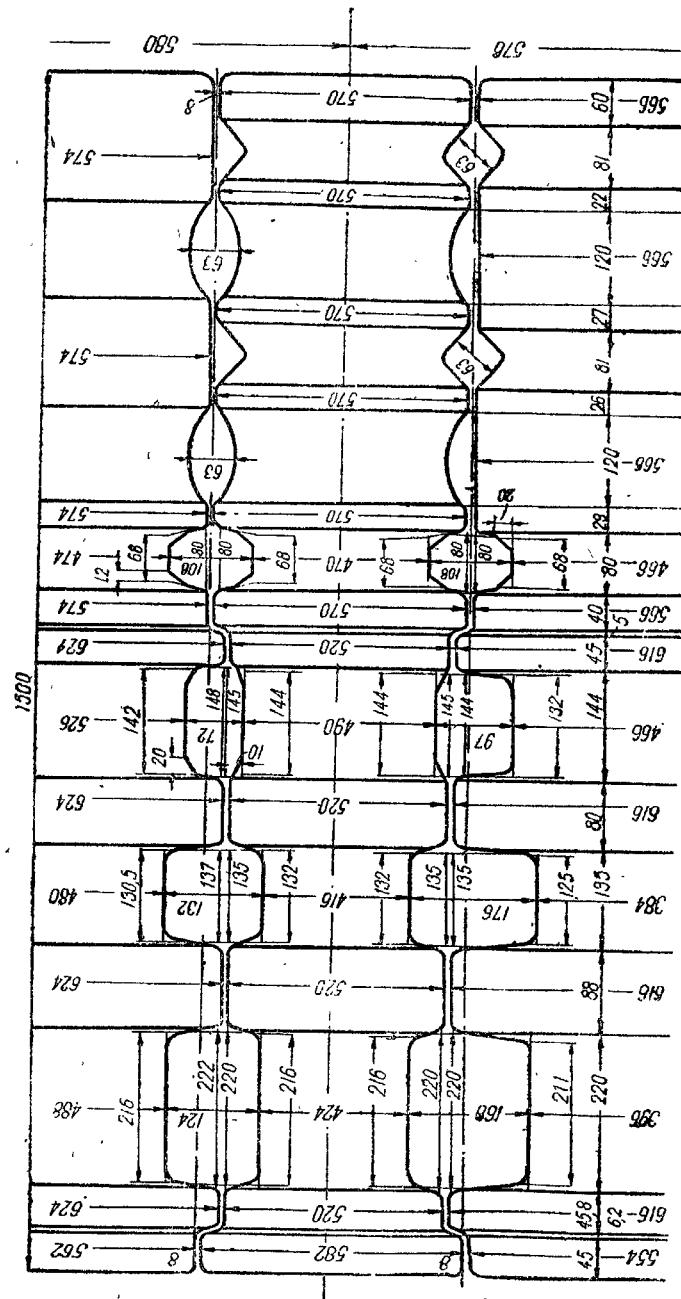
Фиг. 13. Калировка валков обжимной клети 600 стана 330 и 280 завода имени Кирова



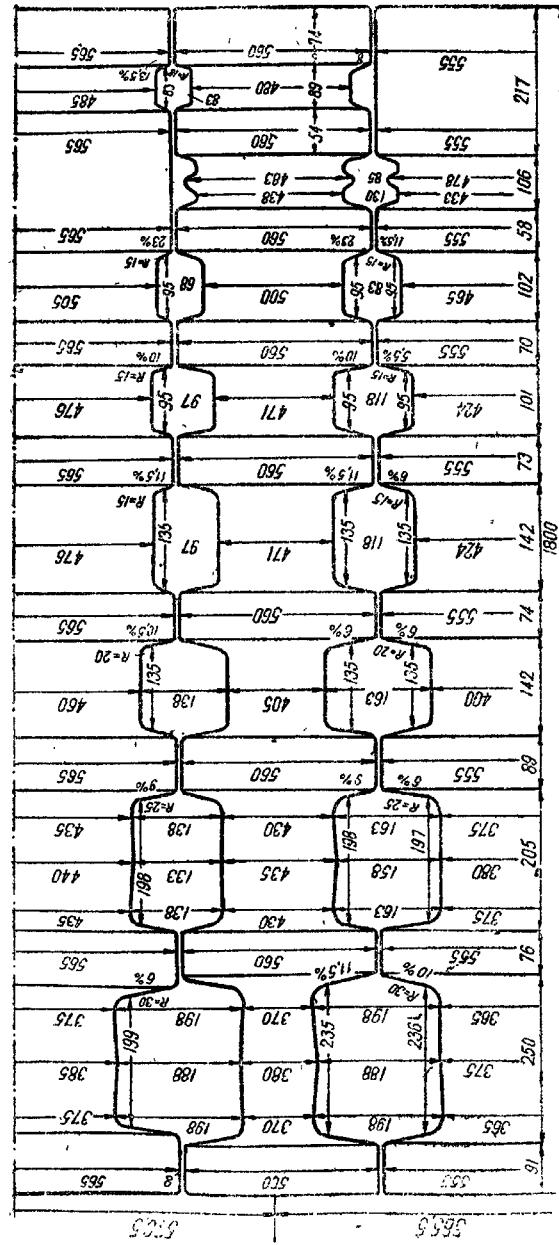
Фиг. 14. Калировка валков обжимной клети 585 стана 585 завода имени Фрунзе (новая)



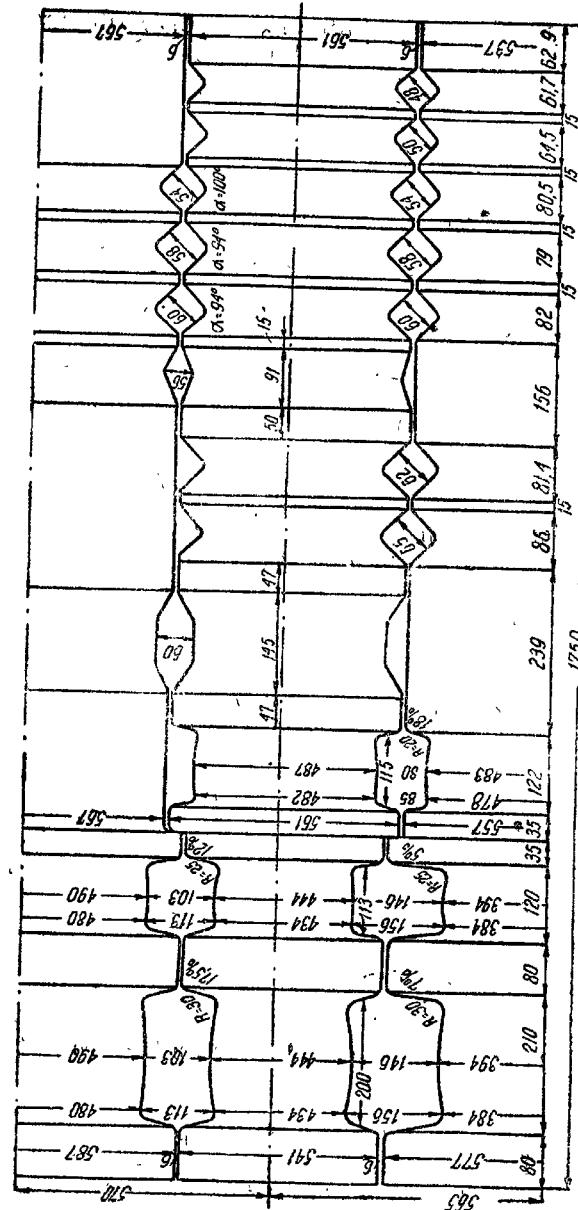
Фиг. 15. Калибровка валков обжимной клети 585 стана 585 завода имени Фрунзе (старая)



Фиг. 16. Калибровка валков обжимной клети 550 станов 330 и 280 завода имени Дзержинского



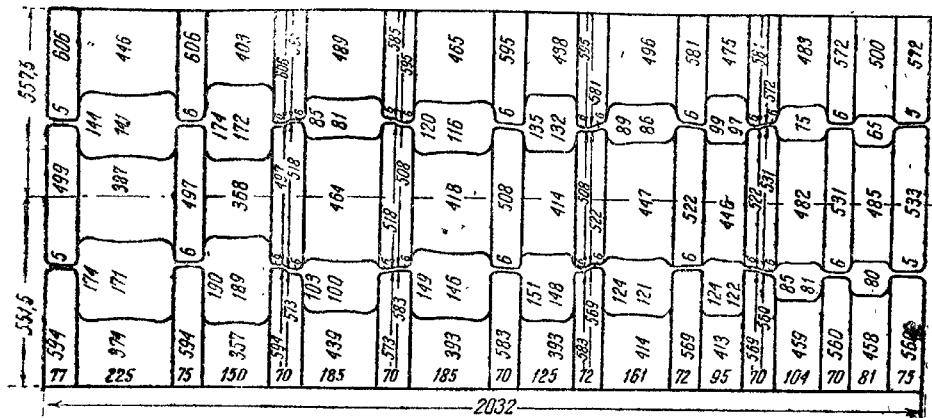
Фиг. 17. Калибровка валков обжимной клети 550 стана 550 Орджоникидзенского завода



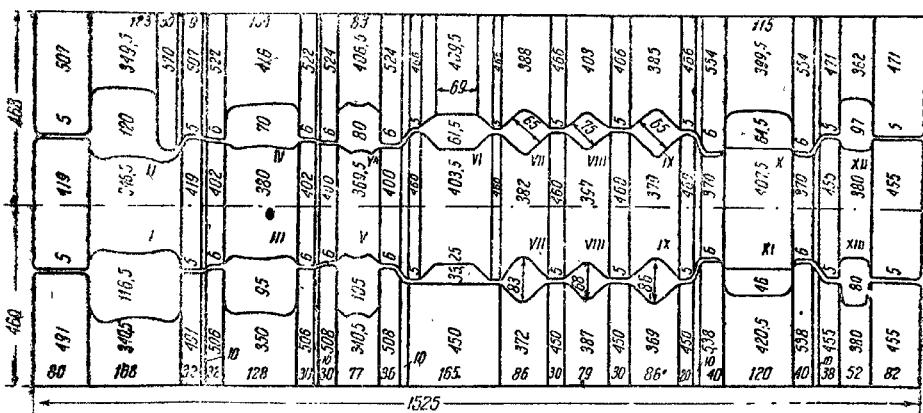
Фиг. 18. Калибровка валков обжимной клети 550 стана 360 Орджоникидзенского завода

Абсолютные величины верхних давлений на обжимах южных заводов доходят до 50—64 мм (обжим 550 завода имени Дзержинского, фиг. 16 и др.), а соответствующие им секундные растяжения до 301—356 мм/сек.

Необходимо исправить калибровки многих обжимных клетей, сведя величины верхних давлений к минимуму 5—10 мм, при-



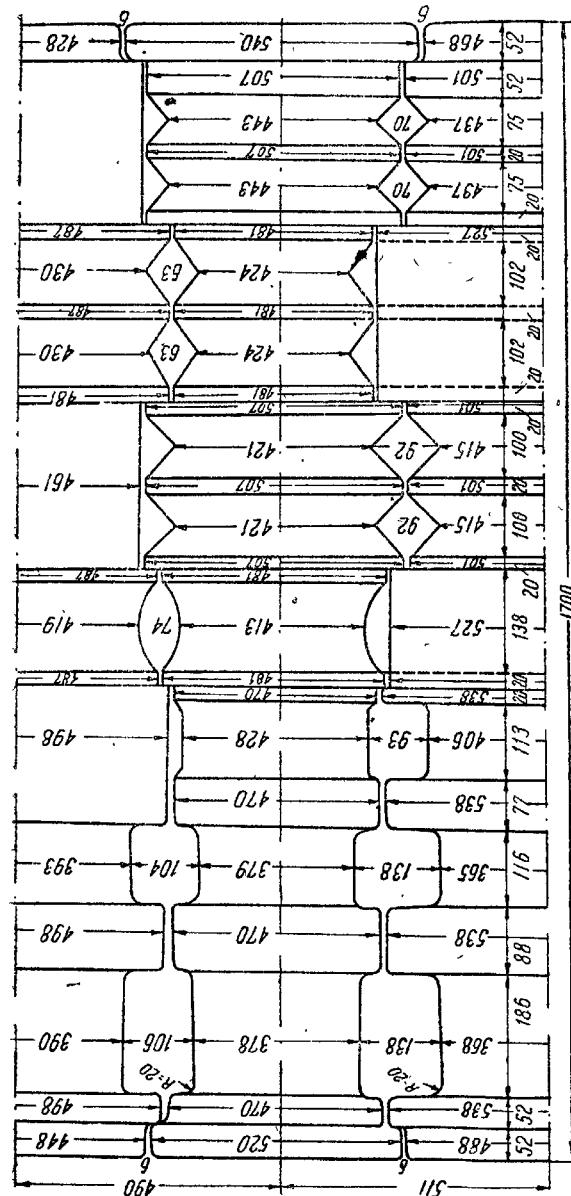
Фиг. 19. Калибровка валков обжимной клети 550 стана 550 завода имени Петровского



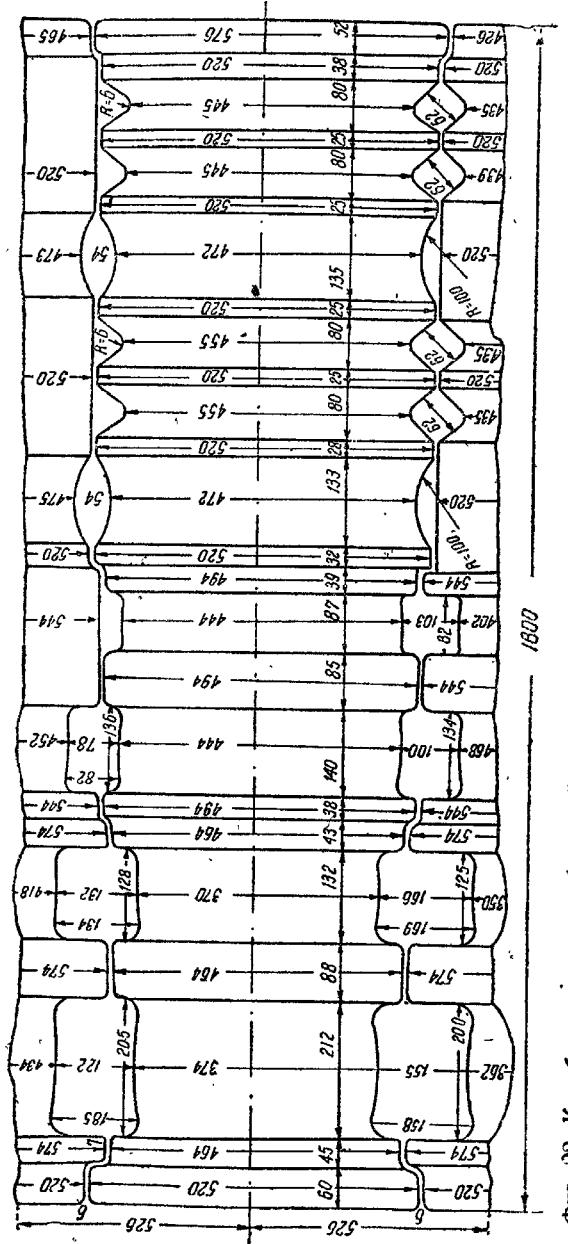
Фиг. 20. Калибровка валков обжимной клети 500 стана 420 завода имени Петровского

чем и соответствующие им секундные растяжения не превышают 40—60 мм/сек. При этом значительно улучшатся условия работы стана и условия деформации металла, что приведет к повышению качества проката.

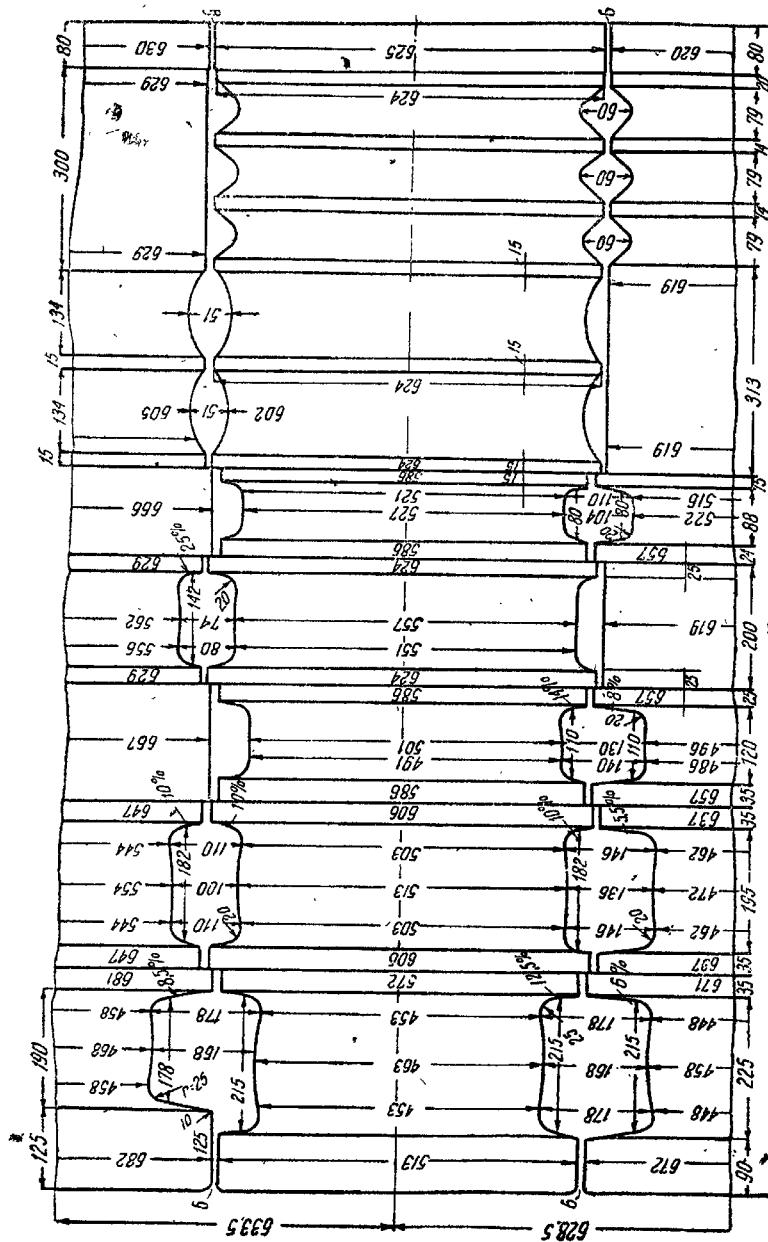
Примером перекалибровки обжимной клети с целью уменьшения верхних давлений, проведенной в 1935 году, может служить перекалибровка обжимной клети стана 585 завода имени Фрунзе (фиг. 14 и 15). При старой калибровке величины верх-



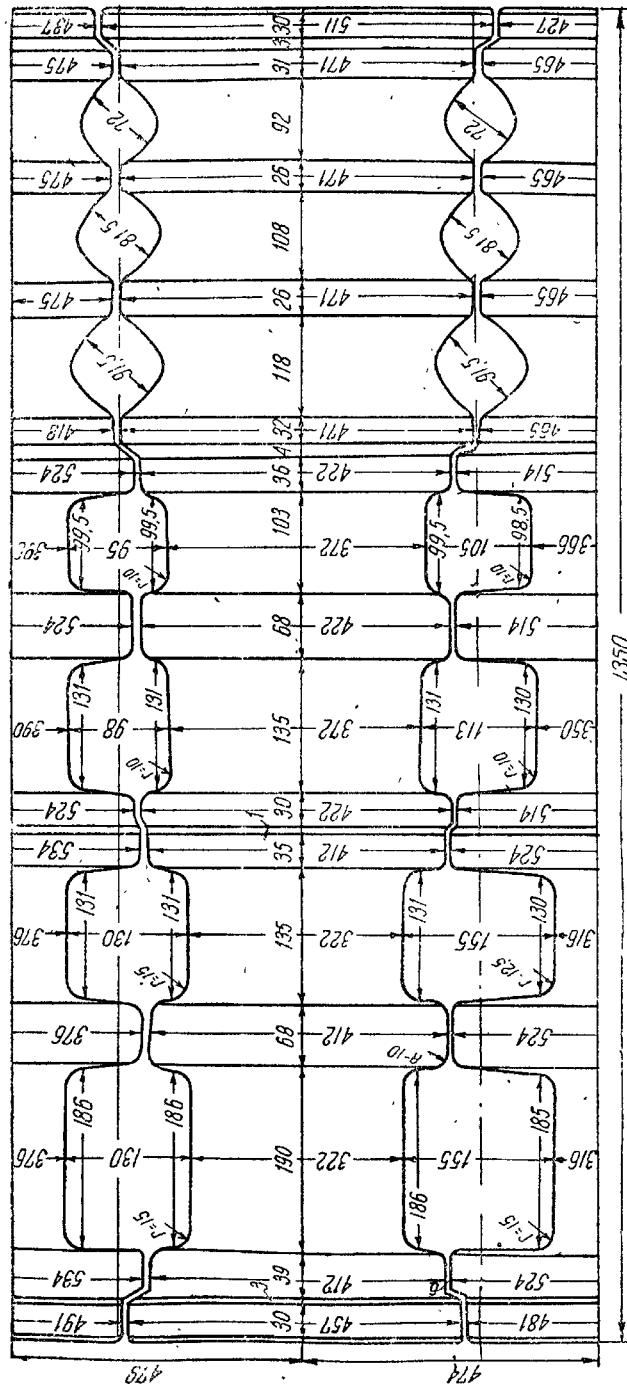
Фиг. 21. Калибровка валков обжимной клети 500 стана 305 завода имени Фрунзе



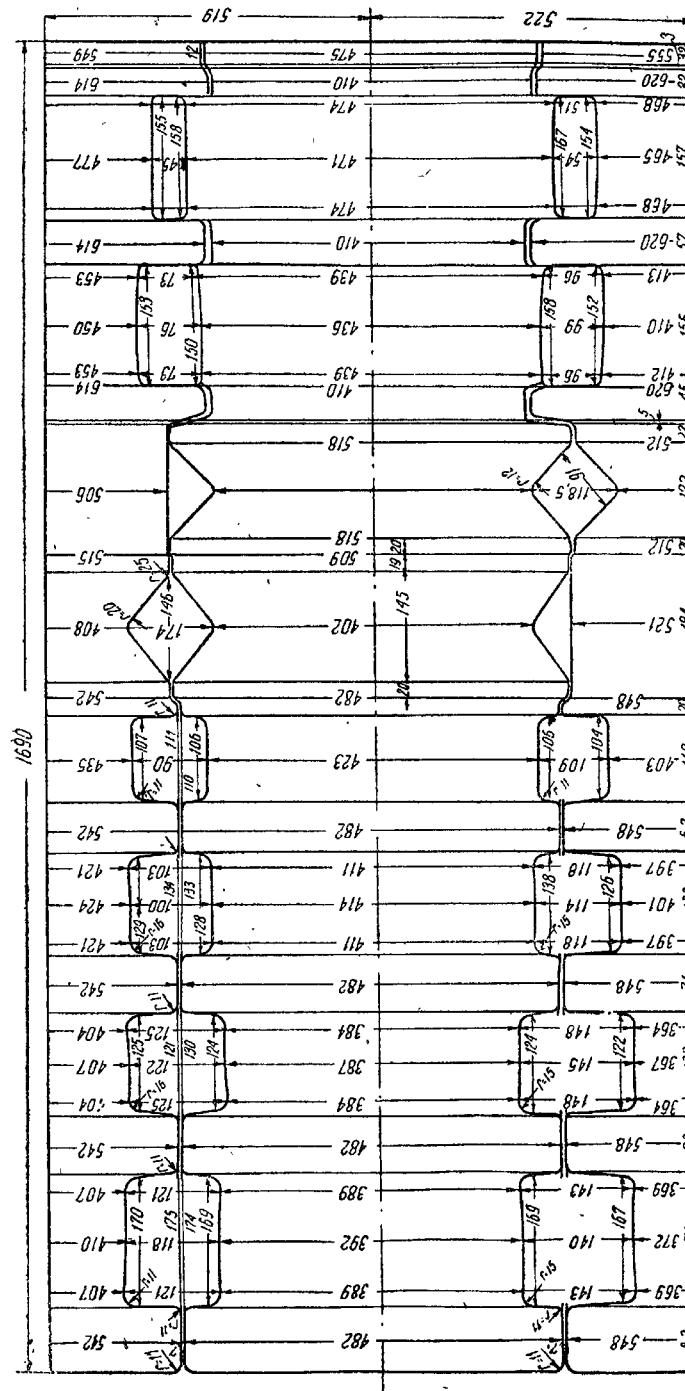
Фиг. 22. Калибровка валков обжимной клети 500 станов 300 и 250 завода имени Ворошилова (старая)



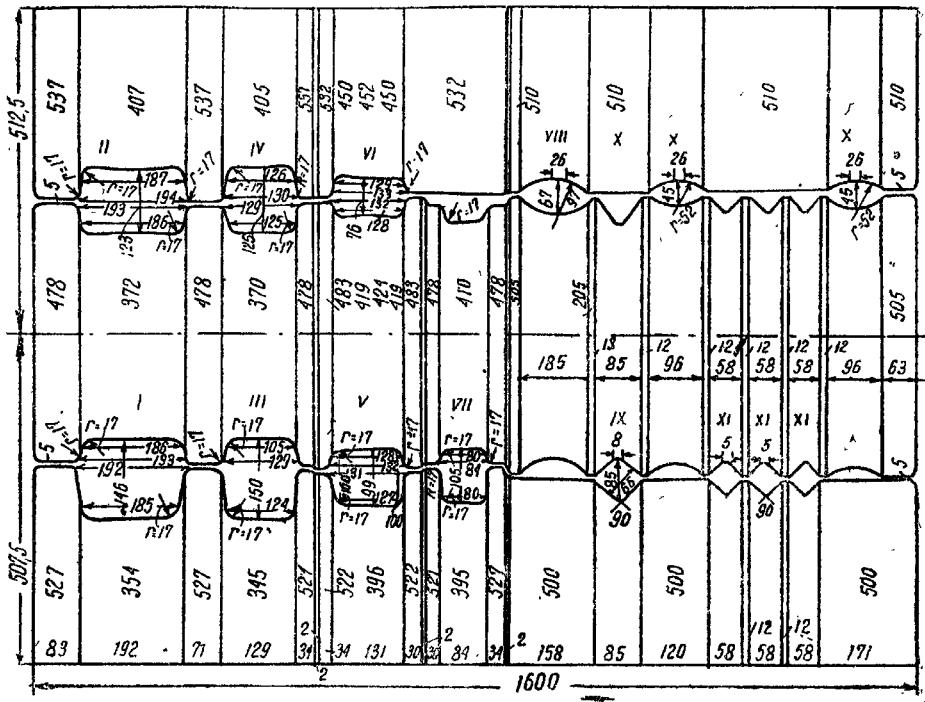
Фиг. 23. Калибровка валков обжимной клети 600 станов 300 и 250 завода имени Ворошилова (новая)



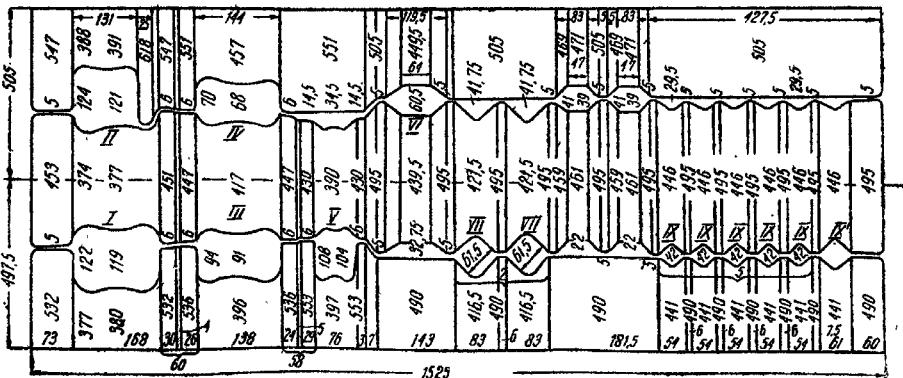
Фиг. 24. Калибровка валков обжимной клети 500 стана 500 завода имени Ворошилова



Фиг. 25. Калибровка валков обжимной клети 520 стана 400 Сталинского завода



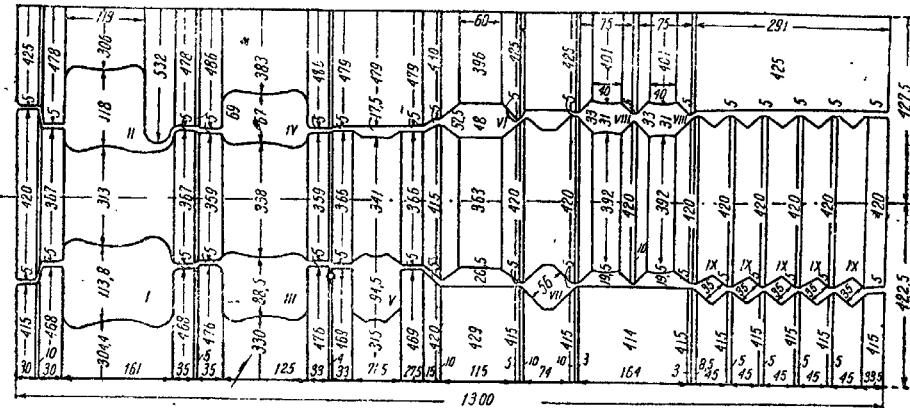
Фиг. 26. Калибровка валков обжимной клети 500 станов 350 и 250 Сталинского завода



Фиг. 27. Калибровка валков обжимной клети 500 стана 330 завода имени Петровского

них давлений были по порядку 21, 39, 27, 45, 15; при новой калибровке эти величины значительно уменьшены: 15, 15, 19, 17, 17, 15.

В данном примере уменьшение верхних давлений и секундных растяжений достигнуто за счет уменьшения расстояния



Фиг. 28. Калибровка валков обжимной клети 425 стана 250 завода имени Петровского

между осями верхнего и среднего валков по сравнению с расстоянием между осями среднего и нижнего валков. При старой калибровке эти расстояния были одинаковы и равны 589,5 мм, при новой—эти расстояния соответственно 577,5 мм и 592,5 мм. Небольшой перекос соединительных деталей, шпинделей и муфт, получающийся при этом на работе стана, нужно полагать, отражается менее вредно, чем большие величины верхних давлений.

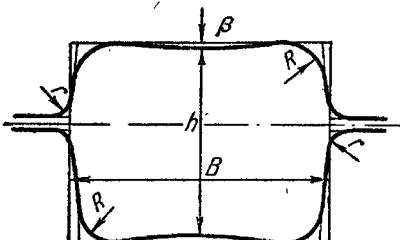
вая и вторая пары калибров применяются при кантовке с передней стороны перед нечетными пропусками, третья и четвертая пары — при кантовке с задней стороны перед четными пропусками.

ГЛАВА III

ПОСТРОЕНИЕ КАЛИБРОВ, ПРИМЕНЕНИЕ НАСЕЧЕК^{*} И НАВАРОК НА ОБЖИМНЫХ ТРИО-СТАНАХ

1. Элементы построения прямоугольных калибров

На фиг. 29 приводится схема построения ящичного калибра. Для крупных прямоугольных калибров на обжимных дуо-станах (блюмингах) глубина врезов в верхний и нижний валки делается одинаковой и равной половине высоты калибра.



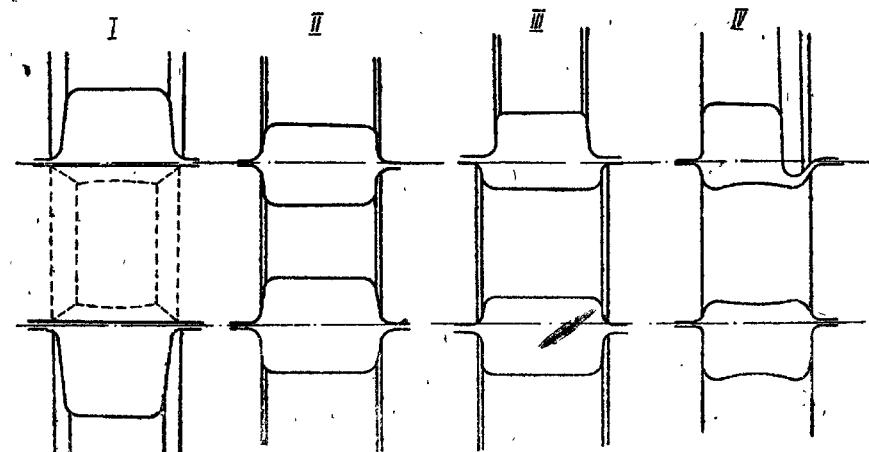
Фиг. 29. Схема построения прямоугольного (ящичного) калибра

валков штуки (при малых размерах), полезно ширину того ручья в калибре, глубина которого меньше, делать больше на 2—3 мм, для того, чтобы незначительный осевой сдвиг валков, всегда возможный на практике, не оказывал скручивающего действия возникающей при этом парой сил.

Почти на всех наших обжимах глубина выреза в средние валки значительно меньше величины $\frac{1}{4}(H+h)$, рекомендуемой многими авторами (см. таблицу 5) и доходит на некоторых из них до половины указанной величины. Исходя из условий работы среднего валка — относительно больший износ калибров и проч., уменьшение глубины выреза в теле среднего валка следует считать правильным.

Одним из преимуществ меньших вырезов в теле средних валков является увеличение срока службы их. При этом при переточках валков толщина стружки, снимаемой с тела среднего валка для восстановления изношенных калибров, меньше, а для нижних и верхних валков — больше.

На фиг. 30 приводятся типы комбинированных прямоугольных калибров, встречающиеся на трио-обжимных клетях. Пер-

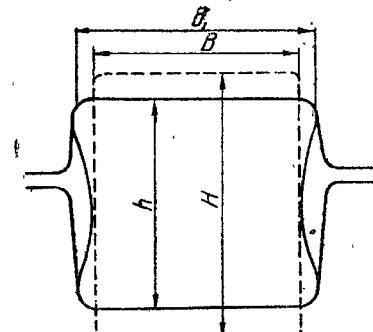


Фиг. 30. Типы прямоугольных калибров на обжимных трио-станах

В ящичных калибрах разъем валков нормально должен лежать на одной горизонтали и обе половины калибра (ручьи) должны быть симметричными по отношению к вертикальной линии, проходящей через середину калибра. В противном случае, как показано на фиг. 30 для четвертой пары, действие боковых стенок калибра на прокатываемую штукку будет не одинаково. Кроме того, при наличии выпуклости в калибре будет неравномерное и несимметричное обжатие, приводящее к сворачиванию или изгибу прокатываемой штукки, возможно также "зарезание" металла буртами. Такая форма калибров желательна только при сравнительно глубоких вырезах в средний валок. При неглубоких вырезах в теле средних валков надо рекомендовать при менять третий тип калибров.

Фиг. 31. Характер свободного уширения, при прокатке в ящичных калибрах на обжимных станах

При встречающихся на трио-обжимных клетях соотношения раз меров прокатываемых штук к диаметрам валков $\frac{h}{D}$ (где h — толщина прокатываемых штук), величинах трения на поверхности соприкосновения металла с валками, температурах и скоростях прокатки, — уширение прокатываемых штук имеет характер, представленный на фиг. 31, т. е. у поверхностей соприкосновения



металла с валками уширение больше. Вследствие этого, применение первого типа ящичных калибров, встречающееся, главным образом, при прокатке полосового железа, ни в коем случае не следует рекомендовать на трио обжимных клетях. Опыт завода имени Фрунзе, применявшего этот тип калибров на обжиме 500 стана 305, подтверждает, что ввиду указанного специфического характера уширения здесь металл постоянно выдавливается в зазоры и образует заусенцы. Возможное исправление формы калибров при этом показано пунктиром.

О выпусках

Величины применяемых выпусков в прямоугольных калибрах наших обжимных клетей чрезвычайно разнообразны (см. таблицу 5). На некоторых заводах, как например, завод имени Ворошилова, на обжиме 600 указанные величины делаются в пределах $6 \div 14\%$, а на обжиме 500 — $13 \div 28\%$. На обжимах Орджоникидзенского завода выпуски делаются в пределах $7 \div 18\%$, а на большинстве заводов выпуски делаются очень малыми: на заводе имени Петровского $1,5 \div 5,5\%$, а на заводах имени Фрунзе и имени Кирова — $3 \div 4$, имени Дзержинского — $3 \div 8\%$, на Сталинском заводе $2 \div 7\%$.

Основное назначение уклона стенок в ящичных калибрах, т. е. выпуска, состоит в облегчении выхода прокатываемой штуки и в возможности сохранения размеров калибра по ширине при переточках.

Малые величины выпусков — $3 \div 4\%$ если и обеспечивают правильный выход прокатываемой штуки, то совершенно недостаточны для обеспечения сохранения первоначальных размеров калибра после переточек. Для восстановления первоначальной ширины калибров в этом случае пришлось бы значительно углубиться в тело валка. Например, при выпуске в 3% для восстановления износа $0,5 \text{ мм}$ пришлось бы снять по диаметру $\frac{0,5}{0,03} = 17 \text{ мм}$, а при выпуске 10% требуется снять всего:

$$\frac{0,5}{0,10} = 5 \text{ мм.}$$

Поэтому, на обжимах, где имеются малые выпуски, например: обжиме 600 завода имени Кирова и обжимах 585 и 500 завода имени Фрунзе и других, размеры калибров по ширине после ряда переточек получаются значительно больше первоначальных размеров.

Условия деформации металла при этом ухудшаются, обжатие металла происходит со свободным уширением, захват металла валками ухудшается — происходит образование заусенцев и катков. Почти все обжимные клети южных заводов сильно страдают этим недостатком, за исключением обжимных клетей заводов имени Ворошилова и Орджоникидзенского.

Материалом для валков обжимных станов на всех заводах является сталь типа 4-5. Недостаток высококачественных режущих инструментов в вальцетокарных мастерских не позволяет перейти на валки из более твердых сталей, например, сталь 7, стали с повышенным содержанием марганца и другие.

Срок службы валков за одну переточку составляет примерно от 5 до 10 дней. Столь быстрый износ валков объясняется не только недостаточно высоким качеством материала валков, но также и низким и неравномерным нагревом металла для прокатки.

Толщина снимаемой стружки по диаметру при переточке зависит от износа чистовых выпускных калибров, которые при переточке должны полностью восстанавливаться. В большинстве случаев толщина стружки составляет $10 \div 12 \text{ мм}$; валки выдерживают 4—5 переточек, в результате общее уменьшение диаметра валков, учитывая, что диаметры новых валков обычно на $20 \div 40 \text{ мм}$ больше номинального, составляет в среднем 10% от номинального диаметра валков.

Износ прямоугольных калибров по ширине за 5—10 дней работы нормально не превышает $2 \div 3 \text{ мм}$ на обе стороны, следовательно для восстановления ширины калибров при выпуске 5% необходимо снять по диаметру $\frac{1,5}{0,05} = 30 \text{ мм}$, а при выпуске 10% $\frac{1,5}{0,10} = 15 \text{ мм}$.

Отсюда мы видим, что ширина прямоугольных калибров при переточках восстанавливается при выпусках 10 и более процентов.

Применение ящичных калибров с ограниченным уширением и величинами выпусков в пределах $10 \div 15\%$ улучшает условия захвата металла валками при прокатке. При увеличенных обжатиях, чтобы избежать насечек или наварок и вместе с тем не ухудшить условия захвата металла валками, надо применять этот принцип конструирования калибров.

Хорошей иллюстрацией этого положения являются обжим 600 завода имени Кирова и обжим 600 завода имени Ворошилова. Оба обжима работают весьма интенсивно, углы захвата на обжиме 600 завода имени Ворошилова в калибрах по порядку $24^{\circ}35'$, $24^{\circ}30'$, $20^{\circ}40'$, $21^{\circ}10'$, $28^{\circ}22'$, $23^{\circ}15'$, $23^{\circ}00'$, $18^{\circ}27'$, $20^{\circ}15'$, число оборотов валков 65 в минуту. Углы захвата на обжиме 600 завода имени Кирова соответственно: $17^{\circ}30'$, $20^{\circ}45'$, $24^{\circ}45'$, $22^{\circ}40'$, $20^{\circ}10'$, $19^{\circ}50'$, $18^{\circ}00'$, $21^{\circ}15'$, $16^{\circ}28'$, число оборотов валков 82 в минуту. Обжим завода имени Кирова имеет малые выпуски $3 \div 4\%$, обжим завода имени Ворошилова работает с ограниченным уширением, выпуски в калибрах большие¹. В результате захват металлов валками на последнем хорошо обеспечивается без рез-

¹ Это особенно было характерно для старого обжима 500, где выпуски были в пределах $10 \div 21\%$, калибры строились с ограниченным уширением и валки почти совсем не насекались.

ких насечек, а на обжиме 600 завода имени Кирова для обеспечения захвата применяется самая грубая насечка из всех южных заводов. Правда, здесь захват несколько ухудшается тем, что скорость прокатки значительно выше, но зато и углы захвата значительно меньше.

Увеличением выпусков и ограничением уширения здесь, как и на других заводах, возможно добиться значительного смягчения насечек или полного удаления их в некоторых калибрах.

Применение чрезмерно больших выпусков в прямоугольных калибрах, вырезанных неодинаково по глубине в теле двух валков, приводит к неравномерным обжатиям и сворачиванию штуки при следующем пропуске после кантования. Преимущества больших выпусков для работы полностью выявляются при величине их 10—15%, так что применение выпусков значительно больше указанного предела в обычных ящичных калибрах не является целесообразным.

В некоторых случаях было бы целесообразно построение ящичных калибров производить с различными величинами выпусков по глубине ручьев. Такие калибры имели бы то преимущество, что в глубине ручьев, т. е. там, где металл имеет максимальное стремление уширяться, боковые стенки калибра лучше поддерживали бы металл, на линии же разъема валков запас на уширение при этом получается больше и перевыполнение калибра металлом избегается. Этот метод построения прямоугольных калибров на южных заводах не применяется.

Выпуклость ручьев

Основное назначение выпуклости в глубине прямоугольных ручьев,— это предупреждение образования заусенцев после кантования при обжатии и предупреждение смятия выступов от насечек (бортами валков). Следовательно выпуклости надо делать в тех калибрах, после которых производится кантовка прошиваемой штуки. Кроме того, применение выпуклости смягчает удары при захвате и выпуске металла, придает штуке на роликах рольганга большую устойчивость. Отрицательной стороной выпуклости является неравномерное обжатие и некоторое ухудшение захвата металла валками.

Необязательно всякий прямоугольный калибр делать с выпуклостью, как это рекомендуется в некоторых руководствах по калибровке¹, в которых само построение ящичных калибров связано с получением некоторой выпуклости, в зависимости от выпусков и ширины калибров, условием, чтобы угол между гранями в глубине ручьев был равен 90°, следовательно, чем больше выпуск, тем больше получаются и выпуклости.

По Тринкесу величина выпуклости должна быть не менее 5% от обжатия в калибре и может доходить до 20% от обжатия. На наших обжимных клетях величины выпуклости значительно

меньше (таблица 5). Некоторые обжимы совершенно не имеют выпуклостей.

На заводе имени Петровского выпуклость во всех обжимных клетях принята 1,5 мм, наибольшие выпуклости имеют обжимные клети Орджоникидзенского завода и завода имени Ворошилова 2,5—5 мм, что в зависимости от обжатия в них как раз примерно составляет 12—20% от обжатия.

Построение ящичных калибров с выпуклыми горизонтальными гранями значительно облегчает работу калибровщика, позволяя ограничивать уширение.

Применение выпуклостей имеет смысл и оправдывается только при прокатке с ограниченным уширением. Выпуклости в ряде калибров с большими запасами на уширение совершенно нерациональны с точки зрения деформации металла.

Необходимо отметить, что в большинстве наших заводов преимущество рационального применения выпуклостей не используется в достаточной мере.

Закругления и притупления в ручьях

Главное назначение закругления — избежать резкого остывания штуки в процессе прокатки по углам и избежать образования заусенцев. Притупления бортов делаются также во избежание образования заусенцев и зарезин. Для предварительного определения радиусов закруглений в глубине ручьев и притуплений на буртах существуют известные эмпирические зависимости от величины обжатий или размеров калибров. Практически величины радиусов закруглений в глубине ручьев и радиусов притуплений на буртах устанавливаются большей частью путем неоднократного корректирования. Иногда вместо закругления в глубине ручьев устраиваются прямолинейные скосы или фаски.

Величины радиусов закруглений на наших южных заводах примерно соответствуют зависимостям:

$$R = 0,12 - 0,14 B,$$

где B — ширина ручья.

Для качественных сталей в целях избежания образования складок, морщин и рванин радиусы закруглений в глубине ручьев во всех калибрах данного обжима целесообразно делать одинаковыми независимо от размеров калибров. В этом случае радиусы закругления берутся 10—15% от стороны заготовки или слитка, т. е. такие же как и радиусы закруглений в изложницах¹.

Радиусы притуплений на буртах мы считаем более рациональным определять в зависимости от величины обжатия. На наших южных заводах радиусы притуплений соответствуют зависимостям:

$$r = 0,5 (H - h).$$

¹ Постановление совещания по калибровке валков для прокатки качественных сталей. «Качественная сталь» № 10, 1936 г.

¹ Проф. Виноградов А. П. «Калибровка прокатных валков», стр. 73.

2. Насечки и наварки валков

Применение насечек или наварок тесно связано с калибровкой валков, т. е. величинами обжатий, формой калибров, скоростью прокатки и т. д.

Вопрос о целесообразном применении насечек или наварок на валках привлекал и продолжает привлекать большое внимание прокатчиков и калибровщиков.

Насеченные валки лучше захватывают штуку, так как насечка увеличивает трение на поверхности соприкосновения металла с валками. При работе с насеченными валками, предельный угол захвата увеличивается и тем самым становится возможным увеличивать обжатие, что дает повышение производительности.

Но известно, что насеченные валки вредно воздействуют на качество прокатываемого металла, способствуя появлению разрывов на поверхности металла (трещины, плены) и увеличивая, благодаря создаваемому напряжению, напряжения при деформации.

При прокатке высококачественных (легированных) сталей требуется полное отсутствие насечек или наварок валков, в противном случае неизбежно образуются дефекты на поверхности прокатываемой стали. При массовой прокатке рядового, а также и качественного углеродистого металла, применение насечек или наварок в некоторых границах не отражается на качестве продукции и обеспечивает высокую производительность станов, вследствие чего необходимо работать над дальнейшим улучшением и усовершенствованием применения насечек и наварок.

Главное внимание следует обращать на то, чтобы избрать форму насечек улучшающих, с одной стороны, условия захвата, а с другой стороны, причиняющих возможно наименьший вред прокатываемому изделию.

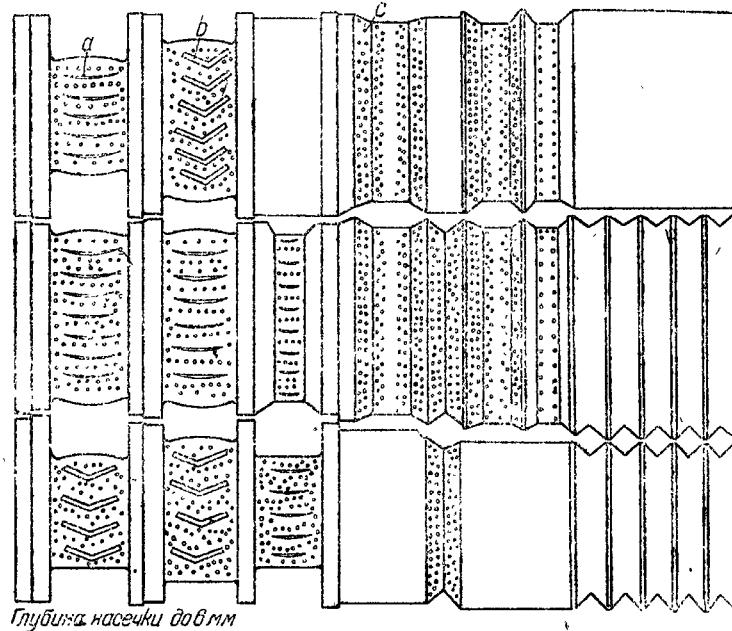
С полной определенностью надо высказаться против употребления насечек в калибрах с вогнутыми и наклонными гранями, как например, в овальных, ромбических и квадратных по диагонали калибрах. В этом случае металл в разных частях профиля будет подвергаться различным растягивающим усилиям благодаря разности окружных скоростей в различных точках калибра (вследствие разницы диаметров), что будет оказывать вредное воздействие на качество металла.

На фиг. 32 приведены насечки, употребляемые на трио-обжимах завода имени Петровского.

Насечки типа *b* менее эффективны, чем насечки типа *a*. Насечки типа *a* наиболее эффективны и способствуют наилучшему захвату металла валками.

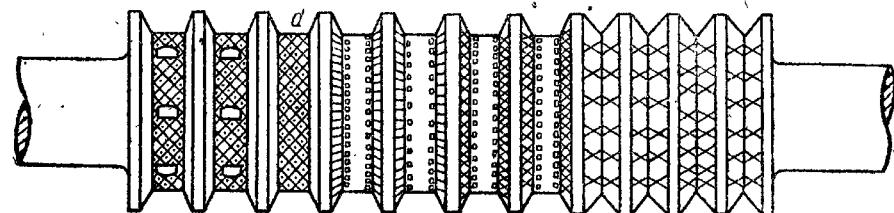
Насечки типа *c*, нанесенные на валках кернами, наименее эффективны по сравнению с прочими типами. При работе с такими насечками выступы, получающиеся на штуке, имеют относительно большую поверхность при сравнительно небольших объемах, это способствует быстрому охлаждению, а также окислению поверхностных частей выступов. Эти охлажденные выступы

при последующей прокатке вдавливаются в основную массу металла, закатываются и дают плены. Вдавливание охлажденных выступов будет, кроме того, приводить к местным перенапряжениям металла и образованию мелких трещин на его поверхности.



Фиг. 32. Насечка валков обжимной клети 500 стана 330 завода имени Петровского (эскиз)

Относительно хорошими качествами обладают насечки типа *a* (фиг. 33). Такие насечки увеличивают в достаточной мере захватывающую способность валков, имеют в меньшей степени общие недостатки насечек, связанных с попаданием охлаждающей воды



Фиг. 33. Насечка валков обжимной клети 600 завода имени Кирова (эскиз)

в места выемок на валках (разрушение поверхности валков), так как пары воды имеют свободный выход из под зажатого валками металла.

Необходимо насечки типов *a* и *b* вырубать на выпуклых частях ручьев, сводя на нет глубину насечки у буртов, там где кончается выпуклость.

Преимущество выпуклых калибров при наличии насечек в глубине ручьев заключается главным образом в избежании возможности смятия буртами валков, выступов от насечек после кантовки.

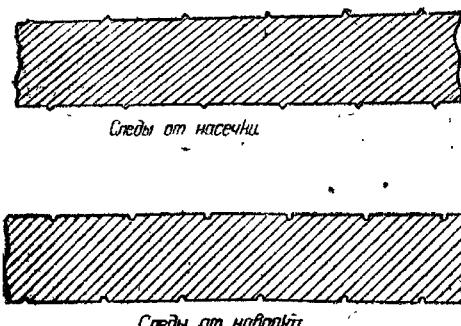
Из всех наших обжимных клетей наиболее грубые и резкие насечки имеются на валках обжима 600 завода имени Кирова и самые слабые насечки на обжиме 600 завода имени Ворошилова. При рассмотрении значения выпусков мы останавливались на этом. Следует подтвердить, что применение резких и грубых насечек не всегда вызывается острой необходимостью и что соответствующим подбором калибров и выпусков почти всегда можно значительно ослабить насечки или даже вовсе от них отказаться.

Глубину насечки некоторые авторы рекомендуют делать равной 3—5% от толщины штуки, что для начальных калибров на обжимах дает величину 4,0—8,0 мм. По нашему мнению глубину насечки более 5 мм делать нет необходимости. Чрезмерное увеличение глубины нарезок не приносит пользы больше, чем нормальная глубина 3—5 мм.

На многих заводах (например, обжим 600 завода имени Кирова и обжимы завода имени Петровского) насечки нанесены даже на трапециoidalных и квадратных калибрах. Насечки в таких калибрах являются весьма вредными для качества изделий.

Наварки валков

В последнее время вместо вырубания валков стали наваривать выступы. Из простых рассуждений можно убедиться, что наваривание выступов по сравнению с насечками представляет большие преимущества.



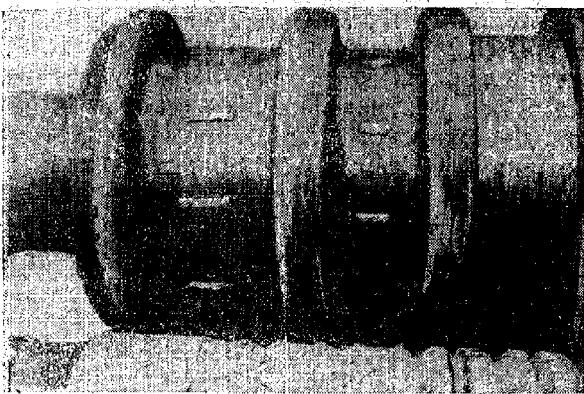
Следы от насечки

Следы от наварки

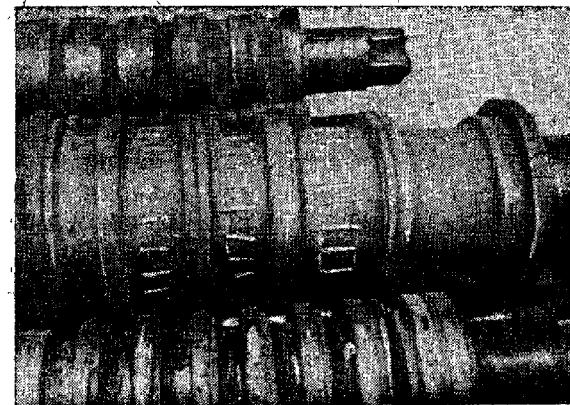
Фиг. 34. Следы от насечек и от наварок валков на поверхности прокатываемого металла

Во первых, при наварке можно применять только параллельные (оси валков) выступы, которые лучше всего увеличивают захватывающую способность валков, не боясь неприятностей, вызываемых паром от охлаждающей воды. Во вторых, при наварках не будет быстро охлаждающихся выступающих частей металла, таящих в себе опасность возникновения закатов и плен.

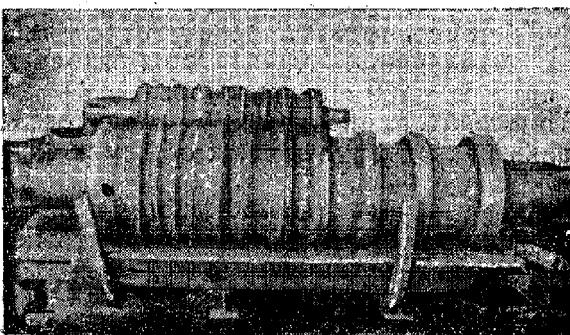
На фиг. 34 показаны выступы на металле, появляющиеся от насеченных валков и выемки от наваренных валков. Выступы от насечек быстрее остывают по сравнению с общей массой металла, закатываются и дают плены и мелкие трещины. Выемки от наварок при дальнейшей прокатке по мере вытяжки металла пропадают, не оставляя заметных следов на поверхности металла.



Фиг. 35. Наварки валков обжима 550 завода имени Дзержинского



а



б

Фиг. 36. Наварка валков обжима 640 завода имени Дзержинского (а) и обжима 500 стана 350 Сталинского завода (б)

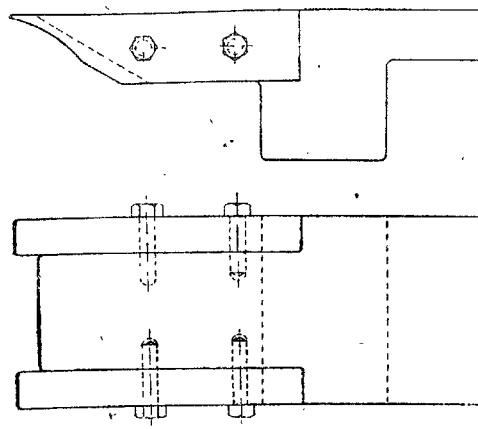
На наших заводах наваривание выступов при помощи электросварки начали применять впервые с 1935 г. (заводы Сталинский и имени Дзержинского). Первые же опыты наварки показали свои преимущества. Правда, отсутствие накопленного опыта в этом деле сказалось на том, что первые шаги оказались не совсем удачными, некоторые заводы до сих пор не освоили наварки и не заменили им насечек.

На фиг. 35 приводится способ наварки валков обжима 550 при первом опыте. Как видно из фотографии, — наварка сделана полосами параллельно оси валка. Расстояние между отдельными полосами 150 мм, ширина полосы наварки 20 мм, а высота 5—6 мм.

Такой характер и размер наварки был признан неудачным. Вследствие редкого расположения выступов, — валки при захвате блюмса некоторое время буксовали, затем внезапно захватывали и при этом происходили сильные удары на стане, особенно

но в связи с большими величинами верхних давлений. При испытании этой наварки удары были настолько сильными, что во избежание поломок на стане наварки были срублены зубилами.

На фиг. 36 (а) показана более удачная наварка валков обжимной клети 640 завода имени Дзержинского, на котором полностью перешли от насечек к наваркам. На фиг. 36 (б) показана наварка валков на обжимах 500 стана 250 и 350 Сталинского завода.



Фиг. 37. Проводка с кованными опорами для валков с наварками

ция проводки с кованными опорами для валков с наварками.

Высоты выступов при наварке следует придерживаться 3—6 мм, ширины 10—12 мм, длины выступов в зависимости от ширины калибров 50—70 мм, расстояние между отдельными выступами от 50—70 до 100 мм.

2. Переход от прямоугольных калибров к вытяжным и вытяжные калибры

Система прямоугольных или ящичных калибров употребляется на обжимных станах в большинстве случаев при размерах прокатываемых штук не ниже 90—100 мм стороной.

В качестве переходного калибра от ящичных к системе „овал-квадрат“ или „трапециoidalный-квадрат“ на наших обжимах служит трапециoidalный калибр или овал.

Требования, которым должны удовлетворять системы переходных калибров, следующие: 1) получение наибольшей вытяжки при удовлетворительных условиях захвата металла, 2) равномерность распределения вытяжек по сечению во избежание резких напряжений в металле при деформации и 3) постепенность изменения формы и вытяжки для равномерной нагрузки стана и двигателя.

В таблице 7 показана последовательность расположения различных систем калибров на некоторых обжимных клетях.

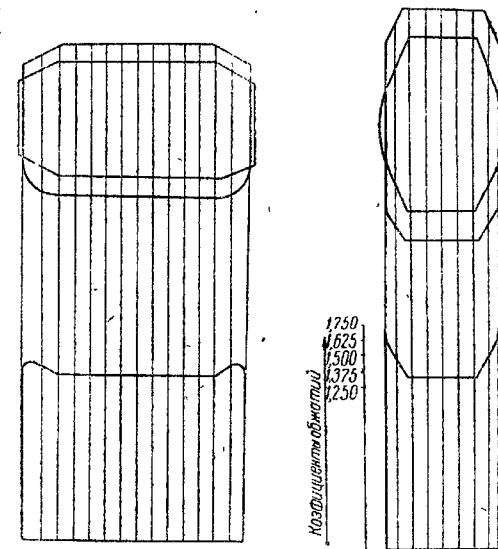
В качестве первых 5—7 калибров для всех обжимных клетей принятые ящичные калибры, затем переход на трапециoidalный калибр или овал, встречаются также ромбические калибры и в одном случае стрельчатые калибры (обжим 500 стана 500 завода имени Ворошилова).

В качестве наиболее удачного осуществления системы переходных калибров рассмотрим пример калибровки обжима 550 завода имени Дзержинского. Здесь шестой по ходу ящичный калибр является подготовительным к седьмому переходному калибру. Размеры и форма пятого и шестого, шестого и седьмого калибров между собой так хорошо увязаны, что при наложении шаблонов, как показано на фиг. 38, получается почти равномерное обжатие по всему сечению.

Другой способ также удовлетворительного осуществления перехода от ящичных калибров к трапециoidalному мы видим на обжиме 600 завода имени Кирова (фиг. 13), в котором элементы размеров 7 калибра увязаны с 8 калибром таким образом, что относительное обжатие в трапециoidalном калибре приблизительно равномерное.

Требуют некоторой корректировки неплохие системы переходных калибров, принятых на обжимах завода имени Петровского. На фиг. 39 показана диаграмма обжатия при прокатке в 6 трапециoidalном калибре обжима 500 стана 420. Как видно из диаграммы, здесь имеется несовсем равномерное обжатие (график несимметричен относительно вертикальной оси через середину калибра), по краям обжатия больше, что создает вынужденное уширение.

Совсем неудовлетворительно осуществлен переход от ящичных калибров к вытяжным на обжиме 500 завода имени Фрунзе и отчасти на обжимах Сталинского завода. Здесь прямоугольник без достаточной подготовки задается в правильный овал. Вытяжка в овале должна быть для обжима 500 завода имени Фрунзе 37,8%, но фактически вследствие вынужденного уширения по краям, вытяжка меньше. Распределение обжатия в этом калибре резко неравномерное, как показывает диаграмма обжатия (фиг. 40). Обжатие в центральной части 10%, а по краям 85%. Вследствие того, что масса средней мало обжимаемой части металла больше



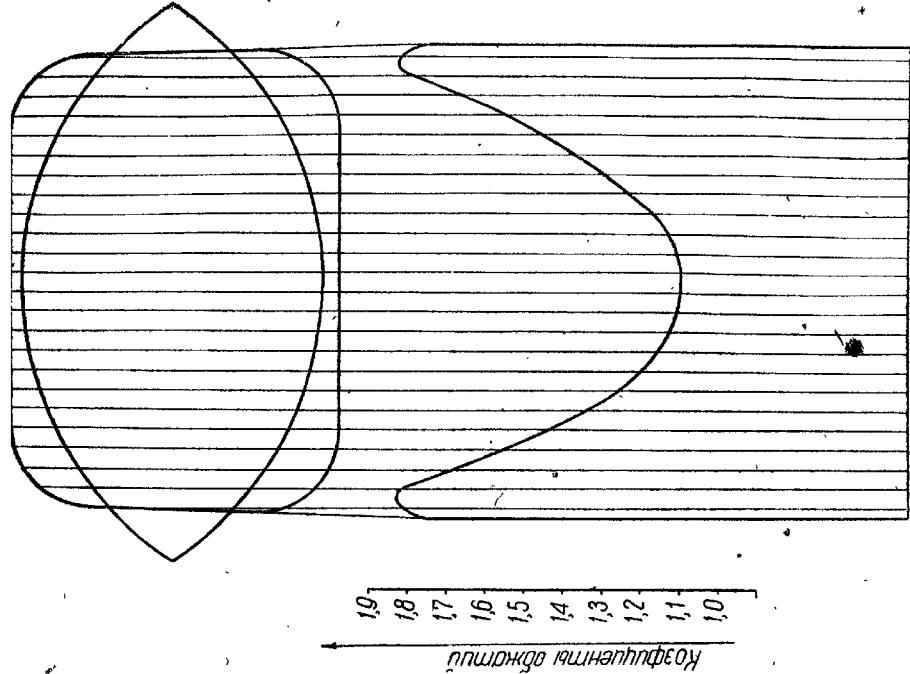
Фиг. 38: Диаграмма обжатий (удлинений) в переходных калибрах обжима 550 завода имени Дзержинского

Таблица 7

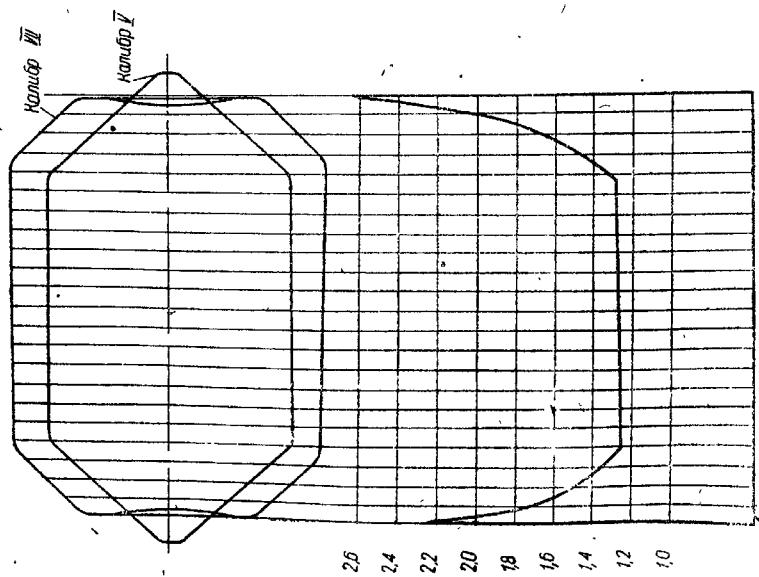
Последовательность калибров на обжимных клетях

и размеры калибров

Заводы	Диаметр обжимных станов	Форма						
		1—5 пропуски	6 пропуск	7 пропуск	8 пропуск	9 пропуск	10 пропуск	11 пропуск
Имени Фрунзе	500 стан 305 . . .	Ящичные калибры	Овал 138×74	Квадрат (диагонали) 72,5 × 102	Ромб 104×70	Квадрат 54×54	—	—
	585	Я щ и ч	Ящичный		Овал 138×54,4 Овал 134×54	Квадрат 62×62 Квадрат 60×60	—	—
Имени Ворошилова	500 станы 300, 250							
	600 станы 300, 250	Я щ и ч	Стрельчатые калибры	Трапециоидальный 70×127 Овал 67×129,5	Квадрат 65×65 70×70 Квадрат 66×66	Овал 45×98,5	Квадрат 46×46	—
Имени Кирова	500 стан 500 . . .							
	600 станы 330, 280	Я щ и ч	Квадрат 38×38	Квадрат 60×60 82×85 Квадрат 65×65	Трапециоидальный 83×32 Ромб 56×91	Квадрат 54×54	—	—
Имени Сталина	500 станы 350, 250							
	520 стан 400 . . .	Я щ и ч	Квадрат 39×39	Квадрат 58×58 74×77 Квадрат 70×74	Трапециоидальный 32×82 Трапециоидальный 27,5×77	Квадрат 35×35	—	—
Орджоникидзенский	550 стан 280 . . .							
	550 стан 360 . . .	Я щ и ч	Квадрат 63×63	Овал 63×120	—	—	—	—
Имени Петровского	550							
	500 стан 420 . . .	Я щ и ч	Квадрат 96×96	—	—	—	—	—
Имени Дзержинского	500 стан 330 . . .							
	425 стан 250 . . .	Я щ и ч	—	—	—	—	—	—
	550 станы 330, 280							
	640 стан 500 старая калибровка	Я щ и ч	—	—	—	—	—	—
	640 стан 500 новая калибровка							



Фиг. 40. Диаграмма обжатий прямоугольника в овальном калибре обжима 500 завода имени Фрунзе



Фиг. 39. Диаграмма обжатий в трапециoidalном калибре обжима 500 стана 420 завода имени Петровского

массы крайних частей, последние, получая большее обжатие, не имеют возможности вытянуться соответствующим образом и вытесняются в стороны, обуславливая большое вынужденное уширение.

Кроме того, крупным недостатком работы в этом случае является плохой захват металла валками. Несмотря на то, что средняя величина угла захвата незначительная, захват все же происходит плохо из-за того, что, как в этом легко убедиться из построения проекции поверхности соприкосновения металла с валками, подобного представленному на фиг. 107—в начале захвата площадь соприкосновения металла с валками очень незначительна и вследствие этого силы, втягивающие металл в валки, недостаточны для бесперебойного захвата.

Практика показывает, что при прокатке в этом калибре всегда получается большое уширение и часто образование заусенцев.

Ликвидировать указанный недостаток можно путем изменения конструкции прямоугольного и овального калибров. Например, строить овал не по одному радиусу, а с выпрямленной стороной или в прямоугольнике вместо закругленных углов ввести прямолинейные скосы, а овал заменить трапециoidalным калибром. Но все изменения в размерах калибров всегда следует проверять и корректировать построением диаграммы обжатий.

Несколько замечаний о соотношении вытяжных калибров: „трапециoidalный-квадрат“, „овал-квадрат“ или „ромб-квадрат“. Подробнее вытяжные калибры рассматриваются в главе VI.

В трапециoidalных калибрах отношение ширины к высоте чаще всего находится в пределах от 2 до 2,7, соответствующее отношение овала 1,9—2,5, а ромба 1,35—1,60, что соответствует величине тупого угла 107—116°.

Применение овалов в чистом виде рекомендовать не следует, выпуклые боковые грани овала должны быть выпрямлены, чем достигается более равномерное распределение обжатия заданного в него прямоугольника или квадрата. При такой конструкции разница между трапециoidalным и овальным калибрами будет небольшая.

Величина вытяжки в этих калибрах находится в пределах 1,4—1,7. Запасы на уширение в трапециoidalных, овальных и ромбических калибрах оставляются большие. В случае если обжатие приблизительно равномерное, то вполне достаточно запас на уширение 40—50% от обжатия. При неравномерных обжатиях, например, по краям больше, в середине меньше, даже запас 100%, как мы видели на примере обжима 500 завода имени Фрунзе, может быть недостаточен.

Диаграммы обжатий, построенные наложением шаблонов калибров или темплетов, являются прекрасным средством для анализа и проверки калибровок. Этот способ проверки калибровок следует всемерно рекомендовать как для улучшения работающих калибровок, так и для построения более рациональной новой калибровки.

4. Некоторые примеры калибровки трио-обжимных клетей

Остановимся еще на отдельных калибровках обжимных клетей различных заводов, представляющих интерес в отношении калибровки и отличающихся от рассмотренных ранее калибровок.

На фиг. 41 представлена старая калибровка обжимной клети 500 Ворошиловградского завода имени Октябрьской Революции. Обжимная клеть прокатывает слитки или заготовки максимальным сечением 200×200 мм и выпускает 8 различных размеров квадратных заготовок: 126×126 , 115×115 , 110×110 , 100×100 , 90×90 , 75×75 , 65×65 и 50×50 мм.

Число пропусков для наименьшего сечения заготовки квадрата 50 мм равно 12, четное число пропусков объясняется расположением оборудования — нагревательная печь и пресс для резки концов расположены на одной стороне стана.

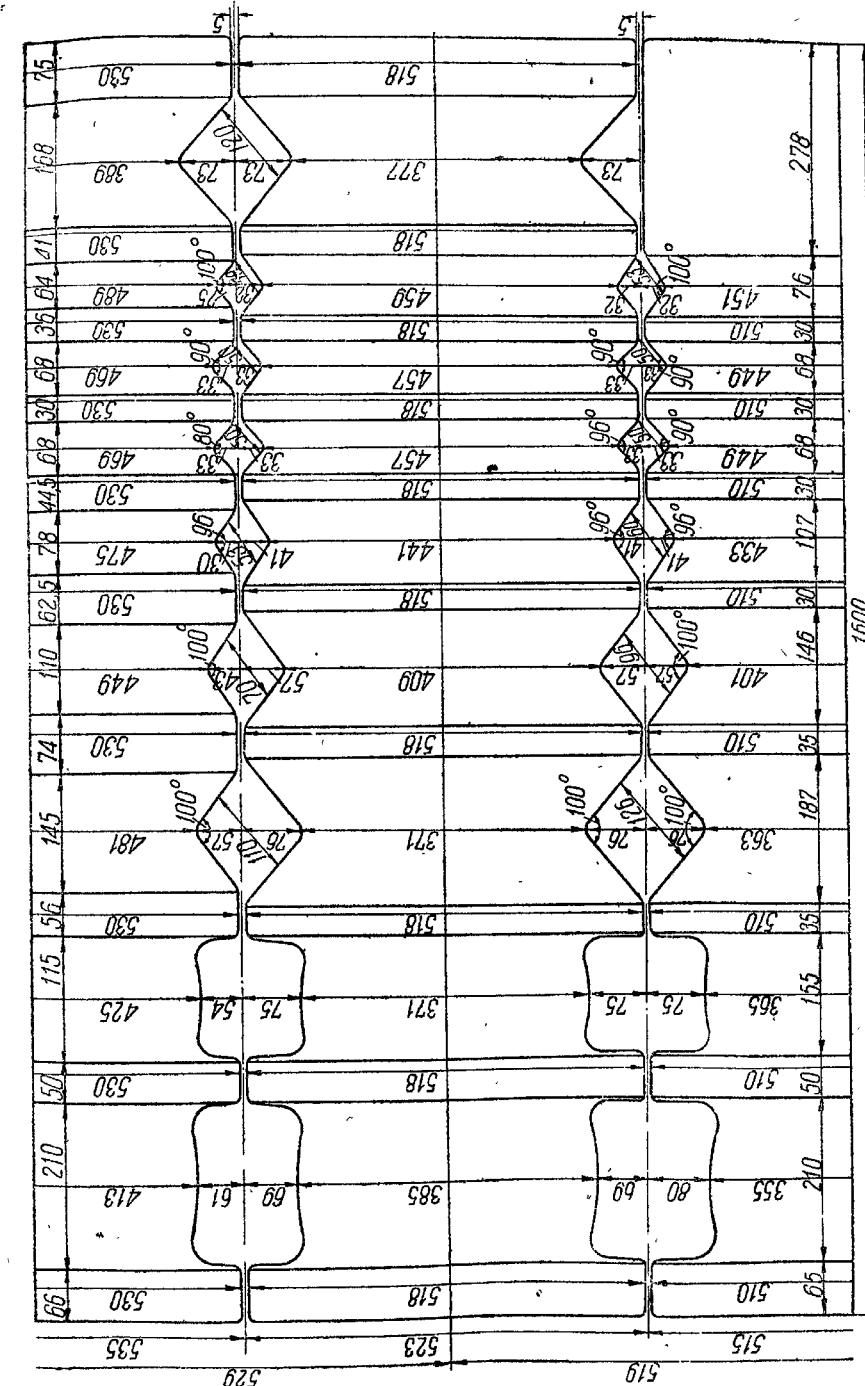
Это в известном смысле универсальный обжим (по числу выпускаемых заготовок) весьма характерный для машиностроительных заводов, на которых для своих нужд бывает необходимо прокатывать очень небольшие партии различных профилей и кузнецких заготовок нередко по 3—5 т весом. Достаточно указать, что этот обжим обслуживает стан 300 и 500, прокатывающих например круглое железо от 10 до 100 мм диаметром. Здесь предъявляются к обжимной клети такие требования, чтобы на одном комплекте валков без перестройки было возможно выпускать все необходимые размеры заготовок.

Представленная калибровка имеет крупный недостаток — применение своеобразных комбинированных ромбических калибров, где калибры образуются из различных по величине треугольных ручьев. Это во многих случаях неизбежно приводило к образованию закатов на прокатываемой продукции.

По предложению завода имени Октябрьской Революции нами была сделана калибровка для этой обжимной клети, представленная на фиг. 42. Число выпускаемых размеров заготовок осталось без изменения, число пропусков для наименьшего квадрата 50×50 мм также осталось без изменения, а для некоторых промежуточных квадратов, например, 65×65 число пропусков сокращено на 2. Построение калибровки целиком в системе ящичных калибров объясняется недостатком длины бочки валков. Длина бочки равна всего 1600 мм, раздвигание станин для удлинения валков считается невозможным.

Первые 4 прямоугольных калибра сконструированы по принципу ограниченного уширения, во втором пропуске калибр сделан с выпуклостью, чтобы избежать образования заусенцев в третьем пропуске. Наварка производится только для первых 3 пропусков.

В таблице 8 приводятся расчетные данные калибровки. Применение смешанной системы кантовки с передней и задней стороны не позволило построить калибровку с минимальными верхними давлениями. Эта калибровка испытана и оказалась не вполне,



Фиг. 41. Калибровка валков обжимной клети 500 Ворошиловградского завода имени „Октябрьской Революции“ (существующая)

Таблица 8

Расчет калибровки обжимной клети 500 Ворошиловградского завода

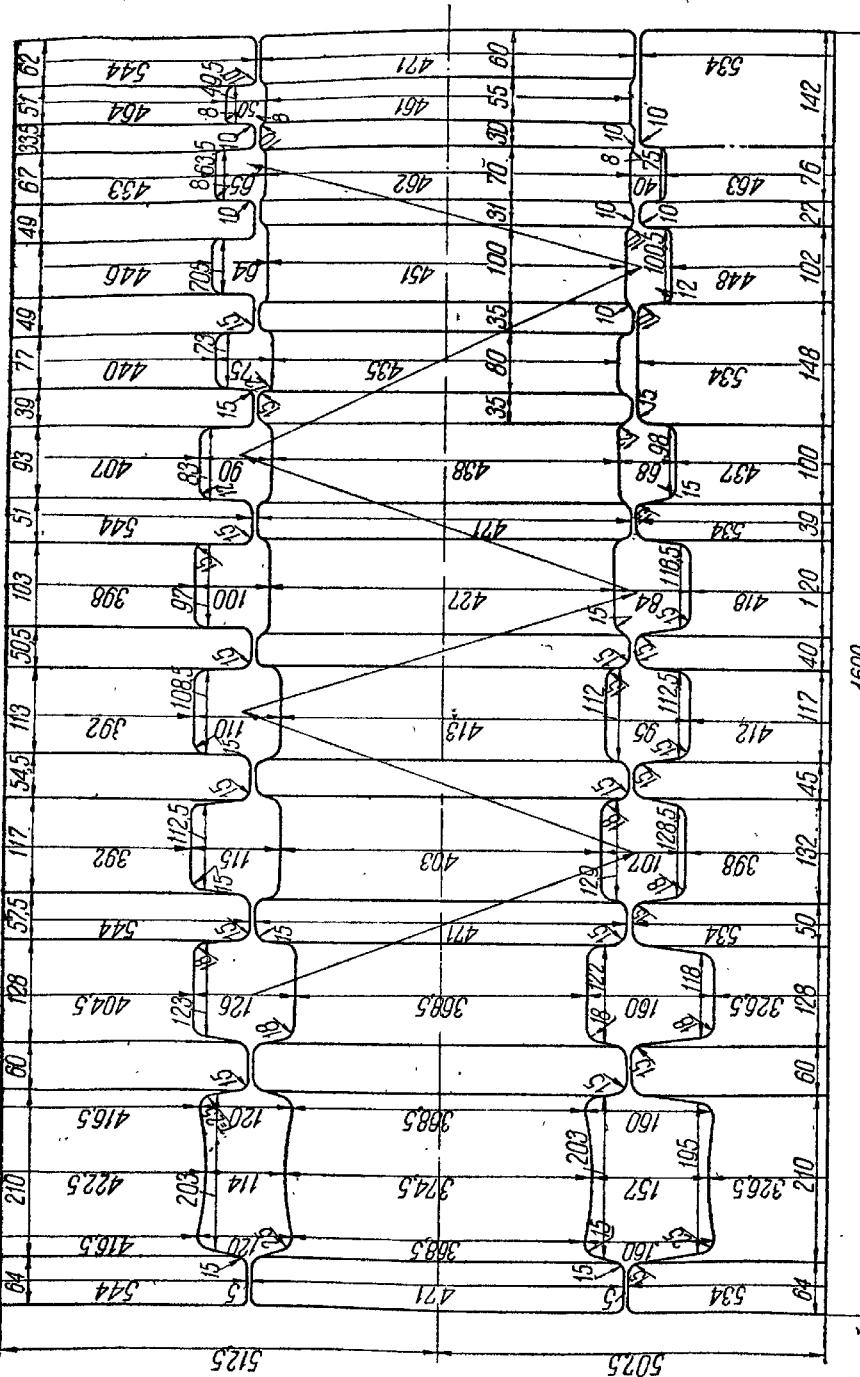
№ № п.п.	Размеры калибров			Примечание
	Высота (в м.м.)	Ширина (в м.м.)	Площадь (в м.м. ²)	
1	200	200	40000	
2	157	210	31150	28°47'
3	114	210	23550	1,32 26°50'
4	160	128	19400	1,21 31°10'
5	126	128	15400	1,26 24°15'
6	107	132	13450	1,15 17°50'
7	110	113	11960	1,13 19°—
8	85	120	9850	1,22 19°50'
9	90	93	8020	1,23 21°40'
10	58	100,5	5810	1,38 2°40'
11	64	71	4480	1,30 23°15'
12	40	75,5	3020	1,48 21°—
13	50	51	2455	1,22 19°05'
6'	115	117	12850	1,05 16°50'
7'	95	117	10600	1,13 15°30'
8'	100	103	9850	1,08 16°40'
9'	68	98	6660	1,20 17°25'
10'	75	77	5600	1,17 18°40'
10''	65	66	4250	1,36 22°55'

т. е. не для всех размеров заготовок, пригодной. Первые шесть квадратов — 126, 115, 110, 100, 90 и 75 получались хорошими; затруднения были, при прокатке меньших квадратов — 65 и 50, в которых происходило сваливание штуки.

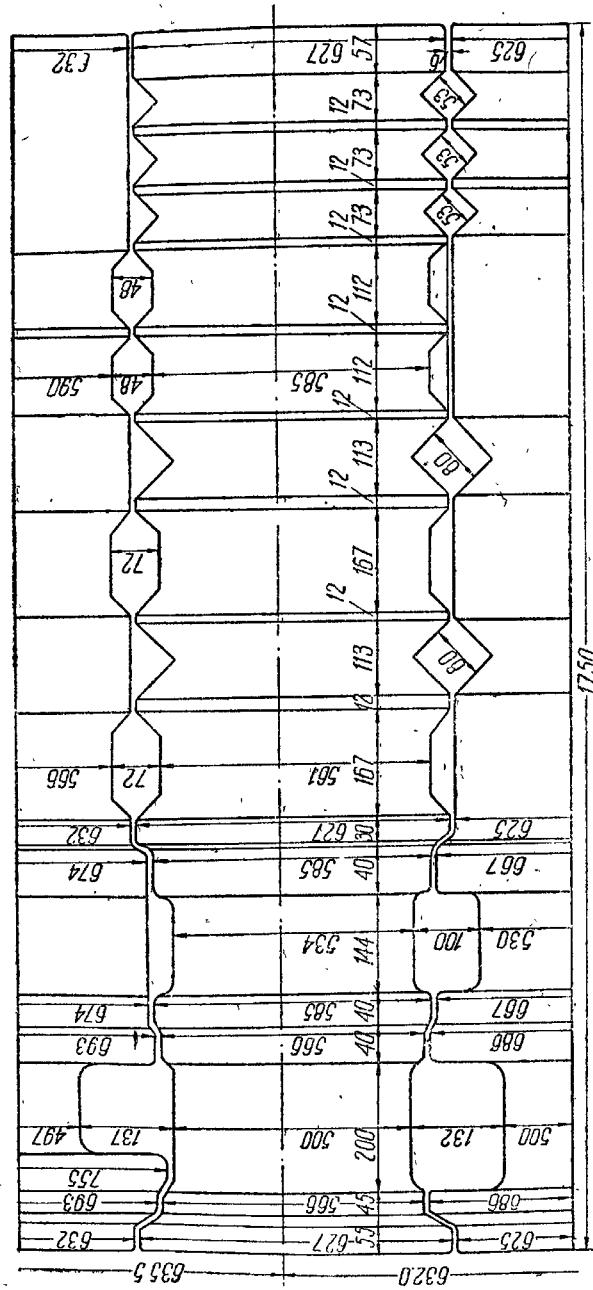
Причиной сваливания, очевидно, надо считать слишком малую глубину врезов последних квадратов в средний валок, что было сделано во избежание сворачивания. Во вторых применение ящичных калибров для малых размеров прокатываемых штук требует точной установки проводников (лав). Малейший сдвиг проводников или валков в сторону приводит к сваливанию штуки.

На фиг. 43 представлена калибровка обжимной клети 600 Краматорского завода имени Куйбышева. Здесь выпускается только один размер заготовки — 53×53 мм из слитка максимальным сечением 180×180 мм в 7 пропусков, средняя вытяжка 1,42, наибольшая из всех обжимных клетей южных заводов. Первая пара ящичных калибров является комбинированной, прочие калибры вырезаны самостоительно и расположены в шахматном порядке. Это позволило получить в калибрах минимальные величины верхних давлений: в первом калибре — 0, во втором нижнем — давление 3 мм, в третьем верхнее давление 4 мм, в четвертом — верхнее давление — 5 мм. Указанная обжимная клеть работает по прокатке рядовой марочной мягкой углеродистой стали.

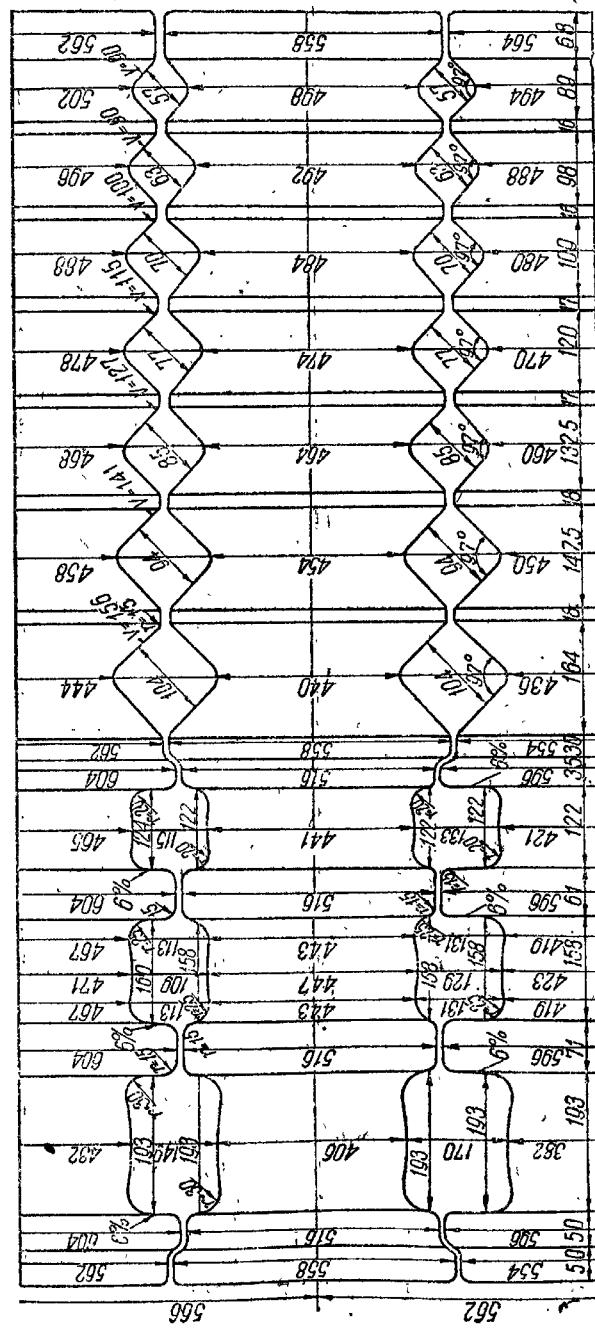
На фиг. 44 приводится калибровка обжимной клети $D = 500$ мм для стана 450 Мариупольского завода имени Ильича.



Фиг. 42. Калибровка валков обжимной клети 500 Ворошиловградского завода имени „Октябрьской Революции“



Фиг. 43. Калибровка валков обжимной клети 600 Краматорского завода имени Куйбышева



Фиг. 44. Калибровка валков обжимной клети 550 стана 450 Мариупольского завода имени Ильича

Особенностью этой калибровки является большое количество выпускаемых квадратных заготовок, мало отличающихся друг от друга по размеру: 104×104 , 94×94 , 85×85 , 77×77 , 70×70 , 63×63 и 57×57 мм. Это своеобразное совмещение обжимной и подготовительной клетей в одной тройке.

Из-за экономии места на валках для выпускных калибров заготовки максимальным сечением 180×180 мм в первой паре ящичных комбинированных калибров пропускаются по два раза с кантовкой после второго пропуска и таким образом получается квадрат 149×149 , который затем задается в третий калибр 129×158 и т. д.

Такая прокатка является единственным примером на южных заводах, она чревата опасностью скашивания прокатываемой штуки при втором и третьем пропуске, когда штука проходит в калибрах по ширине совершенно свободно и не поддерживается линейками. Поэтому мы не решались применить этот способ прокатки на обжиме 550 Ворошиловградского завода, хотя при этом использование бочки валка было бы значительно лучше.

Выводы

Резюмируя все вышеизложенное, отметим следующее:

- Существуют два принципа калибровки трио-обжимных клетей — калибровка с мало ограниченным и калибровка с ограниченным уширением.
- Для прокатки слитков кипящей стали и качественных легированных сталей следует калибровать обжимные клети по принципу ограниченного уширения.
- Максимально допускаемые углы захвата в прямоугольных калибрах без насечки или наварки, при условии ограничения уширения в 25° , при наварках и насечках в 31° — (на новых валках), по мере износа при переточке валков углы захвата будут увеличиваться соответственно до 27 и 33° .
- На многих обжимах вытяжки и обжатия по пропускам распределены неравномерно. Данные об углах захвата и величинах вытяжки, применяемых на наших заводах, позволяют сделать выводы о возможности дальнейшего увеличения обжатия и вытяжек и сокращения числа пропусков на наших обжимах в первую очередь: на обжиме 500 стана 500 завода имени Ворошилова, обжиме 640 завода имени Дзержинского, обжиме 550 стана 500 завода имени Петровского и обжимах Сталинского завода. Причем, на некоторых из них применение малых обжатий пока связано с наличием слабых двигателей.

5. На большинстве обжимов расстояния между осями верхних и средних валков и средних и нижних валков выбраны неправильно, что приводит к большим величинам верхних давлений и громадным секундным растяжениям при прокатке в ящичных калибрах, доходящих до 300 — 350 мм в секунду. Для уменьшения величины верхних давлений и секундных растяжений,

вредно отражающихся на работе станов, необходимо выбирать расстояния между осями средних и нижних валков более соответствующих расстояний между осями средних и верхних валков примерно на величину, несколько меньшую величины среднего обжатия в калибрах. В результате получаются верхние давления порядка 5 — 10 мм и секундные растяжения 40 — 60 мм в секунду. В этом случае шпинделья и муфты будут работать с небольшим перекосом и для улучшения условий работы необходимо проведение конструктивных мероприятий — применение выпуклых головок в шпинделях, удлинение шпинделя и др.

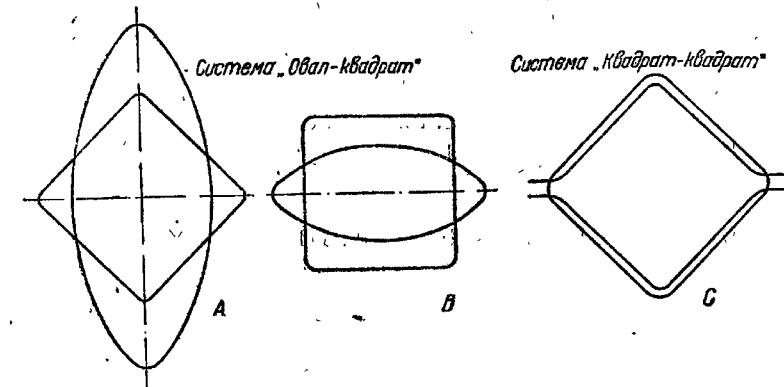
6. Величины выпусков, применяемые в ящичных калибрах, в большинстве случаев малы, вследствие этого создаются плохие условия захвата и деформации металла. Применение больших выпусков в пределах 10 — 15% при калибровке с ограниченным уширением улучшает условия захвата и позволяет увеличивать обжатия, доводя угол захвата до 28° , без применения насечек или наварок. Выбор величины выпуклости, радиусов закруглений в глубине ручьев и притупления на буртах производится также не совсем целесообразно. Например, делают выпуклости при прокатке с свободным уширением, радиусы закруглений и величины скосов (фасок) при проверке посредством построения диаграмм обжатий требуют изменения.

7. Применение грубых и резких насечек на валках часто необоснованно. Изменением конструкции калибров (увеличение выпусков, ограничение уширения, т. е. улучшением калибровки безусловно можно значительно ослабить применяемые насечки. Вместо насечек лучше применять наварки в виде выступов параллельных оси валков и сходящих постепенно на нет по концам. Необходимо отказаться от насечек и наварок в овальных трапециoidalных и ромбических калибрах.

8. На многих заводах применяемые переходные и вытяжные калибры требуют изменения. Наилучшим калибром после ящичных является трапециoidalный калибр или овал с выпрямленной стороной (усеченный овал). От применения правильного овала, построенного одним радиусом, надо отказаться.

Правильный выбор построения переходных и вытяжных калибров прекрасно проверяется диаграммами обжатий.

что в случае С запас на уширение недостаточен и во избежание образования заусенцев вытяжка должна быть минимальная, т. е.



Фиг. 45. Наложение двух последовательных калибров для системы калибровки „овал-квадрат“ (А и В) и „квадрат-квадрат“ (С)

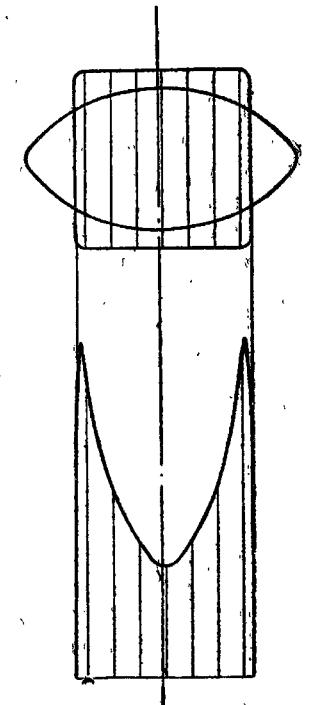
система „квадрат-квадрат“ не позволяет работать с энергичной деформацией. Из случаев А и В видно, что в системе „овал-квадрат“, в противоположность системе „квадрат-квадрат“, места на уширение остаются всегда достаточно и вытяжки могут достигать весьма значительных размеров.

При энергичной деформации для обеспечения надлежащего качества продукции огромное значение имеет правильная конфигурация калибров.

Рассмотрим условия деформации, например, квадратной заготовки в овальном калибре. На фиг. 46 представлена диаграмма обжатия (удлинения) для этого случая. Диаграмма показывает крайне неравномерное распределение обжатия в различных частях сечения. Крайние части, получая большое обжатие, не могут вытянуться соответственно этому обжатию и задерживаются массой средних частей. Вместо вытяжки здесь будет вынужденное уширение. При известных условиях может оказаться, что в этом случае места на уширение в овале будут мало и металл образует заусенцы.

Кроме того неравномерное обжатие и уширение металла по сечению приводит к большим внутренним напряжениям металла при деформации.

Отсюда следует, что нужно стремиться



Фиг. 46. Диаграмма обжатий (удлинений) квадрата в овале

ГЛАВА IV

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КАЛИБРОВОК ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ИЛИ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ СОРТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

В соответствии с требованиями, которые предъявляются к рациональной калибровке прокатных станов, при проверке существующих калибровок черновых (подготовительных) клетей изучению подлежат следующие вопросы:

1. Выбор системы калибровки.
2. Определение минимального числа пропусков и распределение их между отдельными линиями и клетями стана.
3. Распределение вытяжек по пропускам и обеспечение захвата металла валками.
4. Правильный расчет уширения.

1. Выбор системы калибровки

Первым требованием к современной калибровке черновых (подготовительных) линий является энергичная деформация для максимального сокращения времени прокатки, т. е.— повышение производительности стана.

Однако исходя из этого было бы ошибочно сделать заключение, что рациональной является такая система, которая допускает самую энергичную деформацию, так как необходимо учесть еще ряд факторов, к которым относятся: качество прокатываемой стали, состояние и мощность двигателя, возможность использования калибровки для всего сортамента стана, температурный режим и т. д.

Таким образом рациональной можно считать калибровку, допускающую возможно более энергичную деформацию металла в данных условиях (скорость, температура, качество металла и др.).

Невозможно делать общих выводов о рациональности или нерациональности той или иной системы калибровки, так как система неприемлемая, нерентабельная для одних условий, может оказаться приемлемой для других.

Однако каждой системе калибровки вне зависимости от местных условий отдельных станов присущи свои достоинства и недостатки.

Возьмем, например, две системы калибровки „квадрат-oval“ и „квадрат-квадрат“. На фиг. 45 представлено наложение двух последовательных калибров в этих системах. Из фигуры видно,

к тому, чтобы обжатия и вытяжки средних и крайних частей были равномерными. В рассматриваемом случае это может быть достигнуто путем придания овалу формы усеченного овала, причем в случае, если длина усеченной части равна стороне квадрата, будет достигнуто полное равенство обжатия по сечению.

Диаграмма распределения обжатий по сечению дает возможность правильного определения запаса на уширение и таким образом избежать образования заусенцев.

2. Определение минимального числа пропусков

Определение числа пропусков проще всего производить, исходя из известной формулы

$$\mu = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_n}},$$

откуда

$$n = \frac{\lg \frac{F_0}{F_n}}{\lg \mu},$$

где μ — средний коэффициент вытяжки, а n — число пропусков; F_0 и F_n — начальное и конечное сечение заготовки.

Таким образом для определения n необходимо знать величину μ , причем минимальная величина n будет при максимальной величине μ .

Величина среднего коэффициента вытяжки зависит от следующих факторов:

- 1) от мощности двигателя,
- 2) от системы калибровки и прочности валков,
- 3) от качества прокатываемой стали и температуры прокатки.

Теоретическое определение максимальной величины μ для определенного профиля, допускаемой мощностью двигателя, представляет значительные затруднения, так как для определения этого необходимо знать коэффициенты полезного действия стана и двигателя, вычислять работу деформации при прокатке и т. д.

Определение минимального числа пропусков значительно облегчается тем, что оно может производиться, исходя не из общего среднего коэффициента вытяжки, а только из среднего коэффициента вытяжки черновых калибров, поскольку число пропусков в чистовых калибрах для каждого профиля постоянно и при определении общего минимального числа пропусков может быть отброшено. Для черновых же калибров различных систем практикой выработаны достаточно определенные величины вытяжек.

3. О распределении вытяжек при прокатке

Большое значение для рациональной калибровки имеет правильность распределения вытяжек по пропускам в соответствии с падением температуры прокатываемой штуки.

Понятно, что величины вытяжек вообще могут быть тем больше, чем выше температура штуки, поскольку сопротивление металла деформации при этом меньше. Понижение температуры штуки, по ходу прокатки, должно повлечь за собой уменьшение вытяжек и задача распределения вытяжек (с достаточной для практики точностью), может быть сведена к определению падения температуры стали.

Для вычисления температуры катаемой полосы в каждом пропуске можно пользоваться следующей формулой:

$$T_i = T_0 - (T_0 - T_n) \times \frac{\sum^n F_i t_i}{\sum^n F_i t_i},$$

где T_i — температура i ого пропуска (абсолютная);

T_0 — начальная температура полосы;

T_n — конечная температура полосы;

n — общее число пропусков;

F_i — поверхность полосы;

t_i — время в секундах, прошедшее до момента выхода полосы из данного пропуска.

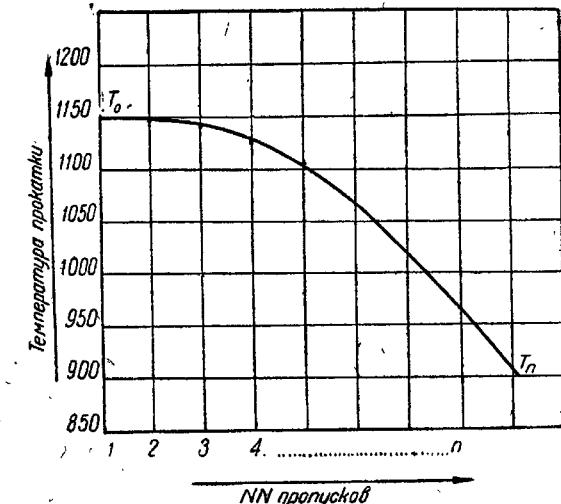
На фигуре 47 представлена кривая падения температуры по пропускам при прокатке, построенная для одного конкретного случая по приведенному уравнению.

Если вместо числа пропусков на оси абсцисс откладывать время, прошедшее до момента выхода полосы из данного пропуска, то кривая фиг. 47 выразит зависимость падения температуры полосы с течением времени при прокатке; это падение происходит нарастающим темпом, так как поверхность полосы увеличивается, а, следовательно, увеличивается и теплоотдача.

По кривой подобного вида должно происходить и уменьшение вытяжек от первых пропусков к последним.

В частных случаях кривая вытяжек может иметь и иной вид,

* Формула выведена научным сотрудником прокатной группы Н. Ф. Лашко.



Фиг. 47. Кривая падения температуры при прокатке

поскольку допускаемая величина деформации зависит также и от конфигурации калибров, расположения их на валках и условий задачи в валки, но постепенное снижение величин вытяжек по ходу прокатки должно быть соблюдено во всякой рационально построенной калибровке черновых и чистовых линий.

Температура конца прокатки и величина обжатия в последнем пропуске

По современным понятиям при горячей обработке металлов одновременно протекают два процесса — пластическая деформация металла, сопровождающаяся упрочнением его, т. е. на克莱пом и обратный процесс — рекристаллизация.

Процесс пластической деформации сопровождается разрушением первичной кристаллической структуры, размельчением зерен металла.

Второй процесс — рекристаллизация — сопровождается ростом деформированных зерен и снятием наклена.

При высоких температурах стали скорость рекристаллизации весьма велика и поэтому последствия пластической деформации и связанного с ней наклена быстро снимаются, сталь делается мягкой, как бы отожженной, крупнозернистой. С падением температуры стали при деформации (прокатке, ковке и др.), скорость рекристаллизации уменьшается; рекристаллизация не успевает совершившись и при известных условиях — низкой температуре деформации — металл получается мелкозернистый и наклепанный.

Таким образом структура металла находится непосредственно в зависимости от температуры конца прокатки.

Оптимальной температурой конца прокатки для преобладающего большинства прокатных изделий (за исключением тонких листов, проволоки и др.) следует считать температуру несколько превышающую верхнюю критическую точку, т. е. лежащую выше линии G_O^3 (на диаграмме состояния железо-углеродистых сплавов) на 20—30°.

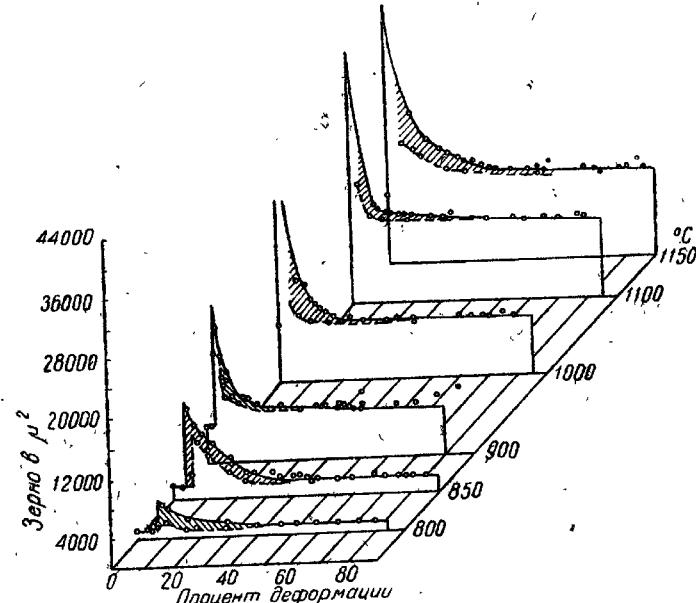
Деформация при критическом интервале температур влечет за собой резкое ухудшение механических свойств стали, так как аллотропические превращения сопровождаются потерей вязкости (пластичности) или повышением хрупкости (хрупкость превращения). Вследствие этого деформация в критическом интервале температур нежелательна также и с энергетической точки зрения, так как повышается расход энергии. Прокатка при температурах ниже критической точки нежелательна из-за повышения сопротивления деформации и расхода энергии.

Однако величина зерна стали помимо температуры конца прокатки находится также в зависимости от величины деформации, т. е. от обжатия в последних пропусках.

Зависимость величины зерна от температуры прокатки и обжатия в последних пропусках выражается объемными диа-

граммами рекристаллизации стали, которыми и следует руководствоваться при выборе величины деформации и температуры конца прокатки.

Для примера, на фиг. 48 приводится объемная диаграмма рекристаллизации для стали состава: С—0,40; Mn—0,65; Si—0,29; Р—0,044; S—0,017; Ni—0,24; Cr—0,14¹. Как видно из диаграммы, обжатия около 10% дают при температурах выше 800° крупно-



Фиг. 48. Объемная диаграмма рекристаллизации для стали
С = 0,40, Mn = 0,65

зернистую структуру. Для приведенной стали с целью получения мелкозернистой структуры оптимальной температурой конца прокатки (последних пропусков) будет 800°. При температуре конца прокатки 850—900° обжатия 8—12% дают крупнозернистую структуру, при этих температурах оптимальной величиной обжатия, дающей наименьшую величину зерна, следует считать обжатия 15—20%.

Необходимо отметить, что кроме приведенных факторов на величину зерна в конечной прокатной продукции влияет и исходная величина зерна в стали, например, перегретый металл будет иметь более крупные зерна, чем нормально нагретый.

4. Уширение металла при прокатке

Следующим важнейшим вопросом при построении рациональной калибровки валков является определение и расчет уширения.

¹ Журнал "Металлург", № 12, 1936 г., проф. И. М. Павлов, инж. Л. С. Гельдерман и инж. А. И. Жукова "Исследование рекристаллизации стали при горячей обработке давлением".

Из всех элементов деформации металла при прокатке — обжатий, уширений, вытяжке и опережении определение величины уширения для калибровки имеет самое большое значение.

Несоответствие расчетных величин уширения с полученными при работе величинами приводит к браку продукции — закатам, невыполнению или перевыполнению профилей. Разрешение проблемы прокатки профилей повышенной точности, в большей мере зависит от точного определения величины уширения.

Задача определения уширения металлов для различных случаев прокатки до сих пор удовлетворительно не решена. Вот почему проблема уширения металлов при прокатке является актуальной и по настоящее время.

На уширение металла при прокатке влияет большое количество факторов физического порядка (состав металла, механические свойства, температура прокатки, трение на поверхности соприкосновения металла с валками, скорость деформации и прочее) и геометрических факторов, вызывающих в конечном счете изменения тех или иных физических факторов (соотношение между размерами поперечного сечения штуки, диаметра валков, величины обжатия и проч.).

Калибровщикам совершенно необходимо знать законы изменений уширения. Ниже мы приводим изменения свободного уширения в зависимости от различных факторов (в кратком изложении)¹. Влияние каждого фактора рассматривается при прочих одинаковых условиях.

a) Влияние ширины прокатываемой штуки

Обычно принято считать, что уширение практически не зависит от ширины прокатываемых штук, хотя всем известно, что это не соответствует действительности. Учитывать влияние ширины на уширение при прокатке обычных сортовых и фасонных профилей нам кажется совершенно необходимо.

Причину независимости уширения от ширины прокатываемых штук находят в том, что при деформации металла при прокатке, уширению подвергаются лишь края полосы, середина же полос только удлиняется.

Опытами выяснено, что уширение металла происходит по всей ширине прокатываемых штук, хотя и не совсем равномерно во всех элементах по ширине.

Для случая прокатки меди найдено, что уширение имеет максимальное значение при отношениях первоначальной ширины к толщине до пропуска $\frac{B}{H}$ в пределах 1,0 до 2,0. Можно полагать, что с дальнейшим увеличением соотношения $\frac{B}{H}$ величины абсолютных уширений будут медленно убывать и приближаться к оси абсцисс, как показано пунктиром на фиг. 49.

¹ Подробнее см. статью инж. П. А. Александрова и Н. Ф. Лашко „Об уширении металлов при прокатке“, журн. „Качественная сталь“, № 4, 1936 г.

Такая же зависимость качественно должна иметь место и для случая прокатки сталей, хотя количественные соотношения могут быть и иными.

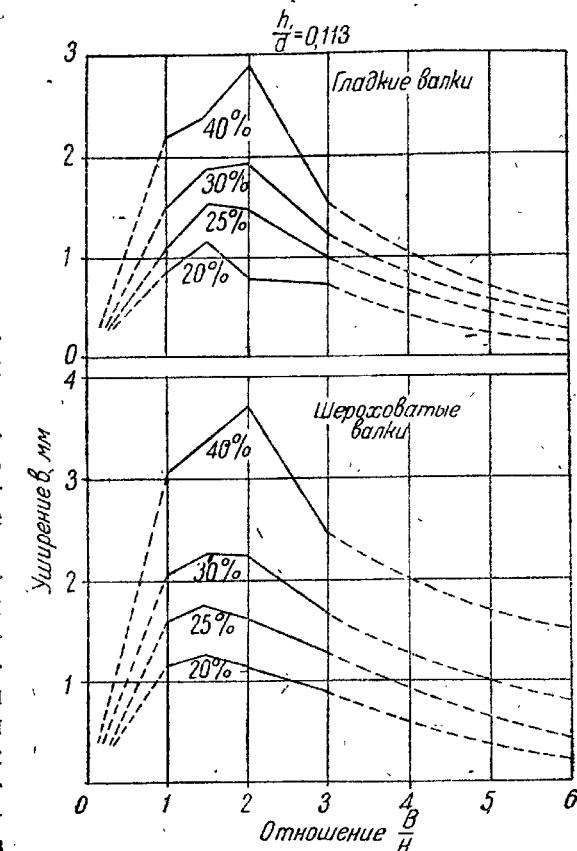
В случае очень широких полос² (или листов) края уширяются больше, нежели середина. Частицы металла по середине полос должны преодолеть громадное поперечное сопротивление, чтобы ушириться по сравнению с сопротивлением вдоль — в сторону вытяжки. Сопротивление уширению крайних частиц значительно меньше. Но в этом случае уширению крайних частей мешает вытяжка средних и в зависимости от соотношения их масс происходит большая или меньшая утяжка боковых, крайних частей, в результате чего создается ничтожное общее уширение.

Резюмируя изложенное о влиянии ширины и толщины прокатываемых штук, следует отметить, что практически для сортовых профилей необходимо считаться с влиянием ширины и толщины на уширение и лучше уширение брать в процентах от ширины, нежели в абсолютных единицах.

б) Влияние величины диаметров валков

Известно, что валки большего диаметра дают большее уширение, чем валки меньшего диаметра. При анализе влияния диаметра валков на уширение следует учитывать одновременно и толщину прокатываемой штуки, беря в качестве сравнения отношение первоначальной толщины к диаметру валков $\frac{H}{D}$.

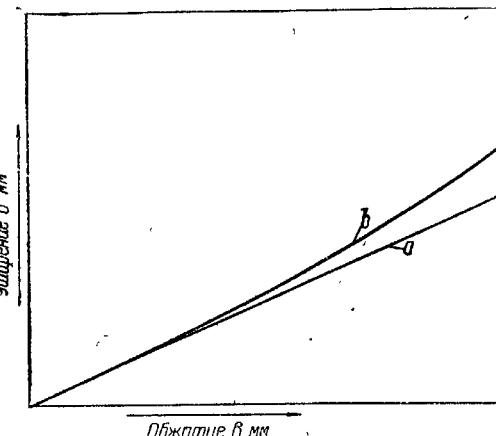
Увеличение уширения с увеличением диаметров валков объясняется возрастанием удельного давления, т. е. сопротивления деформации с увеличением диаметров валков при прочих постоянных условиях. Увеличение сопротивления деформации с



Фиг. 49. Зависимость уширения металла от ширины прокатываемых штук

увеличением 'диаметров' или уменьшением отношения $\frac{H}{D}$ установлено опытыми вполне определенно.

Когда прокатка происходит между двумя неодинаковыми по диаметру валками, то уширение получается больше на стороне валка малого диаметра. Это объясняется тем, что меньший по диаметру валок обжимает прокатываемую штуку больше, чем валок большего диаметра, т. е. меньший валок глубже вдавливается в обжимаемый металл, нежели больший.



Ф. 50. Зависимость уширения от обжатия

Следовательно для того, чтобы получить более правильные результаты при подсчете уширения по формуле Жеза, надо с увеличением обжатия увеличивать величину коэффициента.

При прямолинейной зависимости абсолютного уширения от обжатия, суммарное уширение не зависело бы от числа пропусков. Но фактически оказывается, что при одном и том же общем обжатии, но при разном количестве пропусков между валками, уширение больше для случая прокатки в один пропуск и значительно меньше для случая многократной прокатки. Это явление имеет немаловажное практическое значение.

г) Влияние трения

Роль внешнего трения металла о валки (при прокатке) имеет огромное значение.

Вплоть до последних лет многими прокатчиками, особенно практиками, утверждается, что с увеличением трения на поверхности соприкосновения металла с валками уширение уменьшается.

Однако, это не подтверждается фактами, наоборот, чем большее трение на поверхности соприкосновения металла с валками, тем при прочих равных условиях больше уширение.

Коэффициент трения стальных валков с горячим металлом (при прокатке) больше, чем чугунных валков, поэтому стальные валки лучше захватывают штуку, чем чугунные и больше последних уширяют металл.

В последнее время многочисленными специально поставленными опытами при холодной прокатке окончательно установлено, что с увеличением трения уширение увеличивается. Несомненно это должно оправдаться и для случая горячей прокатки.

Влияние трения на уширение практически в некоторой мере колеблется от изменения соотношения $\frac{H}{D}$, где H — толщина прокатываемой штуки, D — диаметр валков. С увеличением этого отношения влияние трения на уширение уменьшается. Наоборот, чем меньше отношение $\frac{H}{D}$, тем больше значение трения при уширении, например, при прокатке полосового и листового железа трение оказывает значительно влияние на уширение.

Влияние трения качественно хотя и полностью выяснено экспериментальными данными, но ввиду наличия старых взглядов у прокатчиков о большем уширении при прокатке на гладких валках, чем на шероховатых, мы считаем необходимым проведение дополнительных опытов на станах при горячей прокатке стали. При этом необходимо учитывать наличие окалины, которая в зависимости от количества ее на поверхности металла, резко изменяет коэффициент трения при прокатке.

Практически иногда важно знать форму боковых кромок, получаемых при уширении. Оказывается, что главной причиной получения выпуклых, вогнутых или ровных боков является величина трения между металлом и обжимающей поверхностью валков. Действительно, при большом трении между обжимаемым металлом и обжимающей поверхностью получаются выпуклые бока и наоборот — при малом трении вогнутые бока.

Установлено, что при прокатке горячего металла края получаются вогнутыми, при прокатке более холодного металла — выпуклыми. Если учесть, что при уменьшении температуры увеличивается коэффициент трения, то это явление становится понятным.

д) Влияние температуры прокатки

Влияние температуры металла на уширение находится в тесной связи с изменением величины трения на поверхности соприкосновения металла с валками от температуры.

Вполне определено установлено, что уширение возрастает с остыванием металла. Но влияние температуры прокатки на уширение различных сталей в пределах температур 1100—900° сказывается довольно слабо.

Практически необходимо учитывать, что при прокатке металла в холодном состоянии происходит больший упругий изгиб валков;

холодная штука обжимается меньше и выходит толще из валков. Поэтому, при следующем пропуске после кантовки ширина его будет больше. Вот чем, в большинстве случаев, объясняется на практике переполнение калибров и образование заусенцев при прокатке застывшего металла.

В таблице 9 приводятся результаты исследования свободного уширения при прокатке для различных сталей при разных температурах, проведенные П. Александровым.

Таблица 9

Марка стали	Температура °С (в мм)	Высота		Ширина		Коэффициенты деформации		Химический состав				
		До прокатки h_0	После прокатки h_1	До прокатки b_0	После прокатки b_1	Уширение абсолютное (в мм)	Уширение в % от обжатия					
		Обжатие Δh	(в мм)	После прокатки b_0	После прокатки b_1	$\lambda' = \frac{h_0}{h_1}$	$\lambda'' = \frac{b_1}{b_0}$					
Сталь-3	1181 1096 1000 901	33,86 33,50 33,50 33,40	25,14 25,26 25,43 24,78	8,72 8,24 8,07 8,62	33,66 33,77 34,11 33,64	37,64 38,59 39,14 39,08	45,6 58,5 50,3 54,4	1,35 1,33 1,32 1,35	1,12 1,14 1,15 1,16	0,830 0,857 0,871 0,859	С—0,10 Мп—0,53 — —	
Сталь-7	1172 1096 996 893	34,06 34,03 33,93 34,16	25,36 25,31 25,31 25,01	8,70 8,72 8,62 9,15	34,27 34,39 34,56 34,16	39,50 39,78 40,02 39,89	5,23 5,39 5,46 5,73	60,1 61,8 63,3 62,6	1,34 1,34 1,34 1,37	1,15 1,16 1,16 1,17	0,858 0,865 0,865 0,854	С—0,50 Мп—0,65 — —
Эх-2 . .	1083 999 900	29,92 29,86 29,83	19,24 19,91 20,47	10,68 9,95 9,36	29,93 29,76 29,91	38,92 37,55 36,70	8,99 7,79 6,79	84,2 78,3 72,5	1,55 1,50 1,46	1,30 1,26 1,23	0,839 0,840 0,842	С—1,03 Мп—0,35 Cr—1,45
Э-10 . .	1166 1100 1000 898	33,59 33,84 33,71 34,08	21,82 25,47 24,71 24,77	8,77 8,37 9,00 9,31	34,83 34,79 34,88 34,68	40,42 39,70 40,45 40,38	5,59 4,91 5,57 5,70	63,7 58,7 61,9 61,2	1,35 1,33 1,36 1,37	1,16 1,14 1,16 1,16	0,859 0,857 0,853 0,847	С—0,37 Мп—0,37 Cr—1,4 Ni—3,35

Примечание: Диаметр валков стана, на котором производилась прокатка, — 400 мм, скорость прокатки — 4,3 м/сек.

е) Влияние скорости прокатки

Влияние скорости прокатки на уширение сказывается изменением трения скольжения на поверхности соприкосновения валков с металлом и изменением скорости деформации.

Многочисленные опыты подтверждают, что с уменьшением скорости труящихся поверхностей при скольжении, коэффициент трения увеличивается. Отсюда напрашивается вывод, что с уменьшением скорости прокатки коэффициент трения скольжения возрастает, а следовательно уширение должно увеличиваться.

В действительности это и подтверждается: уширение увеличивается с уменьшением скорости прокатки и уменьшается с увеличением скорости прокатки.

Это явление хорошо заметно при прокатке на непрерывных станах, где скорости прокатки от первых клетей к последующим резко увеличиваются. Уширение при прокатке в первых клетях получается значительно больше, чем в последующих, так что и запас на уширение в калибрах в первых клетях надо брать значительно больше, чем для последних клетей.

ж) Формулы для расчета уширения

До настоящего времени наибольшим распространением на практике вследствие удобства и простоты пользования ею имеет формула, данная Л. Жезом

$$Z = k(H - h),$$

где k — коэффициент, $H - h$ — величина обжатия в мм, Z — уширение в миллиметрах.

Для свободного уширения Жез дал значение коэффициента k для листовой стали $k = 0,35$, а для сварочного железа $k = 0,48$. В этой формуле для подсчета уширения берется только один хотя и важнейший фактор — величина обжатия, причем уширение считается прямопропорциональным величине обжатия, что, как мы показали, также неверно. Отсюда ясно, что эта формула является грубо эмпирической, которой можно пользоваться лишь подставляя в зависимости от условий работы различные величины коэффициента k , найденные на основании опыта в соответствующих условиях работы.

Различными авторами в зависимости от различных факторов значение коэффициента k устанавливается разное. Например, Тафель предлагает коэффициент k при температуре прокатки от 1000° и более брать 0,25, а при температурах ниже 1000° — 0,35.

По нашим исследованиям и производственным материалам коэффициент k в формуле Жеза изменяется в зависимости от различных факторов от 0,2 до 0,8.

Более точные результаты для подсчета уширения дают формулы Петрова (1914 г.)

$$Z = C \cdot \frac{H - h}{h} \sqrt{R(H - h)}$$

и Зибеля (1930 г.)

$$Z = K_z \cdot \frac{H - h}{H} \sqrt{R(H - h)},$$

где C и K_z — коэффициенты, R — радиус валка; прочие обозначения известны.

Пользование последними формулами несколько затрудняется вследствие их сложности, но совершенно необходимо при более точных вычислениях и неизвестных условиях работы.

ГЛАВА V

КАЛИБРОВКА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ (ЧЕРНОВЫХ) КЛЕТЕЙ КРУПНОСОРТНЫХ СТАНОВ

Подготовительные (или черновые) калибры имеют своим назначением (далее постепенно обжимной клети) уменьшать сечение заготовки и получать более точные по размерам квадратные заготовки для чистовых клетей.

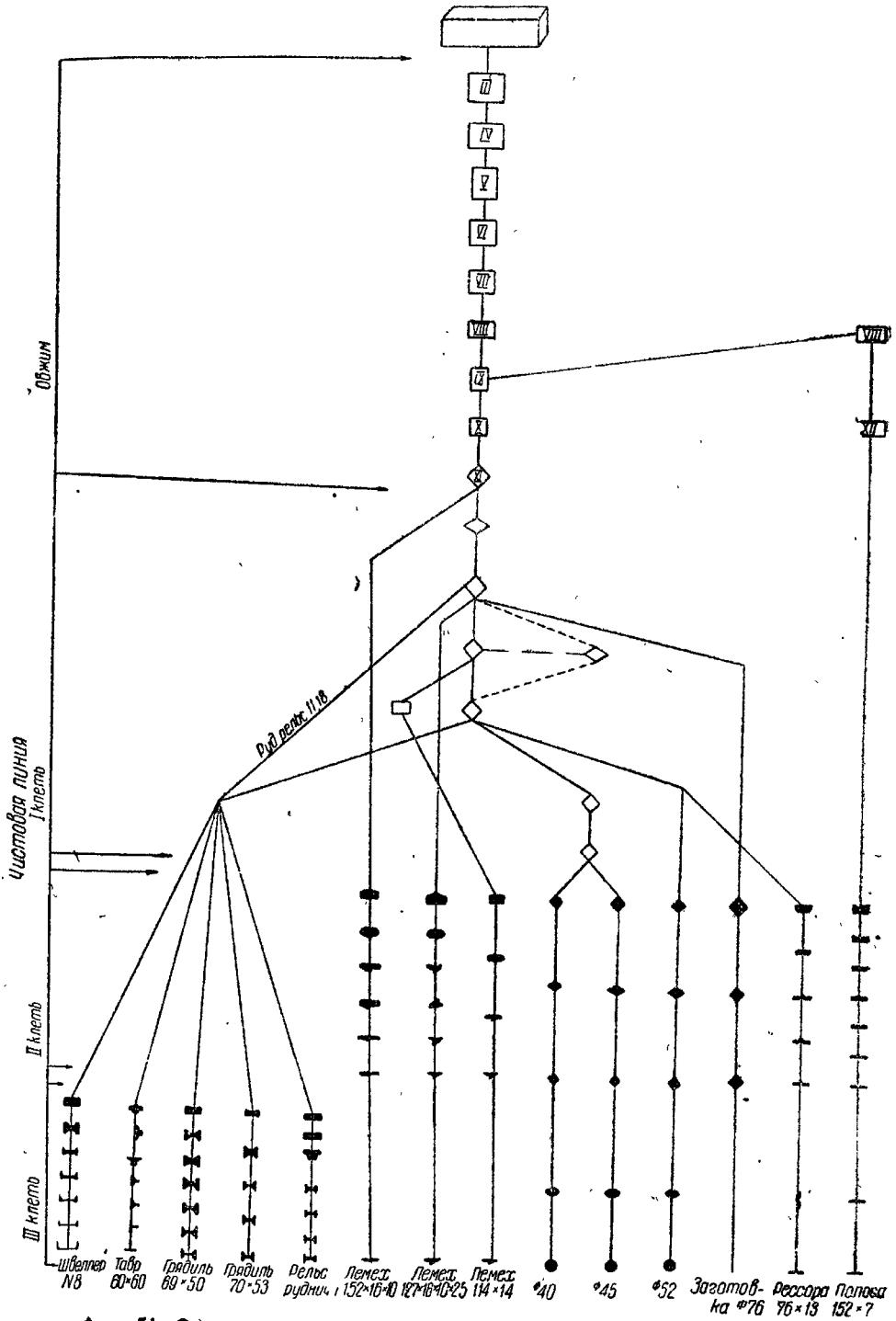
Системы подготовительных калибров на крупносортных станах служат почти исключительно для прокатки крупных размеров круглого и квадратного железа и, только частично,— полосового, так как для последнего, также как и для фасонных профилей, имеются специализированные подготовительные валки.

В тех случаях, когда фасонные профили требуют заготовки малых размеров, последние выпускаются также из общих подготовительных клетей. На фиг. 51 представлена общая схема

Таблица 10

Подготовительные и чистовые клети, расположенные отдельно от обжимов

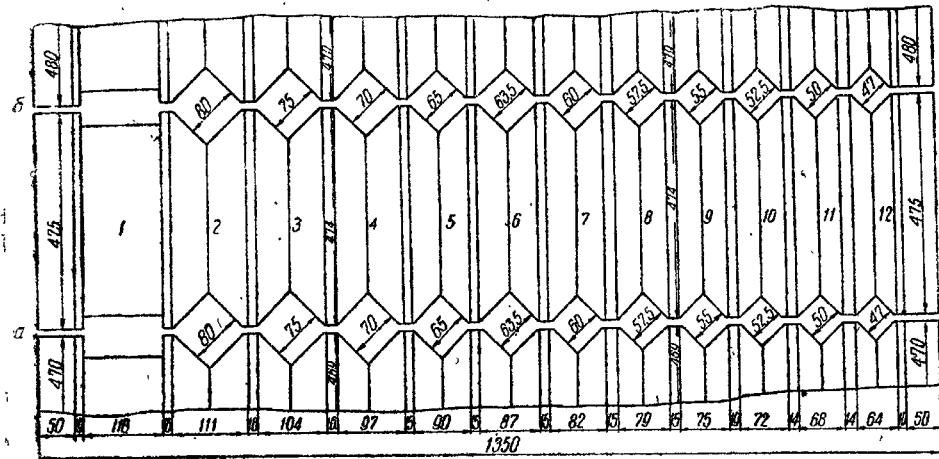
Заводы	Стан	Количество клетей и тип	Диаметр шестерен (в мм.)	Скорость прокатки ж теч	Двигатель			Сортамент стана
					Тип	Мощность лс	Число оборотов в минуту	
Имени Петровского	420	3 трюо 1 дуо	395	4,45	Электромотор переменного тока	2000	215	Ø 38—48, полосовое шириной 44—80, толщина 6—40; рессора 76×13; 76×9,5; 89×13; 100×13; угловое 50×5—7; 75×50×6÷10; 60×40×6÷8 и шведлер № 6, 8 и др.
Имени Сталина	400	4 трюо	400	4,4	Электромотор переменного тока	1600	210	Квадратное 32÷65; полосовое шириной 100÷160, толщиной 4÷10, а также 65×20, 90×40; 130×3 и 155×3.
Имени Дзержинского .	500	3 трюо	480	2,5—4,5	Электромотор постоянного тока	1000	100÷180	Ø 39—56; угловое 60×6÷8; 6; 6×6÷10; 75×50×6÷8; 80×40×6; 90×60×8÷10; 100×65×8÷10; шведлер № 8; рессора 76×13; рудническая разн.; гравиль и др.



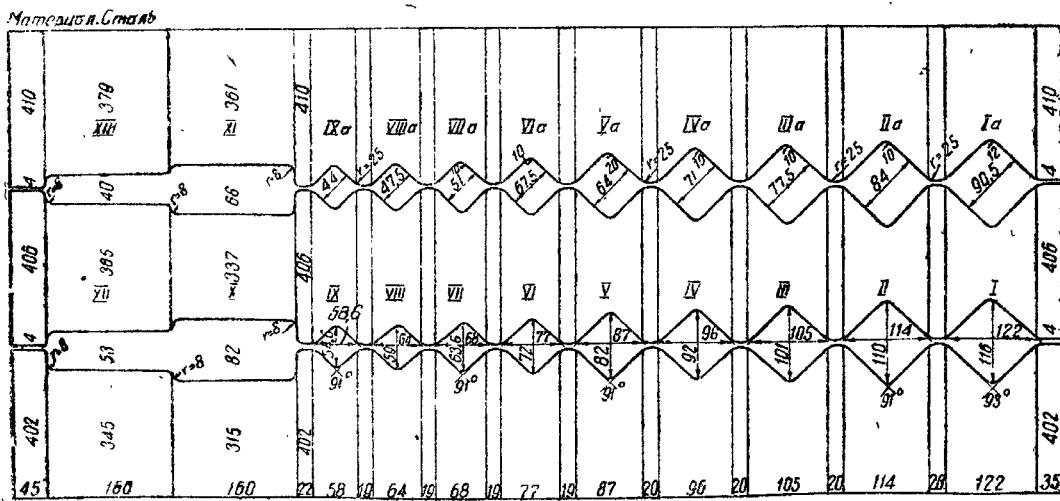
Фиг. 51. Общая схема прокатки всех профилей на стане 500 завода имени Дзержинского

прокатки всех профилей на стане 500 завода имени Дзержинского.

Основные данные о крупносортных станах некоторых заводов, расположенных в одну линию с обжимными клетями, приведены в таблице 1.



Фиг. 52. Калибровка валков черновой клети стана 500 завода имени Ворошилова

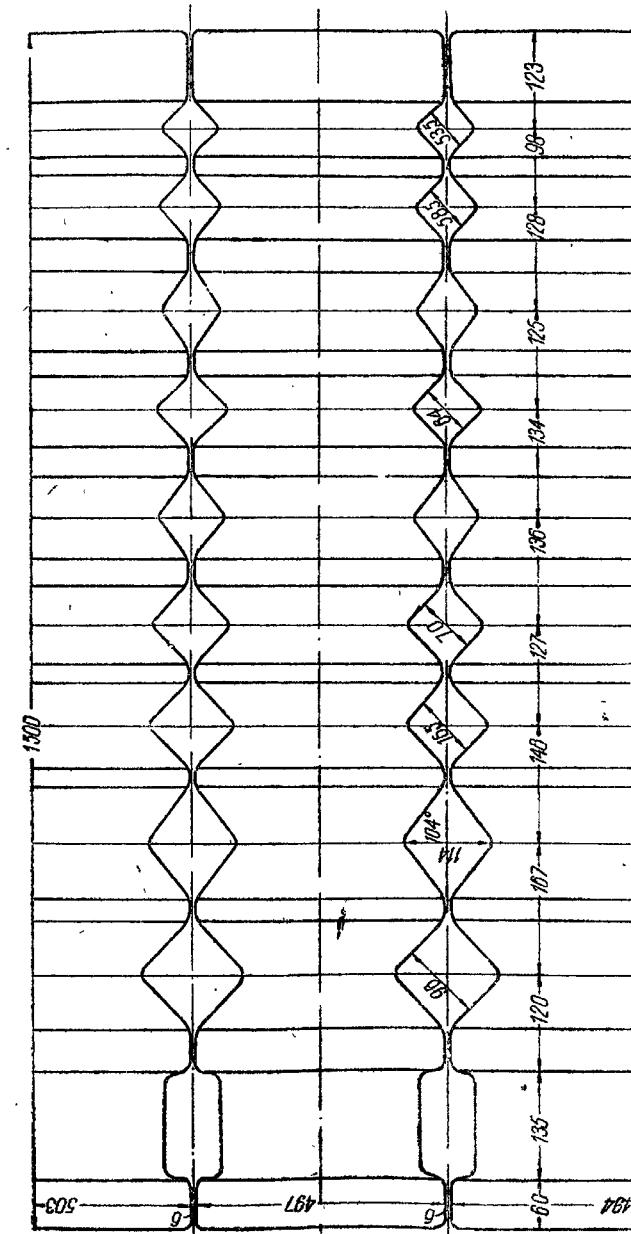


Фиг. 53. Калибровка валков черновой клети стана 400 Сталинского завода

В таблице 10 приведены такие же данные о станах, на которых черновые линии, совместно с чистовыми, расположены отдельно от обжимных клетей.

Типичные калибровки подготовительных клетей, применявшиеся на наших заводах, приводятся на фигурах 52, 53, 54.

Основные данные о калибровке подготовительных клетей крупносортных станов приведены в таблице 11.



Фиг. 54. Калибровка валков черновой клети стана 500 завода имени Дзержинского

Приведенные данные показывают, что валки черновых клетей крупносортных станов в основном калибруются по двум системам: — системе „квадрат-квадрат“ и системе „ромб-квадрат“, причем преобладающей системой является „квадрат-квадрат“.

Таблица 11

Характеристика калибровки подготовительных клетей крупносортных станов

Заводы Серн	Прокатываемые профилии (в дж.)	Размер заготовки с обточкой (в мм)	Размер заготовки с подготовкой калибровки (в мм)	Характеристика системы калибровки подготовительных клетей	Пределы вытяжек за 1 пропуск	Общая вытяжка	График обработки
							Круглое 60—100
Орджоникидзеский . . .	550	Квадратное 32—45	Кв. 91	Кв. 50—58	Квадрат квадрат" от 68 до 118 мм в одной клети	1,10—1,26	3,8—3
Имени Сталина . . .	400	Квадратное 50—60	Кв. 91	Кв. 64	"Квадрат квадрат" от 44 до 90,5 через 3,5—6 мм в одной клети	1,10—1,20	4
Имени Дзержинского . . .	500	Круглое 42—52	Кв. 96	Кв. 64—53	"Ромб-квадрат", совместно с чистов. калибр. в одной клети	1,11—1,40	2,30—3,3
Имени Ворошилова . . .	500	Круглое 38—45	Кв. 72	Кв. 48,5	"Ромб-квадрат" и "квадрат-квадрат" в одной клети	1,04—1,30	4—6
" . . .	" . . .	Полосовое 75—90	Кв. 72—81	Кв. 50—60	Смешанная система, стрельчатый "квадрат-ромб"	1,02—1,25	2,2
Имени Петровского . . .	420	Круглое 38—42	Кв. 57	Кв. 40—46	"Квадрат квадрат" через 2,5—3 мм, 65—80 через 5 мм, "Ромб-квадрат", уг. ромба—115°	1—1,30	3—7

Условные обозначения: Кв.—квадратное.

1. Система „квадрат-квадрат“

Значительное распространение системы „квадрат-квадрат“ на черновых линиях крупносортных станов объясняется тем, что до недавнего времени большинство станов имело чрезвычайно большой сортамент проката и благодаря этому от черновых клетей требовалось получение большого количества различных квадратных заготовок.

В системе „квадрат-квадрат“ каждый промежуточный калибр одновременно является и выпускным для той или иной квадратной заготовки, так что она позволяет иметь минимальный парк валков и сокращает количество перевалок.

Анализ многочисленных заводских калибровок показал что в рассматриваемой системе разность между сторонами квадрата при переходе из большего квадрата в меньший при крупных размерах делается 5—7 мм, а при меньших (меньше 60 мм)—2,5—3 мм.

Так например, на стане 550 Орджоникидзеского завода имеется ряд квадратов со сторонами 118—113—108—103—98... мм и т. д. до 68 мм, т. е. через 5 мм; на стане 500 завода имени Ворошилова соответственно 80—75—70—65 мм; на стане 400 завода имени Сталина—90—84—77—71—64 мм.

Для меньших размеров на стане 400 завода имени Сталина—51—47,5—44 мм; на стане 500 завода имени Ворошилова—54,5—51—48,5—46.. мм и т. д. до 37 мм—разность сторон 2,5—3,5 мм.

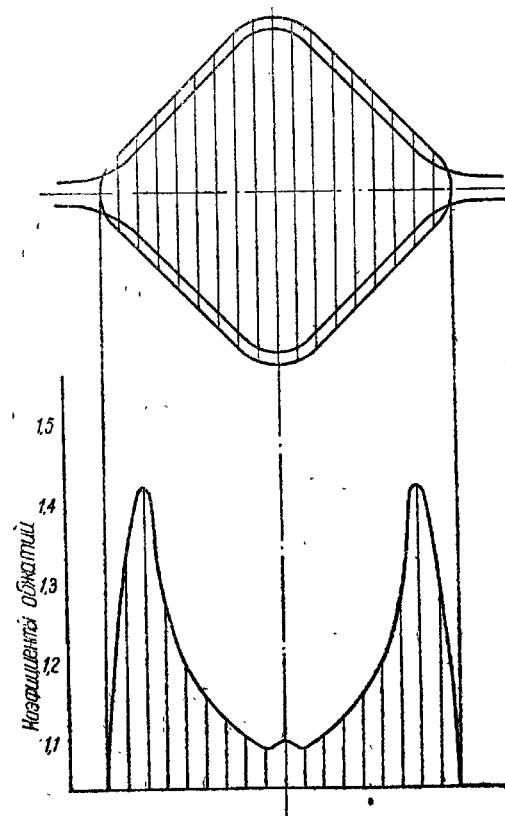
При этих условиях вытяжка в любом пропуске может быть вычислена по формуле:

$$\mu_n = \frac{[a - k(n-1)]^2}{[a - kn]^2},$$

где a —сторона наибольшего квадрата,

k —разность между сторонами соседних квадратов,

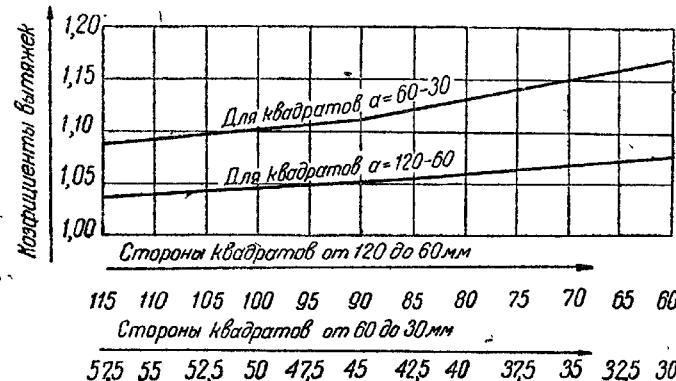
n —порядковый номер пропуска.



Фиг. 55. Диаграмма обжатий (удлинений) в системе „квадрат-квадрат“

Построение калибров в рассматриваемой системе производится или в виде геометрически правильного квадрата (стан 500 завода имени Дзержинского, стан 550 Орджоникидзенского завода, частично стан 500 завода имени Ворошилова и др.), или же калибр расширяется по горизонтальной диагонали и угол при вершине делается $91-95^\circ$ (стан 420 завода имени Петровского, частично стан 500 завода имени Ворошилова и др.).

В вершине и на буртах калибры закругляются различными радиусами, зависящими от величины квадрата и от назначения



Фиг. 56. Диаграмма вытяжек для системы „квадрат-квадрат“

выпускаемой заготовки. В случае если они идут на прокатку квадратного железа в чистовой клети, то закругление почти отсутствует.

Недостатками системы „квадрат-квадрат“ являются невозможность работы с большими вытяжками и опасность образования заусенцев, что наглядно видно из представленной на фиг. 55 диаграммы обжатий (в рассматриваемой системе). Как видно из этой фигуры, места на уширение в калибре по существу не остается; только закругление в вершине предыдущего калибра и притуление буртов создает возможность работы. Обжатие крайних частей сечения больше чем средних, а поэтому здесь имеет место вынужденное уширение крайних частей, что и создает опасность образования заусенцев даже при небольших обжатиях.

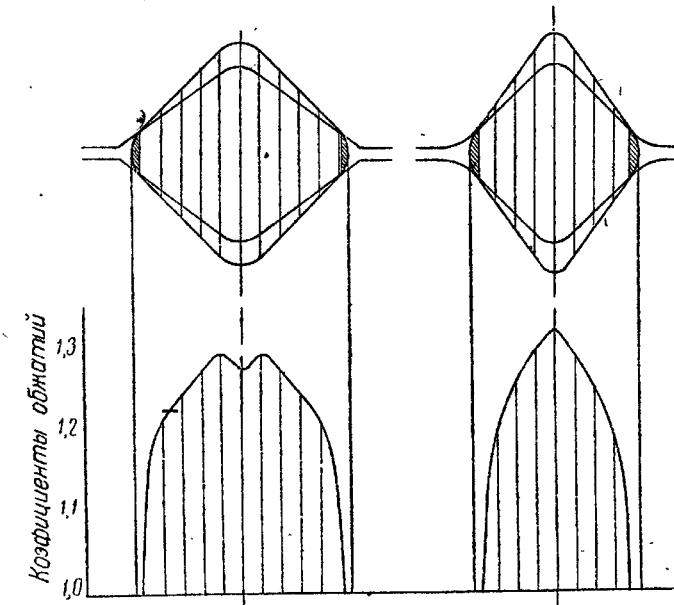
На фиг. 56 представлена построенная на основании практических данных диаграмма вытяжек в системе „квадрат-квадрат“, показывающая, что только для самых малых размеров квадратов вытяжки в них достигают 20%; в большинстве же случаев они держатся в пределах 8—15%.

Только калибры, построенные как ромбы с углом при вершине немного превышающим 90° , допускают несколько большие величины вытяжек.

2. Система „ромб-квадрат“

Система „ромб-квадрат“ в качестве вытяжной имеет то преимущество перед системой „квадрат-квадрат“, что она допускает значительно большие величины вытяжек.

Из представленной на фиг. 57 диаграммы обжатий (удлинений) в системе „ромб-квадрат“ видно, что как при пропуске



Фиг. 57. Диаграмма обжатий (удлинений) для системы калибров „ромб-квадрат“

квадрата в ромбический калибр, так и ромба в квадратный, места на уширение остается более или менее достаточно, причем этот запас будет тем больше, чем больше угол в вершине ромба.

Практически углы в ромбических калибрах черновых линий крупносортных станов делаются в пределах $100-115^\circ$. При этих условиях вытяжки в них лежат в пределах 15—30%, достигая иногда даже 35% (стан 420 завода имени Петровского), причем закономерность увеличения вытяжек с увеличением тупого угла ромба выявляется довольно отчетливо.

Ромбические калибры подобно квадратным закругляются в вершине и на буртах радиусами, величина которых зависит от величины ромба.

Недостатком системы являются затруднения в получении ряда квадратных заготовок, близких по размерам друг к другу.

Системы калибровок „квадрат-квадрат“ и „ромб-квадрат“ имеют следующий общий недостаток: при прокатке в этих системах с повышенными коэффициентами вытяжек образуются заусенцы, как показано на фиг. 58; металл в этих заусенцах

охлаждается быстрее основной массы и при следующем пропуске эти заусенцы, в зависимости от их размеров, образуют закаты, или вдавливаются в тело штуки, создавая области неравномерных напряжений при деформации. Кроме того в обеих системах часть металла по бокам не подвергается обжатию (на фиг. 57— заштрихованная часть), но вследствие связности с основной массой вытягивается, одновременно подвергаясь свободному уширению. При этом возможно появление разрывов в металле, вскрытие дефектов металла или ранее закатавшихся трещин

и волосовин, так как металл деформируется, не будучи в состоянии такой высокой пластичности и подвижности, какое имеется при наличии обжатия.

Последний недостаток в системе „ромб-квадрат“ или „ромб-ромб“ больше, чем в системе „квадрат-квадрат“.

Сравнение систем калибровок „квадрат-квадрат“ и „ромб-квадрат“ приводит к выводу, что при современных требованиях к производительности станов должно быть отдано предпочтение системе „ромб-квадрат“ как более производительной.

Специализация прокатных станов позволила почти на всех станах достигнуть сокращения сортамента, а это в свою очередь должно сократить количество необходимых разнообразных заготовок для чистовых клетей и позволить при системе „ромб-квадрат“ с комбинацией „квадрат-квадрат“ обойтись минимальным количеством валков.

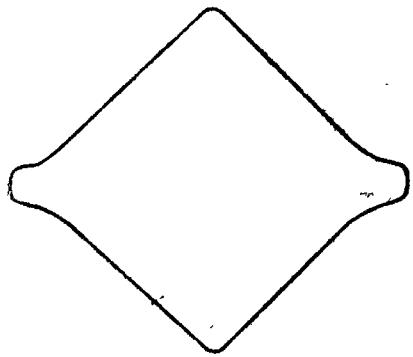
Таким образом следует рекомендовать заводам, применяющим систему „квадрат-квадрат“, заменить ее системой „ромб-квадрат“ в комбинации с системой „квадрат-квадрат“, в случае необходимости большого количества разнообразных по размеру заготовок.

Останавливаясь на оценке калибровок подготовительных клетей наших заводов, можно отметить, что удовлетворительные калибровки имеют подготовительные клети стана 420 завода имени Петровского, стана 500 завода имени Дзержинского и калибровки для квадратного железа стана 400 завода имени Сталина.

Следует отметить, что в некоторых случаях несмотря на наличие ромбических калибров, фактически часто пользуются только квадратными (завод имени Дзержинского, стан 500). На стане 500 завода имени Ворошилова имеются две подготовительные клети для круглого и полосового железа; последняя имеет целиком систему „квадрат-квадрат“, а первая имеет и ромбиче-

ские калибры, но во многих случаях прокатка идет полностью в системе „квадрат-квадрат“. Для этого стана было бы целесообразно пересмотреть калибровки выяснив возможность ограничиться одним комплектом подготовительных валков для всех профилей и ввести для него калибровку по системе „ромб-квадрат“ в комбинации с „квадрат-квадрат“.

Также следует пересмотреть необходимость применения системы „квадрат-квадрат“ на ряде других заводов (подготовительных клетях стана 400 завода имени Сталина, стана 550 Орджоникидзевского завода и др.).



Фиг. 58. Очертание квадрата, полученного при прокатке в системе „ромб-квадрат“ с большими обжатиями (обводка темплета)

ГЛАВА VI

КАЛИБРОВКА ПОЛОСОВОГО ЖЕЛЕЗА

1. Два способа прокатки полосового железа

Прокатка полосового железа на сортовых станах ведется двумя способами—в закрытых калибрах и в гладких (или ступенчатых) валках, плашмя, с предчистовым ребровым пропуском.

Первый способ—прокатка в закрытых калибрах—применяется для полосового железа шириной от 80 до 200 м.м. Получение острых и прямых кромок здесь достигается работой с ограниченным уширением.

Второй способ—прокатка в гладких или ступенчатых валках, применяется главным образом для прокатки полос малой ширины—от самых узких до 70—80 м.м. шириной. Для достижения точных размеров полосы по ширине, а также получения острых и прямых кромок при прокатке, по этому способу применяются специальные ребровые калибры, располагающиеся перед чистовыми, в которых полоса осаживается по ширине.

Применение этого способа прокатки для более широких полос ограничивается тем, что при прокатке „на ребро“ последние могут сгибаться и коробиться, как показано на фиг. 59. Однако, все же известны случаи удовлетворительной работы при прокатке через ребровые калибры полос шириной даже до 150 м.м. (завод имени Октябрьской Революции, стан 500).

Одним из основных моментов в калибровке полосового железа является правильный расчет уширения.

Более точные результаты для расчета свободного уширения при прокатке полосового железа дает формула Зибеля:

$$Z = K_z \frac{H-h}{H} \sqrt{R(H-h)}.$$

Величина коэффициента K_z —в формуле Зибеля по данным самого автора, изменяется в пределах 0,30—0,40¹. Однако проведенное нами значительное количество наблюдений показало,

¹ Домез, 1934 г., № 6.

что в большинстве случаев фактически величины K_z несколько выше указанных пределов.

В таблице 12 приведены данные о величинах K_z , рассчитанных нами по фактическому уширению и обжатию (по темплетам) для ряда размеров полосового железа, прокатываемого на станах некоторых южных заводов.

Таблица 12

Величины коэффициента свободного уширения K_z в формуле Зибеля

Заводы	Стан	Профиль в м.м.	Пределы изменения K_z (по темплетам)	Средняя величина K_z
Орджоникидзенский	360	45 × 12	0,316—0,646	0,47
	360	50 × 12	0,342—0,476	0,42
Имени Сталина	350	40 × 10	0,356—0,424	0,39
	350	60 × 6	0,208—0,524	0,38
" "	250	20 × 10	0,418—0,640	0,55
	250	22 × 10	0,386—0,623	0,47
Имени Ворошилова	250	25 × 5	0,246—0,683	0,47
	300	30 × 6	0,266—0,643	0,42
" "	300	35 × 8	0,481—0,820	0,64
	300	40 × 10	0,218—0,485	0,35
Имени Кирова	330	50 × 8	0,244—0,828	0,50
	280	40 × 4	0,212—0,533	0,37
Средняя				0,45

Причина большого диапазона колебаний K_z —коэффициента формулы Зибеля для свободного уширения, зависит от целого ряда факторов, которых формула не учитывает, как температура прокатки, скорость прокатки, состояние поверхности валков и пр. Большой диапазон колебаний K_z говорит о несовершенстве самой формулы; средняя величина $K_z=0,45$.

Согласно данных этой таблицы можно принять, что K_z изменяется в пределах 0,21—0,83.

Формула Зибеля применима не только для расчета свободного уширения, но также и для ограниченного при прокатке в закрытых калибрах. В этом случае в хорошо заполненных калибрах уширение равно 0,40—0,45 от свободного уширения и следовательно формула Зибеля примет вид:

$$Z = (0,40 \div 0,45) K_z \frac{H-h}{H} \sqrt{R(H-h)},$$

где $K'_z = (0,4 \div 0,45) \cdot K_z$.

Данные о фактических величинах коэффициента K'_z , вычисленные по фактическому материалу некоторых заводов, приведены в таблице 13.

Таблица 13

Величины коэффициента ограниченного уширения K'_z в формуле Зибеля

Заводы	Сталь	Профиль	Пределы изменения K'_z	Средняя величина K'_z
Имени Фрунзе	585	100 × 8	0,078 — 0,192	0,113
	585	120 × 8	0,09 — 0,078	0,074
	585	130 × 8	0,069 — 0,178	0,074
	585	140 × 8	0,046 — 0,283	0,143
	585	150 × 8	0,081 — 0,152	0,118
	585	160 × 8	0,070 — 0,100	0,085
	585	180 × 8	0,080 — 0,174	0,116
	510	90 × 6	0,137 — 0,25	0,201
Имени Ворошилова	500	80 × 6	0,171 — 0,25	0,183
	500	70 × 6	0,154 — 0,174	0,164
	500	152 × 7	0,12 — 0,278	0,29
Имени Дзержинского	500	202 × 10	0,065 — 0,169	0,115
	550	202 × 12	0,123 — 0,203	0,163
Имени Петровского	420	70 × 12	0,055 — 0,314	0,146
	400	100 × 7	0,083 — 0,147	0,124
	400	120 × 10	0,074 — 0,308	0,153
	400	110 × 5	0,121 — 0,213	0,167
	400	160 × 8		
Средняя				0,138

Свободное уширение на гладком барабане
(по темплетам)

		Обжатие (мм) K_z		
Имени Фрунзе	585	100 × 14	6,1	0,18
	585	120 × 12	5,7	0,25
	585	140 × 10	3,0	0,39
	585	160 × 20	2,6	0,35
	500	152 × 7	2,0	0,21
	420	70 × 12	4,5	0,29
	500	80 × 8	6,5	0,23
	500	90 × 10	5,9	0,27
Средняя				0,27

Согласно приведенным данным фактически K'_z — изменяется в пределах 0,07—0,31; средняя величина $K'_z = 0,14$; по данным проф. А. П. Чекмарева $K'_z = 0,15—0,17$.

В непосредственной связи с вопросами уширения находится вопрос об определении величины исходного квадрата для прокатки полосового железа.

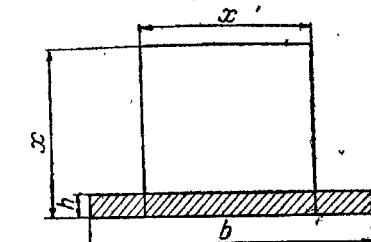
Исходя из формулы Жеза, сторона исходного квадрата x определяется следующим образом (фиг. 60):

$$b - x = k(x - h) \text{ и } x = \frac{b + kh}{1 + k},$$

где k — коэффициент уширения, b и h — ширина и толщина полосы.

Необходимо отметить, что при выборе величины коэффициента свободного уширения — k , производимого на основании практики (опытным путем), следует учесть число пропусков при прокатке. Как мы уже указывали ранее, при одном и том же общем обжатии, но при разном числе пропусков, коэффициент — k для меньшего числа пропусков будет больше, чем для большего числа пропусков.

Подобный же подсчет стороны исходного квадрата можно сделать, пользуясь формулой Зибеля, но в этом случае для определения x нужно решать кубическое уравнение, что довольно сложно и не вызывается необходимостью; так как и определение по приведенной формуле достаточно для практики.



Фиг. 60. Соотношение размеров исходного квадрата и конечной полосы

2. О распределении вытяжек при прокатке полосового железа

Переходя к вопросу распределения вытяжек при прокатке полосового железа, следует отметить, что только при прокатке в закрытых калибрах это распределение зависит от калибровки, так как при прокатке в гладких валках оно почти целиком зависит от настройки стана.

Из работ, предлагающих ту или иную методику в распределении вытяжек, следует отметить работы Л. Жеза и В. Тафеля.

Тафель для расчета обжатий предложил так называемые "ступени давления", составленные для разных размеров полосового железа.

Таблица ступеней давления Тафеля составлена по данным практики без надлежащего теоретического обоснования. Здесь не учитывается качество прокатываемого металла, мощность двигателя и другие факторы прокатки. Очевидно, что в каждом частном случае данные Тафеля должны корректироваться, на что указал и сам Тафель.

Ступени давления рассчитаны для больших обжатий, в этом и состоит их преимущество, но это же делает их более или менее пригодными только при достаточной мощности двигателя.

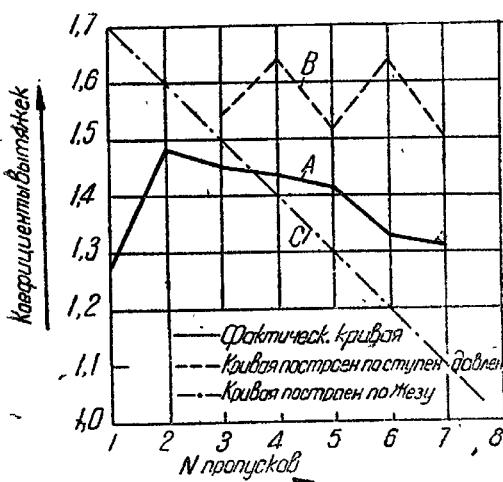
Распределение вытяжек по пропускам, при расчете калибровки по ступеням давления, получается часто совершенно нерациональным.

На фиг. 61 кривая B представляет кривую вытяжек при прокатке полосового железа 180×8 , рассчитанную по способу Тафеля. Как видно кривая имеет вид ломаной линии; необходимость уменьшения вытяжек к последним пропускам с падением температуры здесь совершенно не учтена.

Практически при расчетах калибровки полосового железа сту-

пенями давления пользуются редко. Кривая А на фиг. 61 показывает распределение вытяжек при прокатке полосового железа 180×8 на заводе имени Фрунзе.

В таблице 14 приведены фактические ступени давления, рассчитанные по принципу Тафеля для ряда заводских калибровок. Сравнение приведенной таблицы с таблицей Тафеля показывает, что практически данные в большинстве случаев значительно отличаются от соответствующих данных таблицы Тафеля.



Фиг. 61. Диаграмма распределения вытяжек по пропускам при прокатке полосового железа при различных способах калибровки

Отсюда Жез сделал вывод, что "вытяжки должны быть обратно, или почти обратно, пропорциональны сопротивлению".

Кривая вытяжек по пропускам в соответствии с этим принципом имеет вид наклонной прямой (фиг. 61, кривая С).

Связывая изменение вытяжек при прокатке с временным сопротивлением, Жез исходил из совершенно правильных предпосылок; недостаток его метода заключается лишь в том, что между временем сопротивлением и температурой имеется не прямолинейная, а криволинейная зависимость, выражаемая уравнением:

$$R = M e^{-mT}.$$

Касаясь величин вытяжек, в последнем пропуске можно отметить, что при прокатке полосового железа при расчете калибровки по ступеням давления Тафеля, эти величины получаются слишком большими, что нельзя признать правильным.

При распределении вытяжек по принципу Жеза, величиной вытяжки в последнем пропуске можно задаться.

Практически на наших заводах вытяжки в последних пропусках нередко достигают весьма высоких значений. Так, например, на стане 500 завода имени Ворошилова при прокатке полосового железа 90×10 обжатие достигает 70% (вытяжка 63% — см. фиг. 62).

Таблица 14

Таблица ступеней давления

Заводы	Стан	Профиль	Ступени давления							Примечание
			1	2	3	4	5	6	7	
Имени Фрунзе	585	100 × 14	0	4,5	11	29	39	57	78 ¹	
Тоже	585	100 × 8	0	3,5	10	22	42	—	—	
"	585	100 × 30	0	10	30	—	—	—	—	Тоже для 110, 120, 130 и 140
"	585	120 × 8	0	1,5	4	8,5	16,5	31	52	
"	585	120 × 8	0	3,5	10	22	42	—	—	
"	585	140 × 8	0	2,5	6	12	21	35	56 ¹	Две разные калибровки тоже и 16×8 и 180×8
Имени Ворошилова	500	70 × 20	0	1,5	11	18	29	—	—	
Тоже	500	80 × 8	0	1,5	3	5,5	11	18	33	
500	90 × 10	0	7	12	19	36	—	—		
Имени Петровского	550	200 × 18	0	7	18	29	49	—	—	
Тоже	420	70 × 12	0	ребров.	3	10	14	20	30 ¹	
Имени Дзержинского	500	152 × 7	0	1,5	3	5	8	13	20	
Имени Кирова	330	50 × 8	0	— (p)	1,5	8	16	—	—	
Тоже	330	45 × 8	0	—	1	8	16	—	—	
Имени Ворошилова	300	40 × 10	0	—	2	7	14	—	—	
Имени Кирова	280	40 × 4	0	—	1,5	5	— (p)	11	—	
Орджоникидзеский	360	50 × 12	0	—	4	11	19	—	—	
Тоже	360	45 × 12	0	—	4	9	19	—	—	
Имени Сталина	350	60 × 6	0	—	2	7	16	23,5	—	
Тоже	350	40 × 10	0	—	—	—	—	—	—	
Имени Ворошилова	300	35 × 8	0	— (p)	2	5	10,5	—	—	
Тоже	300	30 × 6	0	—	2	5	11	—	—	
Имени Кирова	280	30 × 5	0	—	1	6	—	—	—	
Тоже	280	25 × 4	0	—	1	5	—	—	—	
Имени Сталина	250	25 × 5	0	—	2	7	—	—	—	
Тоже	—	22 × 10	0	—	1	4	—	—	—	
Имени Кирова	280	22 × 5	0	—	1	5	—	—	—	
Имени Сталина	250	20 × 10	0	—	1,5	5	—	—	—	
Тоже	400	100 × 7	0	1	2,5	6	11,5	20	31	
"	400	140 × 5	0	1	2,5	4,5	8	12,5	18,5	

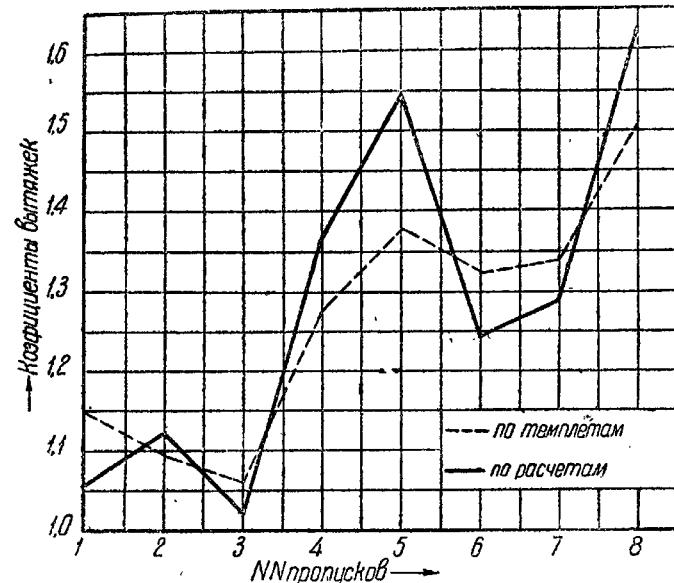
Подобные же величины вытяжек имеются на этом стане для полосового железа других размеров, а также и ряде станов других заводов (станы 550 и 420 завода имени Петровского и др.).

Такие величины вытяжек следует признать чрезмерными. При невысокой температуре полосы в последних пропусках

¹ Ступени давления приблизительно соответствуют таблице Тафеля.

большие обжатия вредно отражаются на работе стана и двигателя, сильно изнашивают валки, профиль полосы получается неправильный, с выпуклыми боковыми гранями, получение точных размеров как по ширине так и по толщине затрудняется.

В правильно рассчитанных калибрах вытяжки в последних пропусках не должны превышать 30%. Такие величины вытяжек и применяются на многих хорошо работающих станах (стан 400 завода имени Сталина, стан 500 завода имени Дзержинского и др.).



Фиг. 62. Диаграмма распределения вытяжек при прокатке полосового железа 90×10 стана 500 завода имени Ворошилова

Касаясь величин углов захвата, следует отметить, что при правильном распределении обжатий или вытяжек, углы захвата при прокатке полосового железа почти никогда не превышают 16–17°, так что захват металла валками обеспечивается без насечек или наварок. Все же некоторые заводы на полосовых трио применяют насечку валков, что следует признать нерациональным с точки зрения качества проката.

Например, применяют насечки валков на полосовом трио стана 500 завода имени Ворошилова. Углы захвата в данном случае не превышают 17°, скорость прокатки порядка 3,0 м/сек; на других заводах при таких же углах захвата и скоростях прокатки работают без насечек.

3. Калибровка полосового железа, прокатываемого в закрытых калибрах

Калибровка полосового железа по этому способу может быть построена весьма рационально; может быть достигнуто наиболее

правильное распределение вытяжек по пропускам. Расчет обжатий для этого должен вестись в строгом соответствии с заранее построенной диаграммой вытяжек; расчет уширения производится по формуле Зибеля.

На практике могут встретиться случаи, когда невозможно или затруднительно получить требуемой для данного профиля величины исходного квадрата. В этом случае требуемая ширина полосы получается из ближайшего меньшего квадрата, пользуясь специальным приемом для вынужденного уширения.

Полосу в одном из первых подготовительных калибров "пережимают" посередине (фиг. 63), а в следующем калибре обжимают края до толщины, которую имеет средняя часть полосы. Масса средних частей полосы в этом случае не обжимается и вытяжка ее равна нулю; средняя часть тормозит вытяжку обжимаемых краев, металла которых, вследствие этого, почти целиком поступает на уширение.

Величина уширения для подобных случаев рассчитывается, исходя из сумм обжатых площадей металла. Так, для случаев, представленных на фиг. 63, имеем:

$$Z = 2 \frac{b'}{h} (H - h) \quad (I)$$

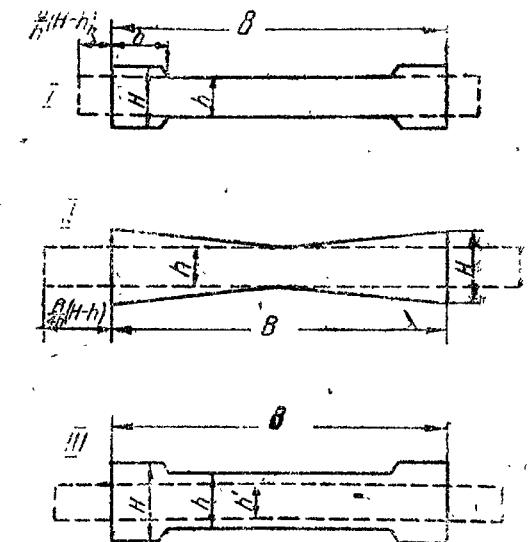
и

$$Z = m \frac{B}{2h} (H - h), \quad (II)$$

где m — коэффициент, лежащий в пределах 0,55—0,65, так как в этом случае часть металла идет и на вытяжку.

Если полоса обжимается не до толщины средней части h , а до меньшей толщины h_1 (фиг. 63, III), то уширение может быть без особой погрешности подсчитано, как сумма вынужденного уширения краев и уширения полосы $b \times h$ при обжатии h на h_1 (по формуле Зибеля).

Основным недостатком способа прокатки в закрытых калибрах является трудность получения чистой поверхности горячекатаной полосы. Вследствие отсутствия ребровых пропусков и прокатки



Фиг. 63. Приемы вынужденного уширения для увеличения ширины прокатываемых полос

плашмя как первичная, так и вторичная окалина частично остается на прокатываемой штуке и вдавливается в массу металла.

Кроме того, при прокатке в закрытых калибрах каждый размер полосы по ширине требует специальной системы калибров, что затрудняет работу в случае наличия большого сортамента проката и мелких заказов (создается большой парк валков, частые перевалки).

Прокатка крупносортного полосового железа ведется обычно в специализированной клети трио с особой калибровкой.

Заготовка поступает в полосовое подготовительное трио, или непосредственно из обжима или из общей подготовительной клети.

На фиг. 64 представлена общая схема прокатки полосового железа на стане 585 завода имени Фрунзе.

На фиг. 65, 66, 67 представлены типичные калибровки полосового железа в закрытых калибрах.

В таблице 15 приводятся взятые на выборку данные о калибровке некоторых характерных размеров полосового железа, прокатываемого на южных металлургических заводах.

Диапазон прокатки по толщине полосового железа различных размеров, приведенных в таблице 15, весьма велик.

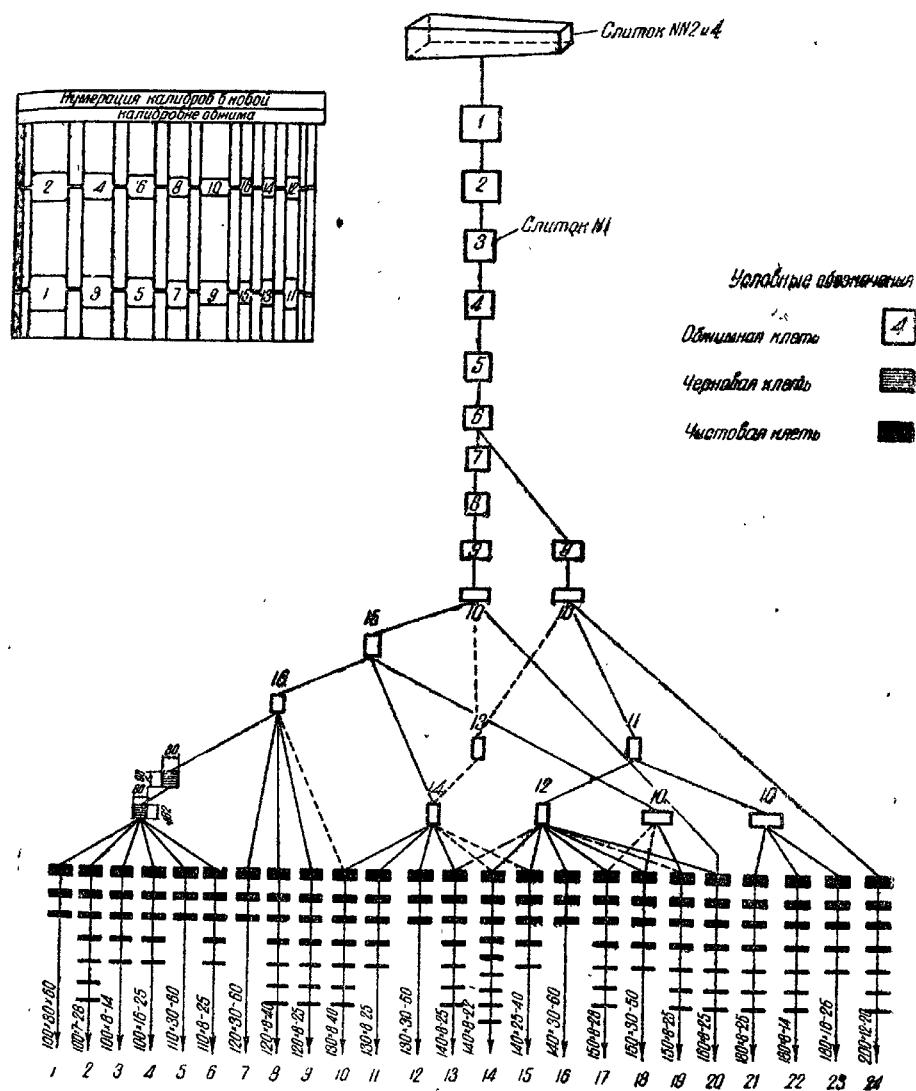
Таблица 15

Основные данные по калибровке крупносортного полосового железа

Заводы	Стан	Размеры полосы	Размеры исходн. загот.	Число про- пилков			Средн. коф. вытяжки	Примечание
				Число про- пилков	Общая вы- тяжка	Средн. коф. вытяжки		
Имени Петровского . . .	420	70×12	Кв. 57	7	3,75	1,21		
Имени Ворошилова . . .	500	70×20	Кв. 58	5	2,4	1,20		
" " . . .	500	80×8	Кв. 60	7	5,62	1,28		
" " . . .	500	90×10	Кв. 70	5	5,47	1,41		
Имени Фрунзе	585	100×14	Пр. 85×95	7	5,9	1,29		
" "	585	120×11	Пр. 111×80	5	6,26	1,45		
" "	585	140×10	Пр. 121×80	7	7,32	1,33		
" "	585	160×20	Пр. 134×80	7	3,58	1,20		
" "	585	180×8	Пр. 166×80	7	9,6	1,38		
Имени Сталина	400	100×7	Пр. 41×94	7	5,5	1,28		
" "	400	120×10	Пр. 54×10	7	4,80	1,25		
" "	400	140×5	Пр. 54×128	9	9,85	1,29		
Имени Дзержинского . . .	500	152×7	Пр. 80×120	9	9,0	1,28		
Имени Петровского . . .	550	202,5×18	Пр. 81×189	5	4,0	1,325		

Анализируя приведенные данные, необходимо прежде всего обратиться к величинам средних коэффициентов вытяжек, характеризующих интенсивность деформации. Согласно таблицы максимальные величины принадлежат стану 585 завода имени Фрунзе. Двигателем этого стана является недостаточной мощности паро-

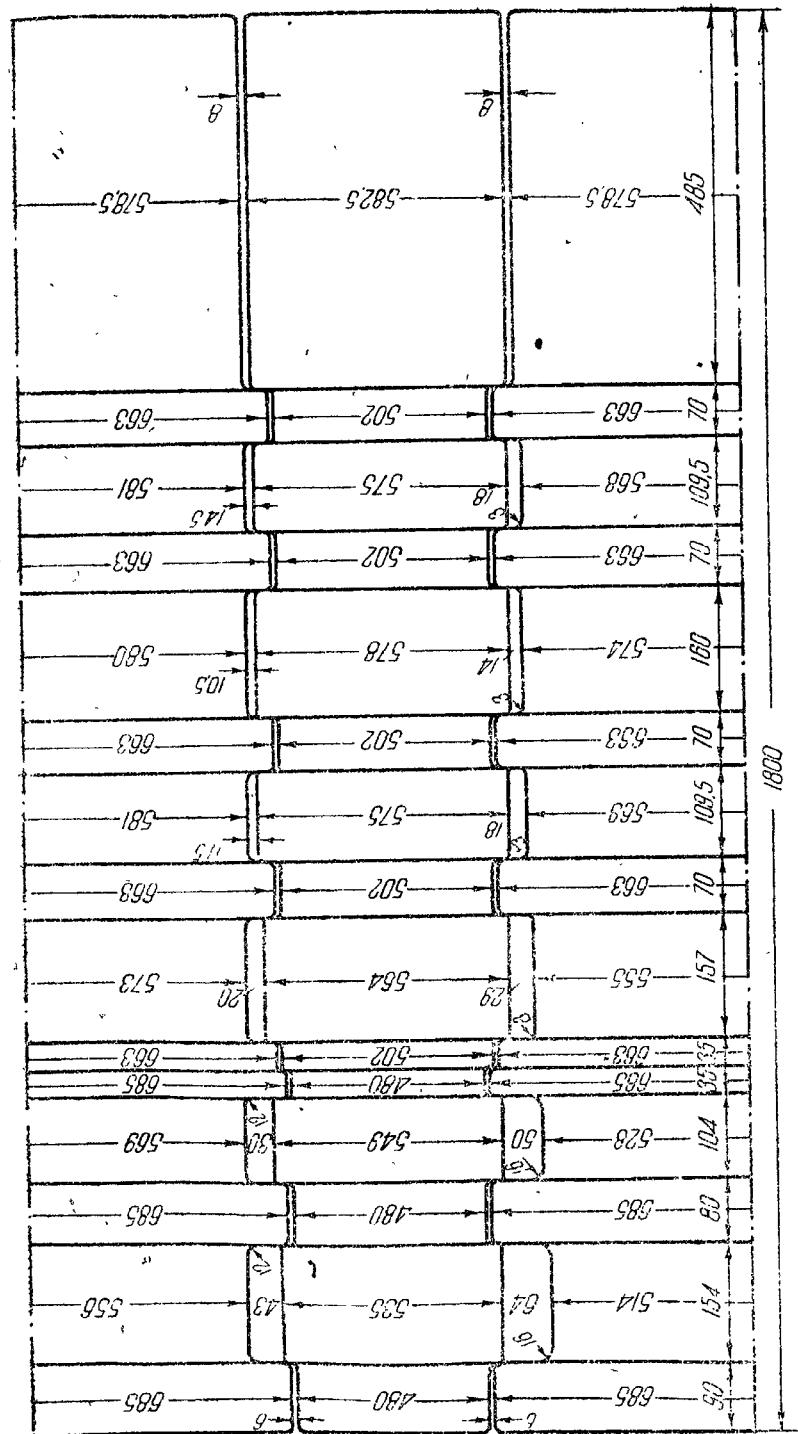
вая машина (750 ЛС), поэтому в отношении интенсивности деформации калибровку следует признать вполне удовлетворительной. Наблюдения за работой стана показали, что в некоторых случаях, особенно при прокатке твердых сталей и тонких



Фиг. 64. Общая схема прокатки полосового железа на стане 585 завода имени Фрунзе

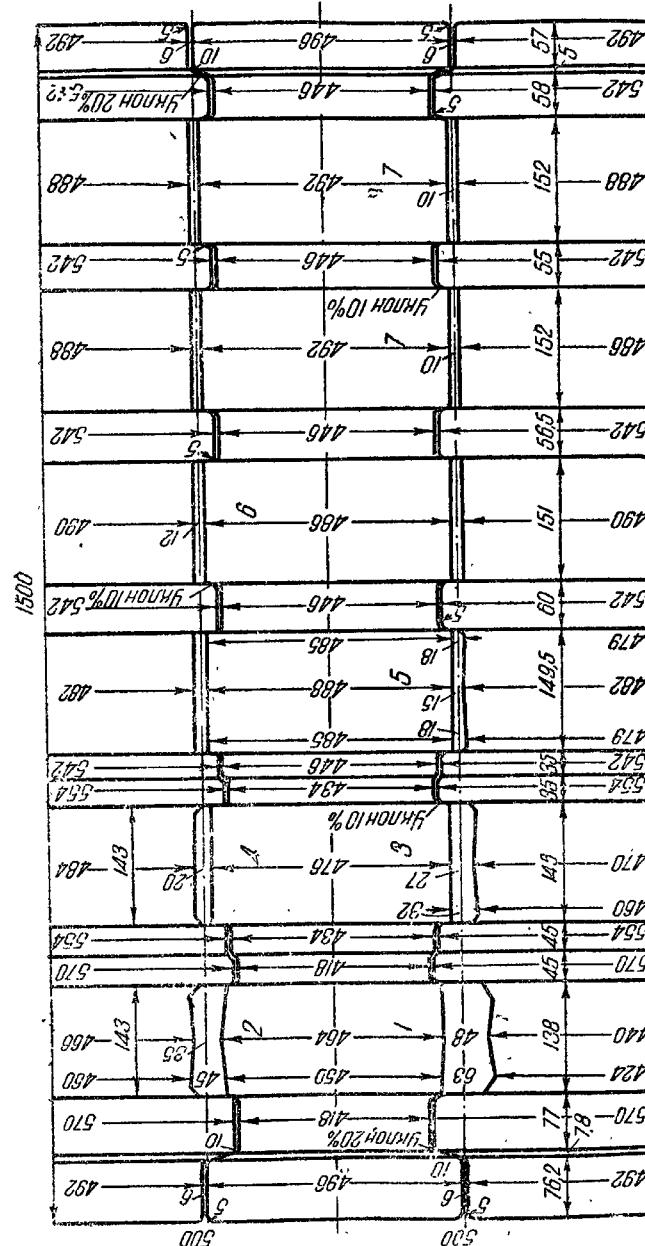
сортов, благодаря большим обжатиям двигатель с трудом спрашивается с работой, что свидетельствует о предельном использовании его мощности.

Такие же выводы можно сделать и в отношении подготовительного полосового трио стана 500 завода имени Ворошилова.



Фиг. 65. Полосовое трио стана 585 завода имени Фрунзе для ширины полос 160 и 110 мм толщиной 8—25 мм

Следует отметить, что на этом стане большие величины среднего коэффициента вытяжки относятся исключительно к про-

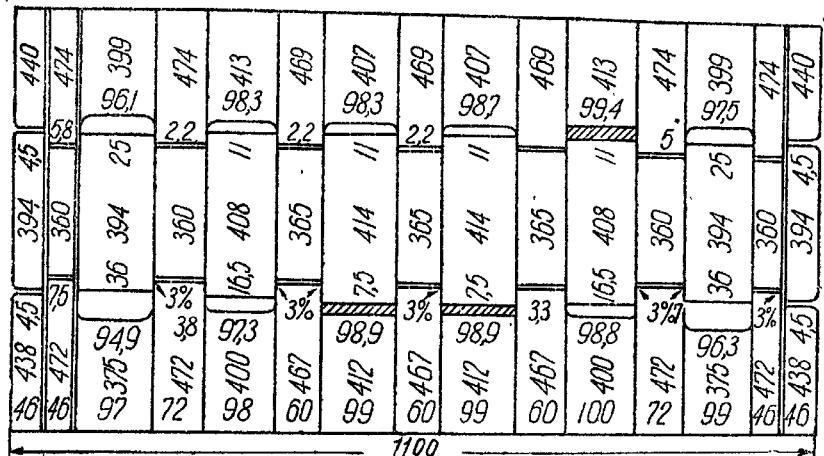


Фиг. 66. Полосовое трио стана 500 завода имени Дзержинского для полосы 152 × 7 мм

катке на этом трио; общие же величины средних коэффициентов вытяжек, считая все пропуски — после обжима до конечного профиля, — недостаточны, благодаря низким вытяжкам в первой черновой клети.

На фиг. 62 представлена диаграмма вытяжек полосового железа 90×10 на этом стане. Как видно из фигуры, в первых трех пропусках (система „квадрат-квадрат“) расчетные вытяжки не превышают 11% и только с четвертого пропуска, при переходе в полосовое трио, резко возрастают.

Недостаточные величины средних коэффициентов вытяжек имеются также на стане 400 завода имени Сталина и стане 420 завода имени Петровского, где μ не превосходит 1,29 при достаточных мощностях двигателей. Подробный анализ работы и ка-



Фиг. 67. Полосовое трио стана 400 Сталинского завода для полос $100 \times 4 - 12$ мм

либровки этих станов показал, что по ряду профилей имеется возможность сокращения числа пропусков и увеличения производительности.

При конструировании закрытых калибров для полосового железа требуется разрешить следующие вопросы:

1) О величине уклона стенок калибра (выпуск), выражаемой в процентах к высоте.

2) О величине фасок или закруглений внутренних углов калибра.

3) О высоте буртов и максимально возможной высоте подъема верхнего вала, что определяет диапазон прокатки по толщине.

Согласно анализа значительного количества практических данных, имеющихся в нашем распоряжении, при прокатке полосового железа толщиной от 8 до 40 мм в одних и тех же калибрах, можно рекомендовать следующие величины выпусков:

а) для первых по ходу прокатки калибров — 3%,

б) для последних по ходу прокатки калибров — 1,5%.

Эти величины с одной стороны достаточны для легкого выпуска полосы из калибра и удовлетворительны для переточек и с другой стороны не искажают профиля.

Величины фасок или закруглений, применяющиеся обычно на заводах, различны и устанавливаются на основании практики работы.

По данным, имеющимся в нашем распоряжении, можно принять в первых по ходу прокатки калибрах величину радиуса закругления или катета треугольника, образованного фаской с линиями ограничения калибра, — около 0,25 от минимальной высоты калибра (по шаблону); в предчистовом калибре эти величины должны быть уменьшены до 0,12—0,10 высоты калибра.

Диапазон прокатки разных толщин полосового железа в одних и тех же калибрах (разность между максимальной и минимальной толщиной полосы) достигает иногда 30—35 мм, но лучше держаться в пределах 15—20 мм, так как при значительном увеличении высоты калибра благодаря уклону стенок образуются значительные зазоры, в которые металл может выдавливаться (фиг. 68).

Обращаясь к анализу конфигурации калибров, можно заметить, что в большинстве случаев практически эти калибры имеют закрытую прямоугольную форму с закруглением внутренних углов. Специфичны только калибры стана 500 завода имени Дзержинского и стана 400 завода имени Сталина. Калибры этих станов построены с расчетом создания вынужденного уширения, так как очевидно обычная форма или не обеспечивает получения требуемой ширины или острых кромок. Так, например, полоса 152×7 на стане 500 завода имени Дзержинского прокатывается из заготовки сечением 120×80 . Общее обжатие

$$H - h = 80 - 7 = 73 \text{ мм},$$

принимая коэффициент уширения $k = 0,35$, общее уширение будет

$$Z = 0,35 \times 73 = 25,5 \text{ мм},$$

следовательно ширина заготовки при толщине 80 мм для прокатки этого профиля при свободном уширении должна быть

$$B = 152 - 25,5 = 126,5 \text{ мм},$$

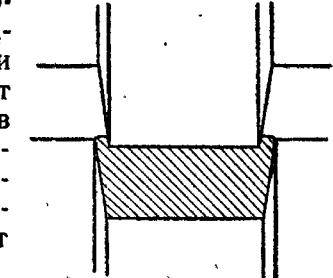
фактически же ширина заготовки 120 мм, поэтому понятно приданье калибрам специальной формы.

На фиг. 69 приводятся шаблоны калибров для указанной полосы 152×7 .

Переходим к анализу распределения вытяжек при прокатке.

На фиг. 70 приведены диаграммы вытяжек при прокатке некоторых размеров полосового железа, приведенного в таблице 15.

Анализ этих диаграмм показывает, что в некоторых случаях



Фиг. 68. Образование заломов при прокатке полосового железа в закрытых калибрах при значительном диапазоне по толщине

вытяжки по пропускам распределены неравномерно и надлежащего плавного снижения их к последним пропускам не имеется.

Лучшее распределение вытяжек имеется на стане 585 завода имени Фрунзе, где характер вытяжек для большинства профилей одинаков — вытяжки возвращаются от первого пропуска ко второму и затем правильно понижаются.

Малые вытяжки в первом пропуске вполне понятны, так как при больших размерах заготовок даже большое обжатие не дает больших вытяжек.

Заканчивая обзор калибровки полосового железа, прокатываемого в закрытых калибрах, в качестве примера рационализации такой калибровки рассмотрим возможные улучшения в калибровке полосового железа 70×20 на стане завода имени Ворошилова.

Данные калибровки: исходное сечение — заготовка из стрельчатого калибра 72×72 мм, площадь сечения 4910 mm^2 . Число пропусков — 10.

Прокатка ведется в трех клетях — черновой по системе „квадрат-квадрат“, подготовительной — по системе закрытых калибров и один отделочный пропуск в гладких валах.

В первых пяти пропусках по системе „квадрат-квадрат“ средний коэффициент вытяжки — 1,065, а в последних пяти — в подготовительном трио — 1,195.

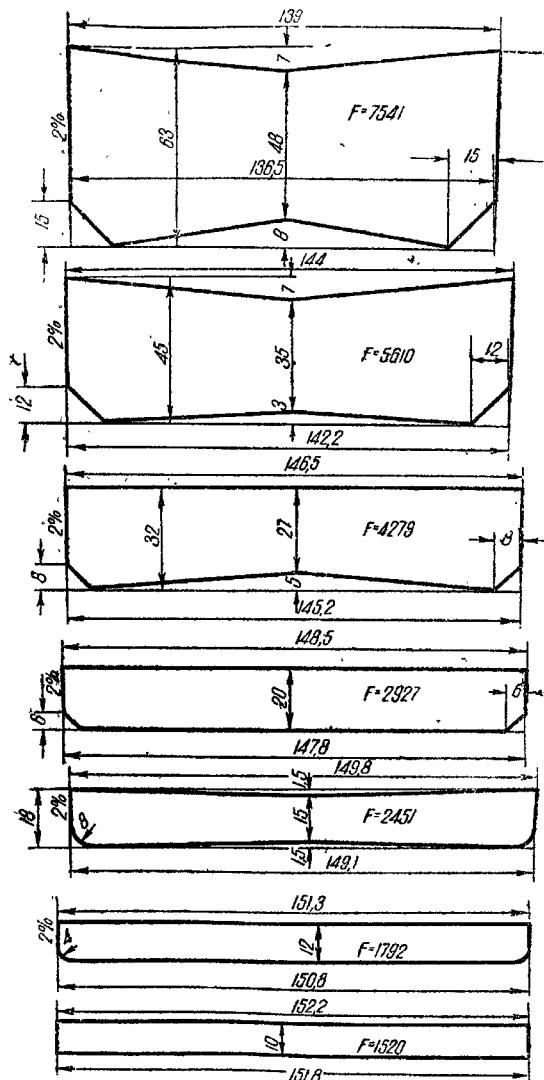
Общий средний коэффициент вытяжки

$$\mu = \sqrt[10]{\frac{4910}{1380}} = \sqrt[10]{3,558} = 1,135.$$

Фиг. 69. Чертежи шаблонов для полосы 152×7 стана 500 завода имени Дзержинского

квадрат” средний коэффициент вытяжки — 1,065, а в последних пяти — в подготовительном трио — 1,195.

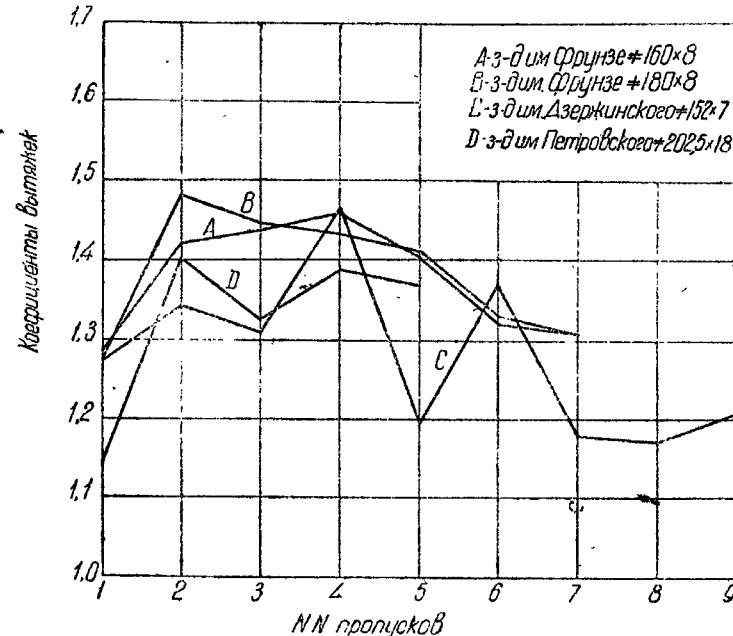
Общий средний коэффициент вытяжки



Разбор прокатки других размеров полосового железа по этому стану показал, что например, полоса 90×10 прокатывается в восемь пропусков из заготовки сечением 6080 mm^2 , причем средний коэффициент вытяжки

$$\mu = \sqrt[8]{\frac{6080}{910}} = \sqrt[8]{6,68} = 1,27.$$

Двигатель при этом работает удовлетворительно.



Фиг. 70. Сводная диаграмма распределения вытяжек по пропускам при прокатке полосового железа

Из сопоставления этих величин можно сделать заключение, что при прокатке полосы 70×20 можно сократить число пропусков, так как очевидно, препятствий со стороны двигателя не имеется.

Принимая величину 1,27 как вполне допустимую с точки зрения нагрузки двигателя, находим:

$$1,27 = \sqrt[8]{3,558}, \text{ откуда } n = \frac{\lg 3,558}{\lg 1,27} = 5,3,$$

т. е. следует принять шесть пропусков.

Производим проверку минимального числа пропусков. Число чистовых калибров — два.

Коэффициент вытяжки в последнем пропуске принимаем 1,18, а в предпоследнем — 1,23, тогда сечение полосы, выходящей из последнего чернового калибра, будет: $1380 \times 1,18 \times 1,23 \approx 2000 \text{ mm}^2$. Вытяжки в полосовых закрытых калибрах, без ущерба для ка-

чества металла, могут быть взяты до 1,25, т. е. $\mu_m = 1,25$. Тогда имеем:

$$1,25 = \sqrt[7]{\frac{4910}{2000}} = \sqrt[7]{2,45} \text{ и } n = \frac{\lg 2,45}{\lg 1,25} \approx 4,$$

т. е. с этой точки зрения прокатка возможна в шесть про-
пусков.

Учитывая малые вытяжки в квадратных калибрах, сокращение пропусков следует произвести в первой клети: тогда в ней останется только один пропуск, в котором необходимо получить квадрат требуемой величины.

Размер стороны квадрата рассчитывается по формуле $a = \frac{b + kh}{1 + k}$. Уширение здесь ограниченное, поэтому принимая $k = 0,2$, имеем:

$$a = \frac{70 + 0,2 \times 20}{1 + 0,2} = 61,7,$$

площадь такого квадрата = 3800 мм^2 и коэффициент вытяжки в нем будет

$$\mu = \frac{4910}{3800} = 1,29,$$

что при высокой температуре заготовки вполне допустимо. Выбрав затем постепенно снижающиеся величины вытяжек от 1,3 до 1,15, можно определить размеры всех калибров.

При рационализации калибровки полосового железа полезным является, где это возможно, перевести прокатку из системы закрытых калибров в гладкие (или ступенчатые) валки с ребровым предотделочным пропуском. Преимущества последнего способа понятны без пояснений. В гладких валках без опасения можно прокатывать полосы шириной до 100 мм , при толщине не ниже 8–10 мм (так что, например, на стане 500 завода имени Ворошилова почти все полосовое железо можно катать в гладких валках).

В заключение необходимо остановиться на монтаже калибров на валках.

Известны два способа монтажа закрытых калибров в станах трио:

- 1) калибры монтируются один над другим и
- 2) калибры монтируются в шахматном порядке.

Первый наиболее употребительный способ дает наиболее экономное использование бочки валка. Коэффициент использования бочки валка, выражаемый отношением суммы ширин всех калибров к удвоенной длине бочки валка, т. е. $\delta = \frac{\Sigma b}{2L}$, достигает

в этом случае максимума. Обычно это дает возможность сосредоточить в одном трио несколько размеров полос: так, например, в подготовительном трио стана 500 завода имени Ворошилова катаются 4 размера полос по ширине.

Недостатком этого способа является невозможность дать надлежащий запас на уширение в верхних калибрах, что может привести иногда к переполнению их. Кроме того, обычно в этом случае довольно велики верхние давления, что приводит к рассмотренным выше нежелательным явлениям. В частности, на стане 400 завода имени Сталина и на стане 550 завода имени Петровского величины секундных растяжений достигают 250–300 $\text{мм}/\text{сек}$.

Наконец этот способ монтажа имеет еще и тот недостаток, что при наличии в валках нескольких систем калибров для разных размеров полосового и отсутствие заказов на некоторые из них, неработавшие калибры должны при переточках растачиваться вместе с работавшими.

Второй способ монтажа — свободен от всех перечисленных недостатков, но степень использования бочки валков при нем невелика, вследствие чего он употребляется редко.

4. Прокатка полосового железа в гладких валках

Способ прокатки полосового железа в гладких или ступенчатых валках с предчистовым ребровым пропуском имеет следующие основные преимущества:

- 1) хорошо очищает полосу от окалины при пропуске через ребровой калибр;
- 2) дает возможность прокатывать без перевалок значительное количество разных размеров полосового железа;
- 3) несложность переточек и долгий срок службы валков.

Недостатком этого способа является невозможность правильного распределения вытяжек по пропускам, так как вытяжки в ребровых пропусках всегда малы и по существу эти пропуски являются холостыми.

В некоторых случаях кроме предчистового, в системе имеется еще один ребровый калибр, применение которого вызывается или необходимостью лучшей очистки полосы от окалины или большой величиной исходного квадрата, что требует дополнительной осадки по ширине. В этом случае правильность распределения вытяжек нарушается еще больше.

Кривые вытяжек при прокатке полосового железа в гладких валках имеют характерные переломы в пропусках соответствующих прокатке в ребровых калибрах (фиг. 71).

Малые вытяжки в ребровых калибрах влекут за собой повышение их в плоских пропусках.

Применение ребровых калибров обязательно лишь в качестве предчистовых; в середине же системы применение их нежелательно и следует от него отказаться. Здесь ребровые калибры оправдывают себя только в некоторых специальных случаях, например, при прокатке качественной стали, когда требуется особая чистота поверхности и т. д.

Большое значение при прокатке полосового железа в гладких

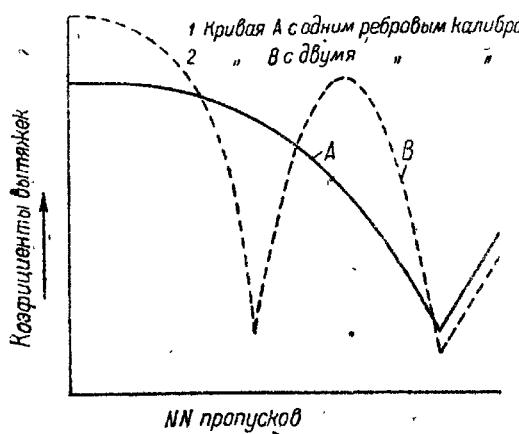
валках имеет правильный расчет величины исходного квадрата, так как нередко именно чрезмерная величина квадрата вызывает необходимость применения второго ребрового калибра.

Исходный квадрат обычно получается из последнего калибра подготовительной клети или из первой клети чистовой линии,

так что прокатка в гладких валках производится обычно целиком на чистовой линии. Только в некоторых редких случаях, главным образом при применении двух ребровых калибров, прокатка в гладкой бочке начинается уже с бушера (например, стан 280 завода имени Кирова при прокатке полосы 40×4 и др.).

В таблице 16 приведены данные калибровки некоторых размеров полосового железа, прокатываемых на мелкосортных станах.

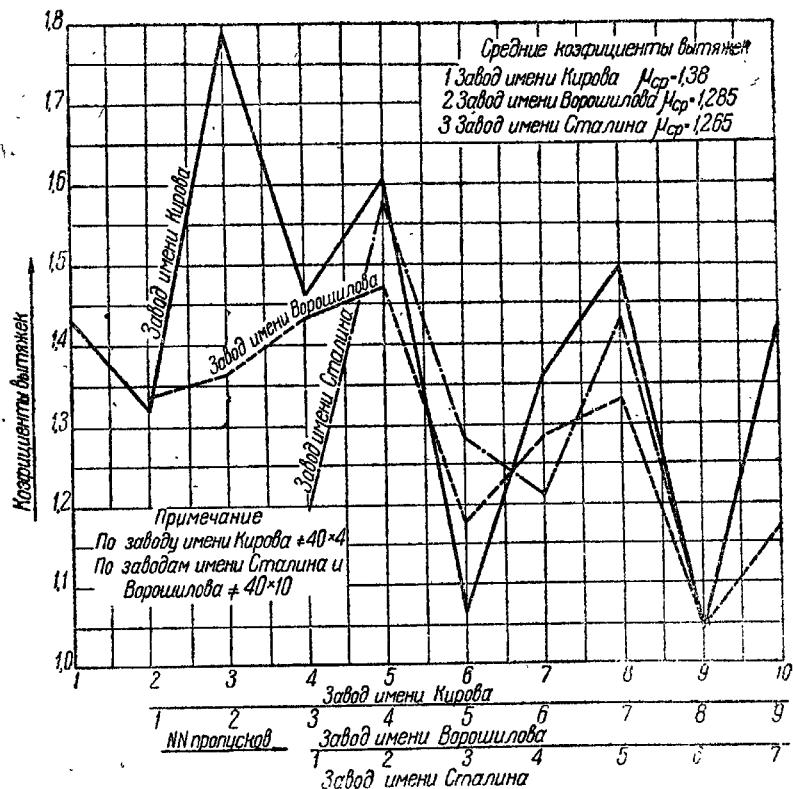
Эти данные позволяют сравнить интенсивность де-



Фиг. 71. Вид диаграммы распределения вытяжек по пропускам при прокатке полосового железа в гладких валках с ребровыми пропусками

формации на чистовых линиях наших станов, а также сравнить правильность выбора величины исходного квадрата.

Анализ показывает, что увеличения производительности станов при прокатке полосового железа, путем уменьшения числа пропусков на чистовых линиях, является практически не всегда осуществимым. Так например, на первый взгляд кажется, что величины средних вытяжек при прокатке полосового железа



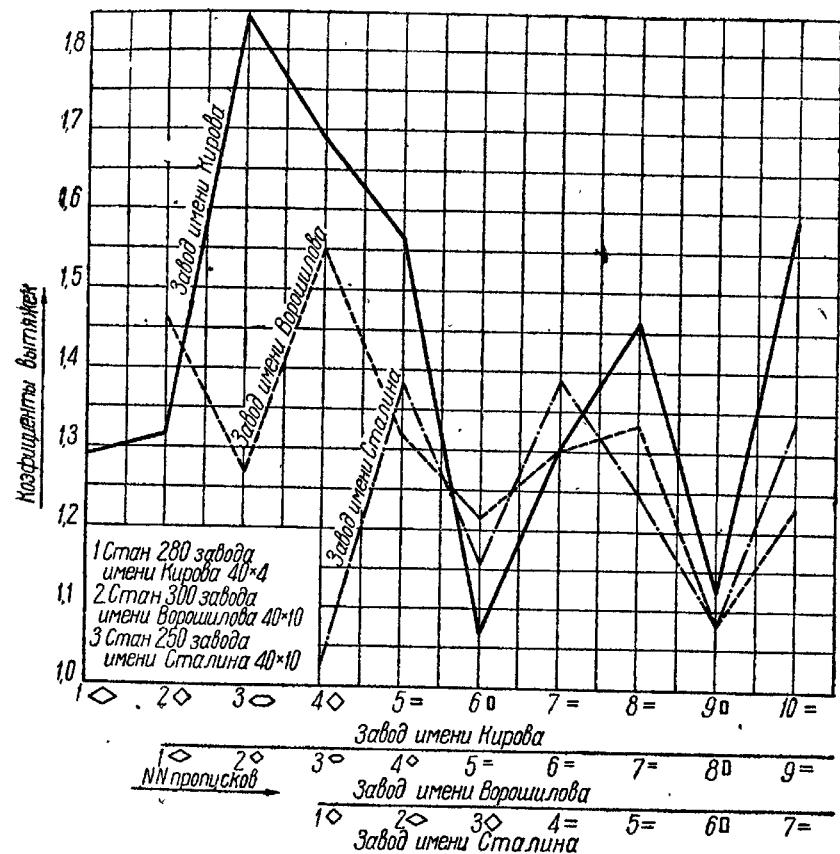
Фиг. 72. Сводная диаграмма распределения вытяжек по пропускам при прокатке полосового железа шириной 40 мм (по расчетам)

20×10 и 22×10 на стане 250 завода имени Сталина чрезмерно малы; но так как общее число пропусков всего четыре, а в случае сокращения числа пропусков необходимо сокращать два, то получается, что исходный квадрат должен быть задан в ребровой калибр, что конечно немыслимо.

Переходя к анализу распределения вытяжек по пропускам на наших заводах, для иллюстрации приводим сводные диаграммы вытяжек полосового железа шириной 40 мм по расчетным данным (шаблонам) (фиг. 72) и по фактическим данным (темплетам) (фиг. 73).

К прокатке в гладких валках на этих диаграммах относятся только последние 4—6 пропусков, так как первые пропуска соответствуют вытяжке в подготовительных клетях.

Все кривые вытяжек, представленные на этих диаграммах, имеют характерный перелом в предпоследнем пропуске, соответствующий прокатке в ребровом калибре. Кривая вытяжки для полосового железа 40×4 на стане 280 завода имени Кирова имеет такой же перелом и в шестом пропуске, где прокатка также ведется через ребровой калибр.



Фиг. 73. Сводная диаграмма распределения вытяжек по пропускам при прокатке полосового железа шириной 40 мм (по темплетам)

Выше мы указывали, что применение лишнего ребрового пропуска влечет за собой большие величины вытяжек в других пропусках. Рассматриваемая кривая полосы 40×4 служит прекрасной иллюстрацией этому; — вытяжка в третьем от конца пропуске здесь достигает 50% (по темплетам — 46%), что в последних пропусках нежелательно.

Кривые вытяжек других сортов, несмотря на отсутствие второго ребрового калибра, весьма неравномерны, хотя равномерность в данном случае достигается только надлежащей настройкой стана.

Рационализация калибровки полосового железа, прокатываемого в гладких валках, может заключаться в ликвидации, где это возможно, второго ребрового пропуска и в выработке надлежащего режима обжатий, который обеспечил бы правильность в распределении вытяжек по пропускам.

Необходимо также проверять правильность выбора величины исходного квадрата, так как нередко неверно подобранная величина ее влечет за собой необходимость чрезмерных обжатий в ребровом пропуске или даже приходится вводить второй ребровой пропуск.

Большую пользу для увеличения производительности станов и удешевления себестоимости передела при прокатке полосового железа приносит применение обводных аппаратов или обводок.

Обводные аппараты могут употребляться при передаче квадрата или плоской штуки из одной клети в другую в следующий пропуск в гладких валках, что и применяется на некоторых заводах (стан 280 завода имени Кирова и др.).

Некоторые конструкции обводок, например, Кваста, Ломберга и другие, подают прокатываемую полосу как из одного калибра в другой в той же клети трио, так и из клети в клеть.

Обводки Кваста для передачи тонких полос состоят из двух пар роликов и проводки с постепенно изгибающимся дном, позволяющим изгибать и поворачивать прокатываемую полосу. Они устанавливаются на фундаментной плате или просто на полу цеха.

Для механической подачи полосового железа из нижнего калибра в верхний на клетях трио служат вполне надежные в работе клапанные обводки весьма простой конструкции.

Таблица 17

Характеристика бушеров мелкосортных станов

Заводы	Стан	Число клетей и тип	Диаметр шеи стержня бушера или стана	Двигатель			Примечание
				Тип	Мощность в кВт	Число оборотов об./мин.	
I. Бушеры, расположенные отдельно от чистовых линий станов							
Имени Ворошилова	300	2 трио	406	Электромотор переменного тока 6000 в	589	220	
Орджоникидзенский	280	1 трио 1 дуо	390	Тоже	1150	492	Этим же мотором приводится чистовая линия
Имени Кирова	280	1 трио	450	Электромотор постоянного тока 475 в	515	200—300	Имеется повторный, после обжима, нагрев
Имени Сталина	250	1 трио 1 дуо	365	Электромотор переменного тока 3000 в	884	225	Мотор приводит также еще 2 обжимных клети
Имени Петровского	250	1 трио 1 дуо	325	Тоже	884	294	Мотор приводит также и обжимную клеть
Имени Дзержинского	330	1 дуо	440	Электромотор постоянного тока 500 в	515	140—180	Вторая клеть бушера на одной линии с чистовой
Имени Дзержинского	280	2 трио	450	Тоже	515	140—140	Мотор общий для бушеров станов 280 и 330. Стан 280 оборудован обводками "Шепфа"
II. Бушеры, расположенные вместе с чистовыми линиями станов							
Имени Фрунзе	305	1 трио	305	Электромотор постоянного тока 500 в	442	225—325	
Имени Кирова	330	2 трио	330	Электромотор постоянного тока 575 в	810	300—400	Имеется повторный нагрев
Имени Сталина	350	1 трио	340	Электромотор переменного тока 3000 в	1310	295	
Орджоникидзенский	360	1 трио	350	Электромотор переменного тока 6000 в	2000	200	Моторы приводят как чистовые линии, так и обжимные.
Имени Петровского	330	1 трио	320	Тоже	1600	292	
Имени Дзержинского	330	1 трио	315	Электромотор постоянного тока 500 в	552	190—335	

ГЛАВА VII

КАЛИБРОВКА ЧЕРНОВЫХ ЛИНИЙ И ЧЕРНОВЫХ (ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ) КЛЕТЕЙ (БУШЕРОВ) МЕЛКОСОРТНЫХ СТАНОВ

Назначением черновых линий и черновых клетей (бушеров) мелкосортных станов является интенсивное обжатие и вытяжка заготовок, поступающих с обжимных клетей, и получение необходимых размеров их для передачи на чистовые клети.

Системы калибровок, применяемые на черновых линиях, в связи с работой с большими величинами вытяжек получили название вытяжных систем.

Как показывает практика, для сортового проката брак по вине прокатки в основном зависит от дефектов, получающихся на черновых линиях (клетях). Это вполне понятно, так как на черновых линиях происходит наиболее энергичная деформация и вытяжка. Поэтому на систему калибровок и режим прокатки на черновых линиях и клетях необходимо обращать серьезное внимание.

В настоящее время применяются следующие вытяжные системы калибров: 1) "Овал - квадрат - овал"; 2) "ромб - квадрат - ромб"; 3) "ромб - ромб"; 4) "овал - круг - овал".

Кроме того имеется ряд комбинированных систем, как то — "ромб - квадрат - овал"; "квадрат - полоска - овал", "прямоугольник - овал - квадрат" и др.

Наибольшим распространением пользуются системы "овал - квадрат" и "ромб - квадрат". Система "ромб - ромб" имеет значительное распространение при прокатке качественных сталей, а система "овал - круг - овал" только начинает внедряться на заводах.

Вытяжные калибры для мелкосортных станов в большинстве случаев размещаются в специальных черновых линиях (бушерах), имеющих самостоятельный привод; диаметр валков бушеров больше диаметра валков чистой линии стана. В некоторых случаях черновые или подготовительные клети располагаются на одной линии с чистовыми клетями стана и имеют одинаковый с ними диаметр.

В таблице 17 приведены данные о бушерах основных южных металлургических заводов.

В таблице 18 — данные о калибровке бушеров и черновых клетей.

Сравнение вытяжек, приведенных в таблице 18, показывает, что черновые линии, расположенные отдельно от чистовых,

Таблица 18

Сводная таблица основных показателей по калибровке бушеров мелкосортных станов

Заводы	Коды номеров калибровки	Система калибровки	Начальное сечение заготовки мм ²	Конечное сечение заготовки	Общая вытяжка	Средний коэффициент вытяжки	Примечание
I. Бушеры, расположенные отдельно от чистовых линий							
Имени Ворошилова . . .	300	Смешанная * "oval-kвадрат" и "ромб-квадрат"	2—4	Кв. 62	Кв. 25—38	5,7—2,64	1,4—1,62
" "	300	Тоже	6	Кв. 62	Кв. 22	7,5	1,4
Имени Кирова	280	Тоже	5	Кв. 65	Ов. 13×35— 13×40	11,9—7,9	1,6—1,51
" "	280	"oval-kвадрат"	5	Кв. 70	Р. 23×50 Ов. 14×42	6,97—8,7	1,47—1,54
Орджоникидзеский . . .	280	"oval-kвадрат"	3	Кв. 38	Тр. 36×12	4,13	1,6
Имени Сталина	250	Тоже	3	Кв. 46	Ов. 19×44	4,2	1,615
" "	250	Тоже	5	Кв. 46	Ов. 17×35	7,1	1,477
Имени Петровского . . .	250	Смешанная "ромб-квадрат" и "овал-квадрат"	3	Кв. 35	Ов. 13×33 Р. 21×37	3,98—2,56	1,58—1,37
Имени Дзержинского . . .	330	"oval-kвадрат"	1	Кв. 63	Ов. 37×81	1,79	1,79
" "	280	Смешанная "овал-квадрат" и "ромб-квадрат"	3	Кв. 63	Ов. 15×52 Р. 32×50	5,1—4,45	1,72—1,64
" "	280	Тоже	5	Кв. 63	Ов. 12×36 Р. 46×24	8,7—7,9	1,54—1,51
II. Бушеры, расположенные на одной линии с чистовыми клетями							
Имени Фрунзе	305	"яичный"—oval- квадрат"	3	Кв. 54	Кв. 33	2,65	1,38
" "	305	Тоже	3	Кв. 58	Кв. 40	2,10	1,28
Имени Кирова	330	"ромб-квадрат"	5	Кв. 70	Кв. 33—30	4,18—5,1	1,33—1,39
Имени Сталина	350	Смешанная "овал-квадрат- ромб"	5	Кв. 46	Кв. 33—22,5	1,87—4,1	1,14—1,33
Орджоникидзеский . . .	360	Тоже	2	Кв. 48	Кв. 37—40	1,65—1,41	1,28—1,19
" "	360	Тоже	2	Кв. 50	Кв. 40—42	1,52—1,38	1,23—1,17
" "	360	Тоже	2	Кв. 54	Кв. 42—45	1,59—1,39	1,26—1,18
" "	360	Тоже	2	Кв. 58	Кв. 45—49	1,62—1,37	1,27—1,17
" "	360	Тоже	2	Кв. 60	Кв. 50—51	1,39—1,33	1,18—1,15
Имени Петровского . . .	330	Тоже	3	Кв. 39	Кв. 34—24	1,25—2,62	1,08—1,38
Имени Дзержинского .	330	"oval-kвадрат"	3	Ов. 37×21	Кв. 33	2,10	1,28

Продолжение таблицы 18

Заводы	Коды номеров калибровки	Система калибровки	Начальное сечение заготовки мм ²	Конечное сечение заготовки	Общая вытяжка	Средний коэффициент вытяжки	Примечание
III. Бушеры, расположенные на одной линии с чистовыми клетями							
Имени Фрунзе	305	"яичный"—oval- квадрат"	3	Кв. 54	Кв. 33	2,65	1,38
" "	305	Тоже	3	Кв. 58	Кв. 40	2,10	1,28
Имени Кирова	330	"ромб-квадрат"	5	Кв. 70	Кв. 33—30	4,18—5,1	1,33—1,39
Имени Сталина	350	Смешанная "овал-квадрат- ромб"	5	Кв. 46	Кв. 33—22,5	1,87—4,1	1,14—1,33
Орджоникидзеский . . .	360	Тоже	2	Кв. 48	Кв. 37—40	1,65—1,41	1,28—1,19
" "	360	Тоже	2	Кв. 50	Кв. 40—42	1,52—1,38	1,23—1,17
" "	360	Тоже	2	Кв. 54	Кв. 42—45	1,59—1,39	1,26—1,18
" "	360	Тоже	2	Кв. 58	Кв. 45—49	1,62—1,37	1,27—1,17
" "	360	Тоже	2	Кв. 60	Кв. 50—51	1,39—1,33	1,18—1,15
Имени Петровского . . .	330	Тоже	3	Кв. 39	Кв. 34—24	1,25—2,62	1,08—1,38
Имени Дзержинского .	330	"oval-kвадрат"	3	Ов. 37×21	Кв. 33	2,10	1,28

Условные обозначения:

Кв.—квадрат.

Ов.—oval.

Р.—ромб.

Тр.—трапециональный.

работают более интенсивно; средние коэффициенты вытяжек в них значительно больше, чем в клетях, расположенных вместе с чистовыми. Это вполне естественно, так как в первом случае диаметры валков бушеров больше, а скорости прокатки меньше, чем во втором и следовательно обжатия могут быть большими. Кроме того и наличие у большинства из них самостоятельных двигателей позволяет допускать более энергичную деформацию.

Интенсивность деформации в вытяжной системе калибров определяется формой и соотношением составляющих систему калибров. Система, допускающая в одном или обоих чередующихся калибрах большие вытяжки без ущерба для качества, и является наивыгоднейшей. Так например, максимальные вытяжки, как показывает практика, дают системы, имеющие в своем составе овальные калибры, так как они допускают очень большие вытяжки. Поэтому например, система „овал-квадрат“ имеет преимущества перед системой „ромб-квадрат“, что очень наглядно демонстрируется на следующем примере:

В таблице 19 приведены основные данные калибровки (по темплетам) для прокатки круглого железа $\varnothing 16$ и 19 мм на стапах 280 заводов имени Кирова и имени Дзержинского. Оба стана совершенно аналогичны; они состоят из бушеров 450 и чистовых линий 280. После обжима заготовки для обоих станов подвергаются вторичному нагреву. Разница заключается только в том, что заготовка на заводе имени Кирова имеет размер 65×65 , а на заводе имени Дзержинского — 63×63 .

На фиг. 74, 75, 76 а, б, приведены обводки темплетов рассматриваемых профилей.

Анализ приведенных данных показывает следующее:

1. Прокатка круглого железа $\varnothing 16 \text{ мм}$ (фиг. 74) на заводе имени Дзержинского ведется более интенсивно, чем на заводе имени Кирова. Обводки темплетов показывают, что несмотря на энергичную деформацию, на заводе имени Дзержинского металл нигде не переполняет калибры, не образует заусенцев.

На заводе имени Кирова (фиг. 75), наоборот, в пятом пропуске (ромб) образуются резкие заусенцы, служащие источником брака по закату.

Необходимо отметить, что из-за неправильной настройки стана вытяжка в пятом пропуске резко отличалась от расчетной (по шаблонам вытяжка — 11,6%, фактически ~68%); однако, если бы вместо ромбического в этом пропуске был бы овальный калибр, то даже эта величина вытяжки не была бы опасной в смысле образования заусенцев.

2. Прокатка круглого железа $\varnothing 19 \text{ мм}$ (фиг. 76 а и б) на обоих заводах ведется в одинаковое число пропусков; средний коэффициент вытяжки на заводе имени Кирова немного выше, благодаря большему размеру заготовки.

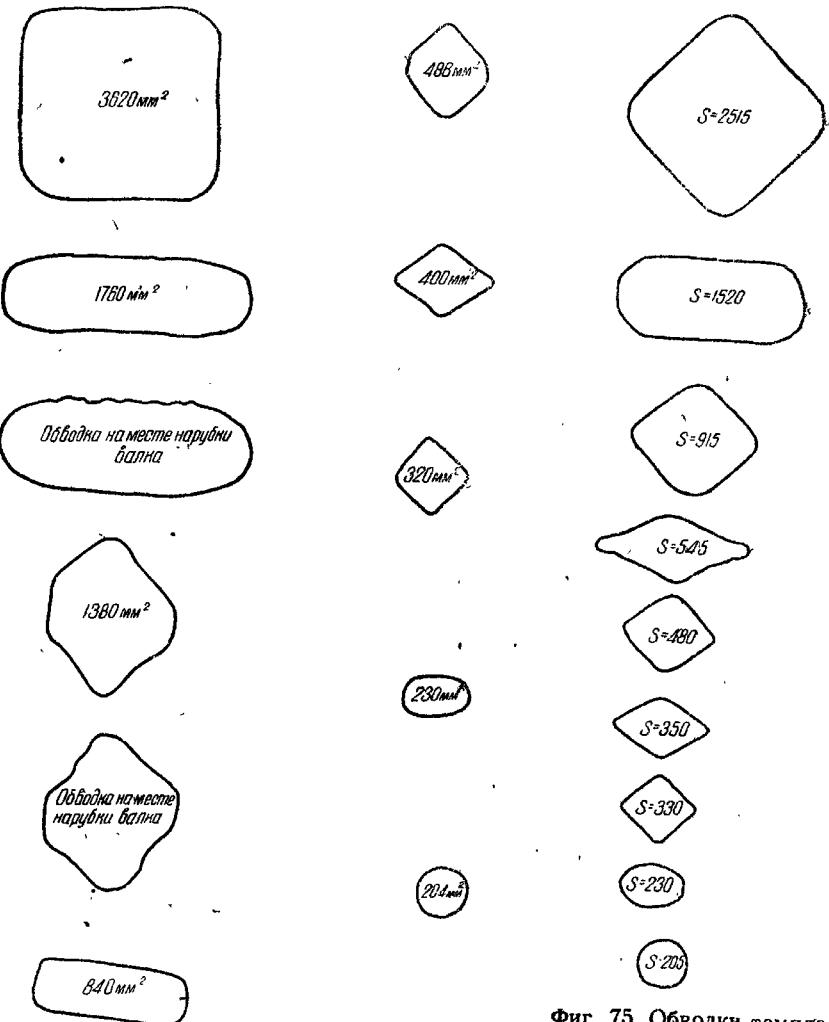
Сравнение обводок темплетов показывает, что на заводе имени Дзержинского, как и при прокатке круглого железа $\varnothing 16 \text{ мм}$, не происходит образования заусенцев.

Таблица 19
Сравнение калибровок круглого железа (по темплетам) на стапах 280 заводов имени Кирова и имени Дзержинского

Круглое железо $\varnothing 16 \text{ мм}$		Круглое железо $\varnothing 19 \text{ мм}$	
Заводы		Заводы	
Имяни Дзержинского		Имяни Кирова	
Форма калибра	% вытяжка (μ mm ²)	Форма калибра	% вытяжка (μ mm ²)
Заготовка квадрат.	3620	—	Квадрат . . .
Овал /	1760 105,7	Квадрат . . .	4870 . . .
Квадрат	1380 27,5	Квадрат . . .	3275 48,7
Овал	840 64,3	Овал . . .	2515 30,2
Квадрат	488 72,1	Квадрат . . .	1520 65,5
Ромб	400 22,0	Ромб . . .	915 66,1
Квадрат	320 25,0	Квадрат . . .	545 67,8
Овал /	230 39,1	Ромб . . .	480 13,5
Круг	204 12,7	Квадрат . . .	350 37,1
—	—	Овал . . .	330 6,1
—	—	Круг . . .	230 43,4
—	—	Круг . . .	205 12,1
			$\mu = 1,35$ —
			$\mu = 1,45$ —
			$\mu = 1,388$ —
			$\mu = 1,41$ —

На заводе же имени Кирова источником брака по прокатке является ромбический калибр первого пропуска, где несмотря на небольшую сравнительно вытяжку — 43,3% заусенцы получаются весьма резкие. В овале же первого пропуска на заводе имени Дзержинского при вытяжке 94% заусенцы не образуются.

Средняя температура начала прокатки этого профиля на заводе имени Кирова — 1157°, а на заводе имени Дзержинского — 1160°, т.е. практически одинаковы.

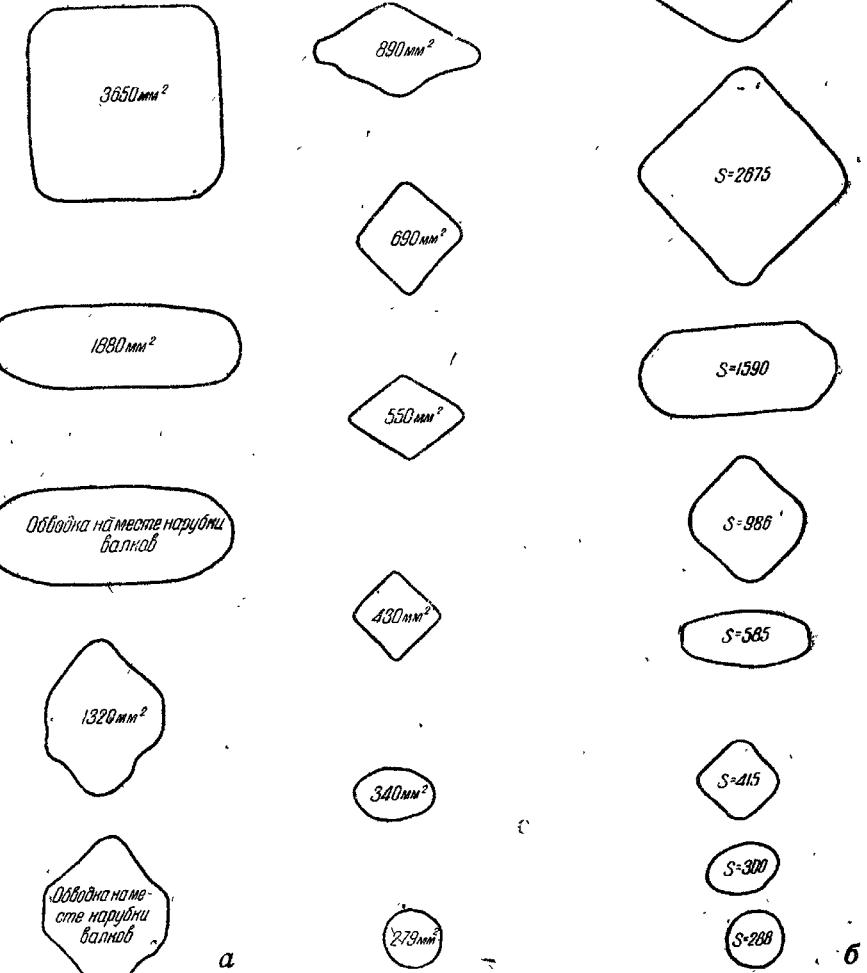


Фиг. 74. Обводки темплетов круглого железа диаметром 16 мм, прокатанного на стане 280 завода имени Дзержинского

Фиг. 75. Обводки темплетов круглого железа диаметром 16 мм, прокатанного на стане 280 завода имени Кирова

Приведенные примеры с достаточной наглядностью демонстрируют преимущество применения овальных калибров на черновых линиях мелкосортных станов вместо ромбических.

Применение ромбических калибров имеет некоторое обоснование перед чистовым квадратом при прокатке круглого и квадратного железа, так как он



Фиг. 76. Обводки темплетов круглого железа диаметром 19 мм

a — прокатанные на стане 280 завода имени Дзержинского
b — прокатанные на стане 280 завода имени Кирова

дает возможность получить более правильный квадрат; но даже и в этом случае применение овала надлежащей конструкции и при хорошей настройке стана дает хорошие результаты, что демонстрируется обводкой темплетов прокатки круглого железа

∅ 19 мм на заводе имени Кирова (фиг. 76 б), круглого железа ∅ 19 мм и квадрата 16×16 на стане 250 завода имени Сталина (фиг. 77).

Несмотря на явное преимущество овальных калибров перед ромбическими в качестве вытяжных, ромбические калибры на заводах имеют большое распространение.

В таблице 20 приведены данные о последовательности калибров и углах захвата бушеров большинства заводов Юга СССР.

Приведенные данные показывают, что часто совершенно необоснованно в черновых линиях применяются ромбические калибры. Большинство бушеров южных заводов имеют ромбические

Таблица последовательности калибров и углов захвата на чер-

Заводы	Стан	Диаметр начальной окружности шестерен бушера (в мм)	Скорость прокатки (в м/сек)	Исходная заготовка	1 пропуск	
					Форма и размер калибра	Угол захвата
Имени Ворошилова . . .	300	406	2,35	Kв. 62	Ов. 35×93	20°47'
	300	406	2,35	Kв. 62	Ов. 35×93	20°47'
	300	406	2,35	Kв. 62	P. 52×101	24°12'
Имени Кирова . . .	280	450	3,05	Kв. 70	P. 61×82	24°20'
	280	450	3,05	Kв. 70	P. 61×82	24°20'
	330	330	5,2÷6,9	Kв. 70	P. 62,5×82	28°30'
	330	330	5,2÷6,9	Kв. 70	P. 62,5×82	28°30'
Орджоникидзенский . . .	280	390	4,4	Kв. 38	Tp. 17,5×56	20°45'
	360	350	3,66	Kв. 48	P. 45×65	18°00'
	360	350	3,66	Kв. 52	P. 52×63	16°20'
	360	350	3,66	Kв. 58	P. 57×73	20°50'
Имени Сталина . . .	250	365	4,3	Kв. 46	Ов. 60×29	18°00'
	250	365	4,3	Kв. 46	Ов. 60×29	18°00'
	350	340	5,25	Kв. 46	Kв. 42	9°00'
	350	340	5,25	Kв. 46	Ов. 37×73,5	13°40'
Имени Дзержинского . . .	280	450	3,3÷4,25	Kв. 63	Ов. 23×90	24°22'
	280	450	3,3÷4,25	Kв. 63	Ов. 23×90	24°22'
	330	440/315	3,3÷4,15	Kв. 63	Ов. 37×81	19°55'
			3,14÷5,5			
Имени Петровского . . .	250	325	5,0	Kв. 35	P. 46×31,5	16°45'
	250	325	5,0	Kв. 35	Ов. 18×43,5	23°45'
	330	320	4,9	Kв. 39	Ов. 26×48	16°10'
Имени Фрунзе . . .	305	305	3,6÷5,2	Kв. 39	P. 44×57	10°10'
	305	305	3,6÷5,2	Kв. 58	Пр. 39×74	21°45'
				Kв. 54	Пр. 35×68	21°30'

Примечание: ¹ Первый пропуск в бушере 440, остальные — 315.

² Углы захвата в овалах здесь подсчитаны по максимальному об-

условные обозначения:

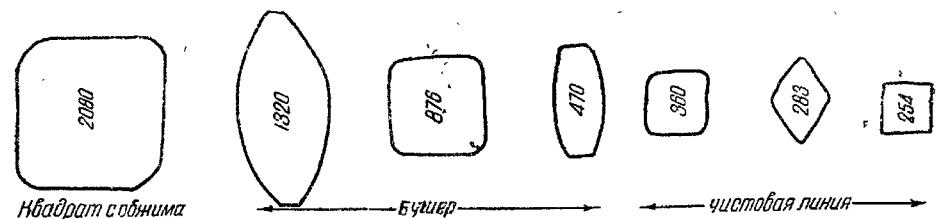
Кв. — квадрат.

Ов. — овал.

Ромб.

Tp. — трапециoidalный.

Пр. — прямоугольник.



Фиг. 77. Обводки темплетов при прокатке квадрата 16 на стане 250 Сталинского завода

Таблица 20

новых линиях (бушерах) мелкосортных и среднесортных станов

2 пропуск		3 пропуск		4 пропуск		5 пропуск		6 пропуск	
Форма и размер калибра	Угол захвата	Форма и размер алибра	Угол захвата	Форма и размер калибра	Угол захвата	Форма и размер калибра	Угол захвата	Форма и размер калибра	Угол захвата
Кв. 40	25°23'	Ов. 24×53	16°25'	Кв. 24	17°50'	—	—	—	—
Кв. 41	25°23'	Ов. 27×61	15°00'	Кв. 29	18°05'	Ов. 25×43	15°	Кв. 19	16°40'
Кв. 46	25°47'	Ов. 29×9	16°30'	Кв. 31,5	20°33'	—	—	—	—
Кв. 47	18°25'	Ов. 22×64	19°20'	Кв. 26	21°17'	Ов. 13×35,5	13°40'	—	—
Кв. 47	18°25'	Ов. 22×64	19°20'	Кв. 28	20°20'	Р. 21×40	14°55'	—	—
Кв. 47	22°15'	Кв. 40	14°30'	Р. 33×58	19°30'	Кв. 30	18°40'	—	—
Кв. 47	22°15'	Р. 60,5×42	21°10'	Кв. 33	19°25'	Tp. 18×18	16°35'	—	—
Кв. 2?	22°55'	Tр. 12×36	17°30'	—	—	—	—	—	—
Кв. 38	17°01'	—	—	—	—	—	—	—	—
Кв. 41,5	16°10'	—	—	—	—	—	—	—	—
Кв. 47	14°36'	—	—	—	—	—	—	—	—
Кв. 30	20°35'	Ов. 44×19	14°10'	Кв. 21	17°05'	Ов. 29×14	11°00'	—	—
Кв. 30	20°35'	Ов. 40×17	15°00'	Кв. 19	16°30'	Ов. 26×13	10°30'	—	—
Р. 40×56	18°10'	Кв. 29,5	15°3'	—	—	—	—	—	—
Ов. 28×57	13°28'	Кв. 30	10°35'	Р. 33×42	12°40'	Кв. 26	10°28'	—	—
Кв. 38	2°11'	Ов. 16×52	18°11'	Кв. 23	17°20'	Ов. 12×36	12°47'	—	—
Кв. 38	22°11'	Р. 32×50	15°0'	—	—	—	—	—	—
Кв. 40	26°50'	Ов. 24×64	18°20'	Кв. 33	22°25'	—	—	—	—
Кв. 24	17°30'	Р. 21×37	15°28'	—	—	—	—	—	—
Кв. 24	16°40'	Р. 19×34	16°37'	—	—	—	—	—	—
Ов. 24,5×48	5°08'	Кв. 24	18°40'	—	—	—	—	—	—
Р. 44×54	18°25'	Кв. 31	14°00'	—	—	—	—	—	—
Ов. 38×80	23°55'	Кв. 40	26°30'	—	—	—	—	—	—
Ов. 32×75	22°0'	Кв. 33	27°25'	—	—	—	—	—	—

жатию (т. е. по краям калибра).

калибры наряду с овальными. Выбор схемы прокатки в каждом отдельном случае предоставляется мастеру и нередко одни и те же профили прокатываются через калибры разных конфигураций.

В качестве примеров калибровок бушеров мелкосортных станов, имеющих как овальные, так и ромбические калибры, приведены следующие типичные калибровки: см. фиг. 78, 79, 80.

Анализ приведенных фигур показывает нецелесообразность применения на этих бушерах ромбических калибров. Так например, ромбический калибр первого пропуска бушера, фиг. 80, правильнее было бы заменить вторым (запасным) овальным, так как последний дает большую вытяжку, заготовка для этого бушера имеет постоянное сечение. Так же и на бушере фиг. 78 существование ромбических калибров третьего пропуска наряду с овальными следует считать нецелесообразным.

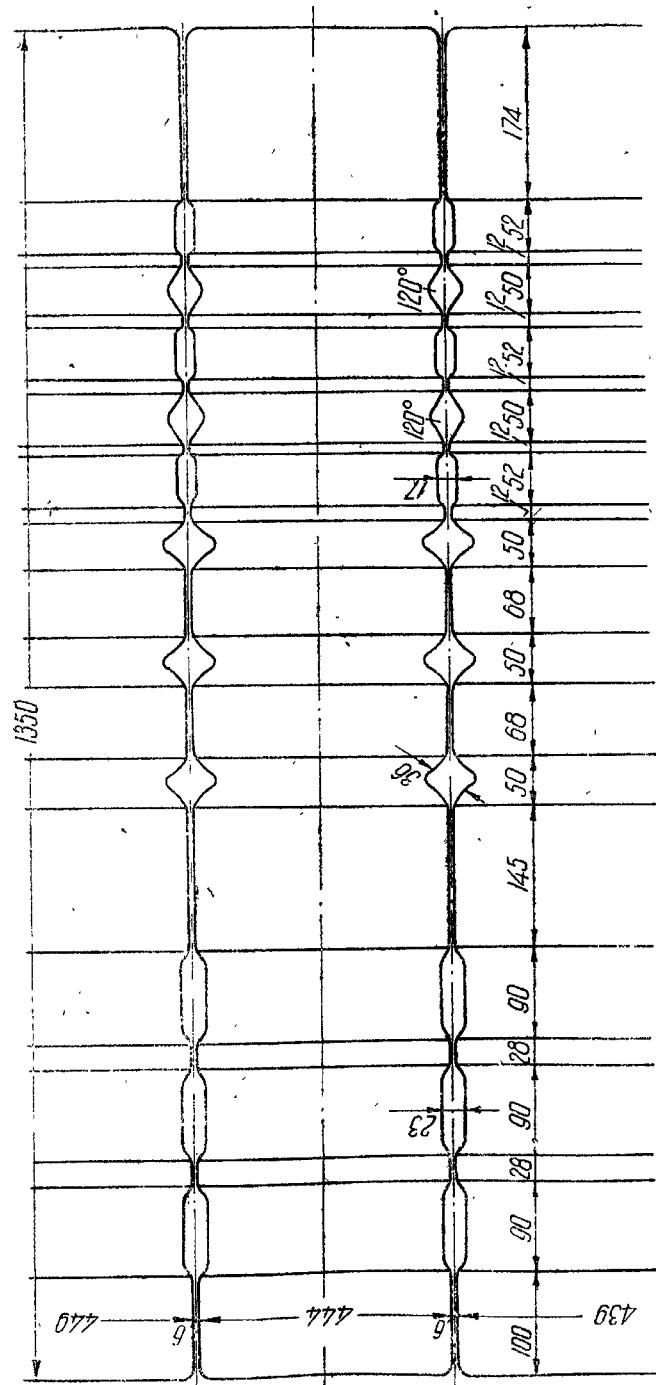
На бушере фиг. 79 ромбический калибр первого пропуска несомненно лучше заменить овальным надлежащей конструкции, что позволило бы увеличить в нем вытяжку и уменьшить опасность образования заусенцев. Малые ромбы пятого пропуска этого бушера также рациональнее заменить овалами.

На фиг. 81 и 82 приведены характерные схемы прокатки полосового, круглого и квадратного железа на стане 280 завода имени Кирова. Приведенные схемы показывают, какое большое количество разных вариантов в последовательности калибров может быть применено, причем в большинстве случаев трудно найти серьезные обоснования применения того или иного варианта. Например, невозможно найти достаточно удовлетворительных объяснений, почему на стане 280 завода имени Кирова полоса 25×8 прокатывается в одних случаях через овал, а в других через ромб; подобных случаев на всех станах можно привести очень много.

Выше мы отмечали, что единственным преимуществом ромбических калибров перед овальными является возможность получения из них более правильного квадрата. В связи с этим интересно отметить, что при прокатке $\varnothing 19$ мм на стане 280 завода имени Кирова в 8 пропусков, последний калибр бушера является предшествующим чистовому квадрату и следовательно наличие ромба в этом случае имело бы оправдание; однако, как видно из фиг. 76 б, в этом случае как раз употребляется овал.

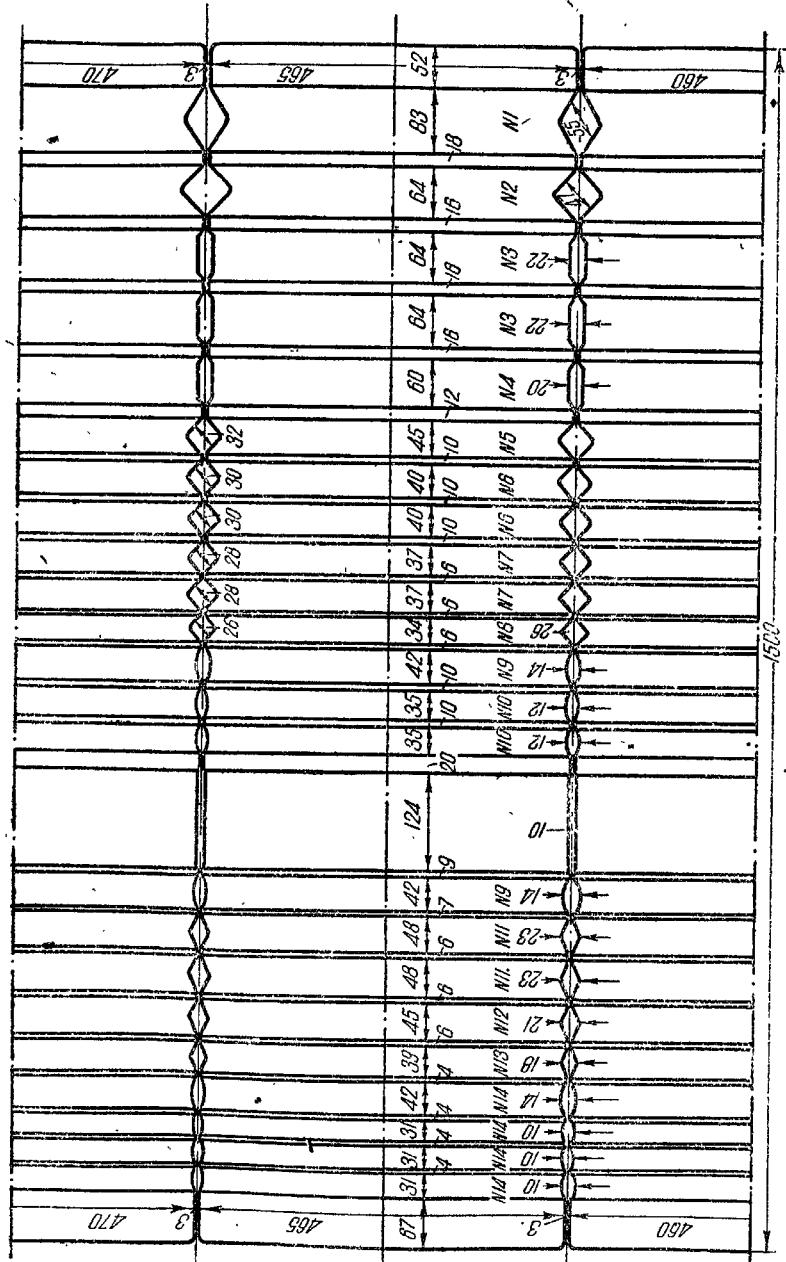
Как видно из таблицы 20, в системе вытяжных калибров обжатия или вытяжки довольно велики и углы захвата достигают больших величин. Так например, на бушере стана 280 завода имени Дзержинского угол захвата в овале 24° . Такие величины углов захвата при данных скоростях прокатки нередко вызывают необходимость применения насечек. Насечки валков черновых клетей применяются на заводах имени Дзержинского на стане 280 (фиг. 83), имени Кирова на станах 280 и 330 (фиг. 84), имени Фрунзе на стане 305, имени Петровского на станах 250 и 330 и др.

Наиболее резкая насечка имеется на бушере стана 280



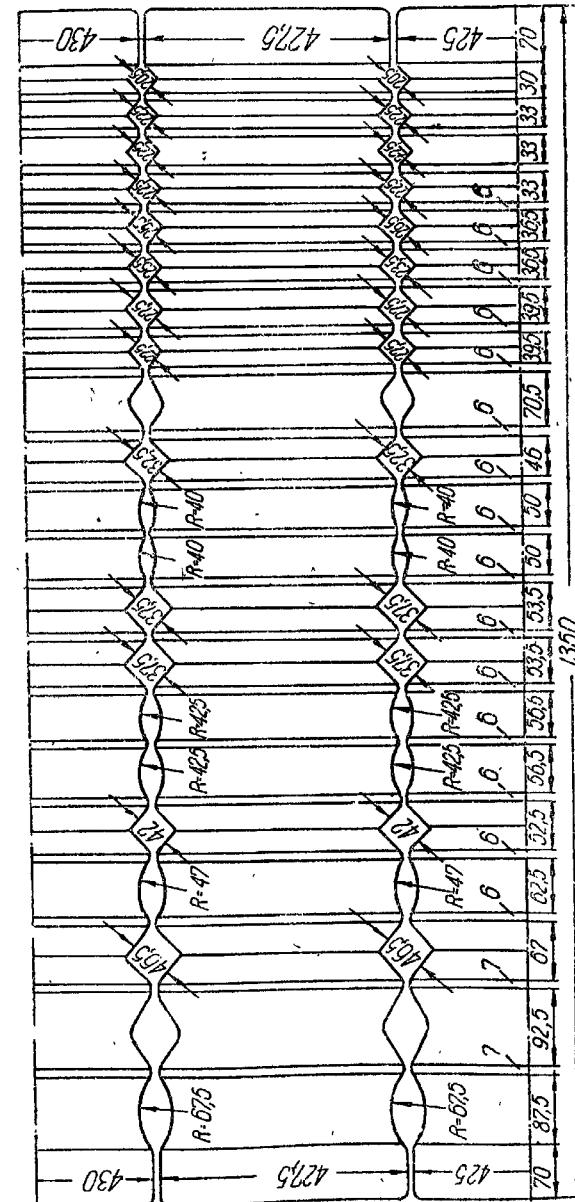
Фиг. 78. Калибровка валков бушера стана 280 завода имени Дзержинского

завода имени Дзержинского (фиг. 83), что объясняется наличием на этом стане автоматических обводок Шепфа, требующих больших обжатий и улучшенных условий захвата.



Фиг. 79. Калибровка валков бушера стана 280 завода имени Кирова

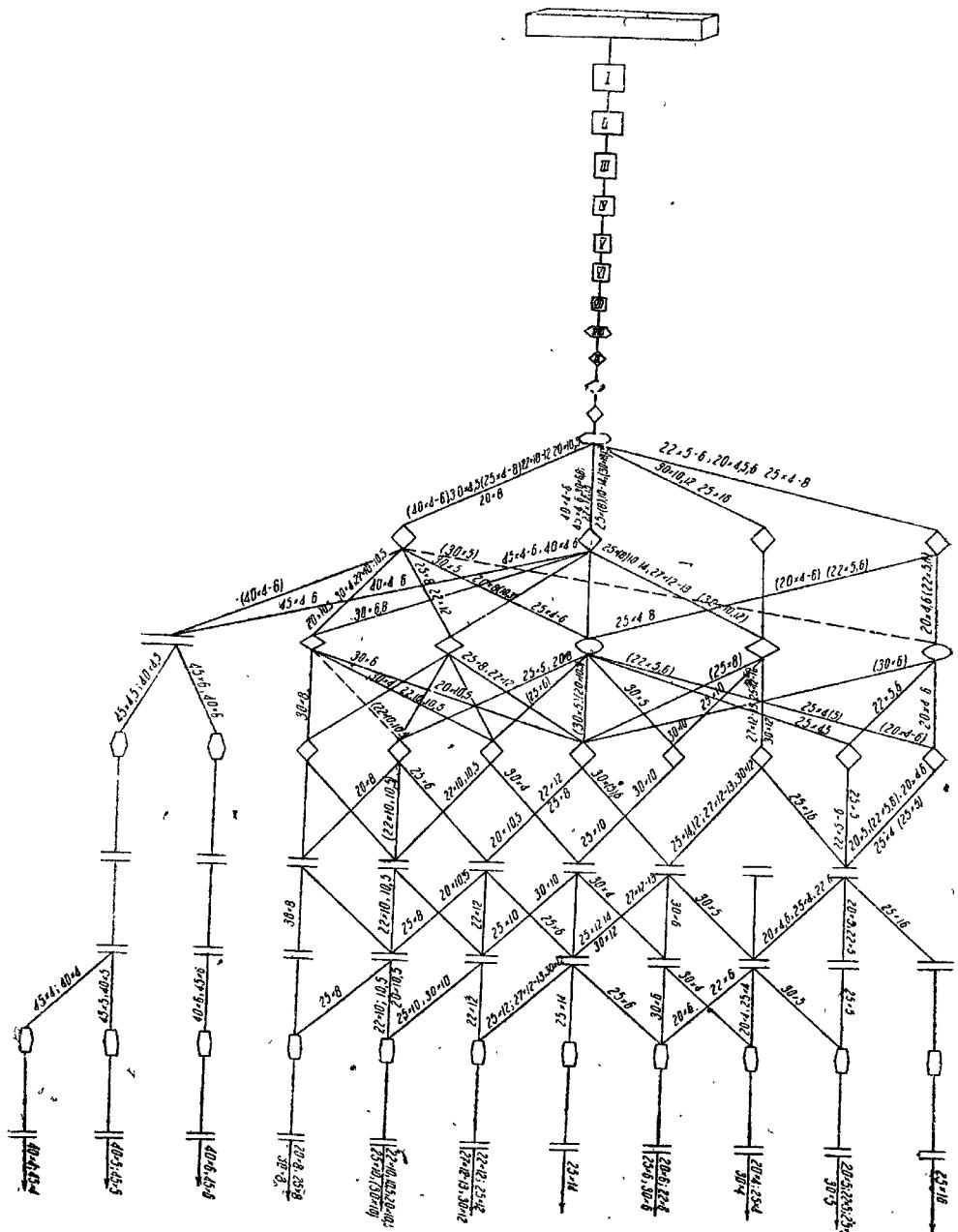
а потому вредного влияния насечек на качество продукции обычно не обнаруживается. Однако на некоторых станах, прокатывающих качественный металл (заклепочное, связевое железо и др.), на-



Фиг. 80. Калибровка валков бушера стана 300 завода имени Ворошилова

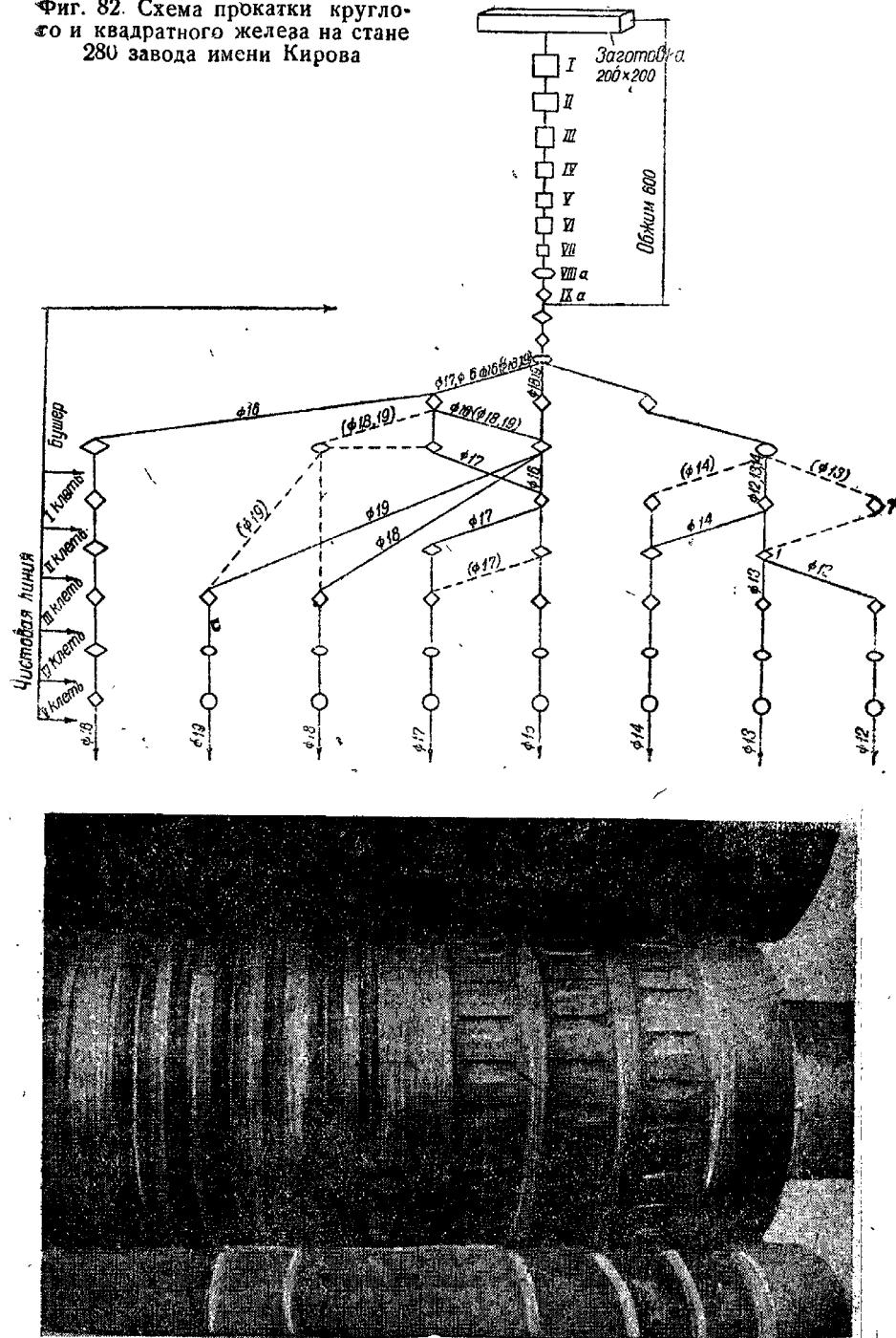
Насечки применяются только в первых "двух-трех" ручьях, при прокатке в которых температура еще достаточно высока,

сечки вызывают определенные дефекты на поверхности проката (стан 330 завода имени Кирова) вследствие неудовлетворительной формы их (фиг. 84).



Фиг. 81. Схема прокатки полосового железа на стане 280 завода имени Кирова

Фиг. 82. Схема прокатки круглого и квадратного железа на стане 280 завода имени Кирова



Фиг. 83. Насечки валков бушера стана 280 завода имени Дзержинского



Фиг. 84. Насечки валков бушера стана 330 завода имени Кирова

При рациональных конструкциях и выборе правильных соотношений размеров калибров на этих станах возможно добиться смягчения насечек, сохраняя прежние величины вытяжек. Необходимо поставить вопрос о замене насечек на черновых валах наварками.

При пониженных скоростях прокатки в пределах углов захвата $21-26^\circ$, захват металла происходит удовлетворительно и без насечек. Например, на бушере стана 300 завода имени Ворошилова насечки не применяются, хотя углы захвата достигают 26° .

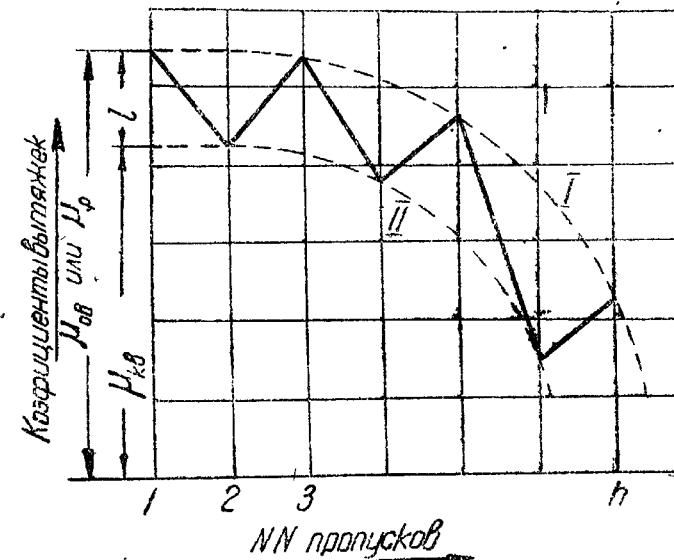
В связи с тем, что большинство вытяжных систем состоит из чередующихся калибров двух конфигураций, допускающих различные вытяжки, нормальная диаграмма вытяжек таких систем представляет из себя ломаную линию (фиг. 85), в которой точки перегиба лежат на двух огибающих кривых, строящихся также как кривая вытяжек системы с одинаковыми калибрами.

Расстояние по перпендикуляру к касательной между огибающими кривыми зависит от конфигураций калибров системы. Так например, для системы „овал-квадрат“ можно исходить из положения Кирхберга, который считает вытяжку в квадрате равной 0,7 вытяжки в овале. Тогда расстояние между огибающими $l = 0,3 (\mu_{\text{ов}} - 1)$, где $\mu_{\text{ов}}$ — коэффициент вытяжки в овале. Для системы „ромб-квадрат“ можно принять $l = 0,2 (\mu_{\text{р}} - 1)$, где $\mu_{\text{р}}$ — коэффициент вытяжки в ромбе.

На фиг. 86 и 87 приведены сводные диаграммы расчетных вытяжек при прокатке круглого железа $\varnothing 12$ и 30 mm на некоторых заводах.

Анализ этих и ряда других диаграмм позволяет сделать заключение, что строгого соблюдения необ-

ходимости двух рядов вытяжек — больших в овалах и ромбах и меньших в квадратах и постепенного снижения их к последним пропускам, на заводах не замечается, хотя на некоторых станах это условие и выполняется более или менее удовлетворительно. Так например, удовлетворительным можно признать расположение вытяжек в первых четырех пропусках бушера стана 280 завода имени Дзержинского при прокатке $\varnothing 12$ (фиг. 86), но в пятом пропуске (овал) вытяжка мала.



Фиг. 85. Типовая диаграмма вытяжек при прокатке в вытяжных калибрах

Кривая завода имени Кирова на той же фигуре нарушает правильность в четвертом пропуске (квадрат), где вытяжка больше, чем в овале (третьего пропуска).

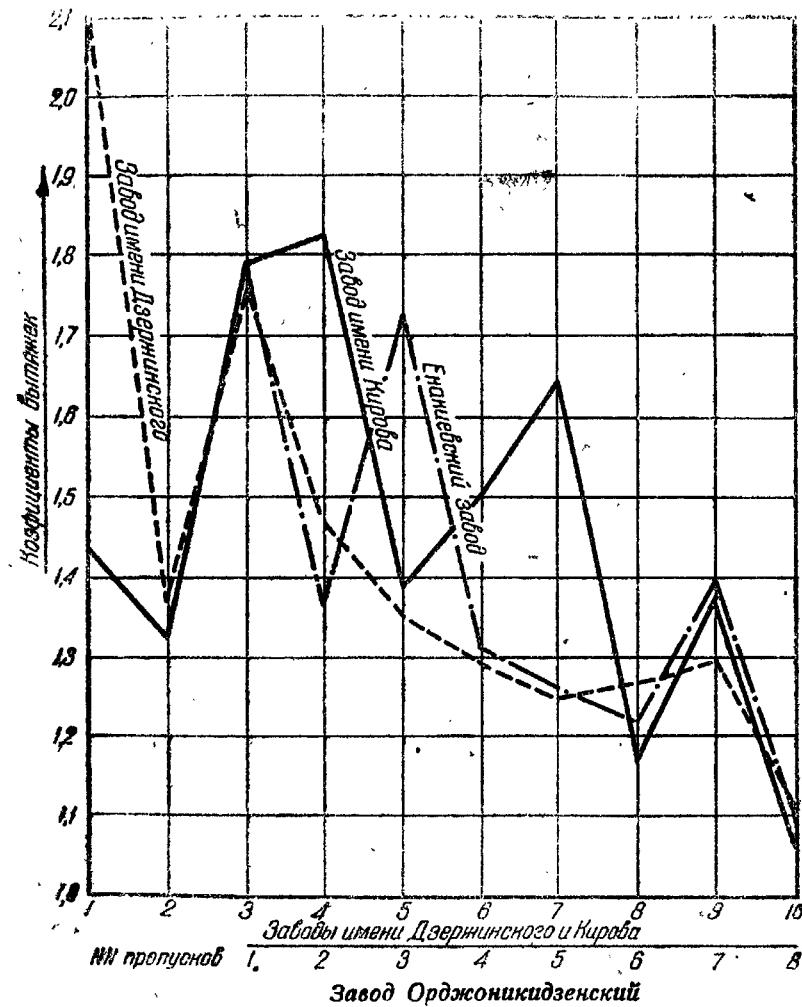
Наглядные примеры игнорирования правил распределения вытяжек представляют кривые прокатки $\varnothing 30$ на стане 305 завода имени Фрунзе и стане 330 завода имени Петровского (фиг. 87).

Надлежащее распределение вытяжек по пропускам в соответствии с формой калибров в вытяжной системе имеет очень большое значение для хорошей работы стана и, главное, для качества продукции, тем более, что абсолютные величины вытяжек в них велики. Выше указано, что максимальные величины вытяжек допускают овальные калибры, затем ромбические и квадратные. Несоблюдение при калибровке или прокатке этого условия обычно приводит к плохим результатам.

Для иллюстрации этого на фиг. 88 приведены обводки темплетов при прокатке круглого железа $\varnothing 12 \text{ mm}$ на стане 280 завода имени Кирова. Вытяжки во втором, третьем и четвертом калибрах по ходу прокатки соответственно 22%, 66%, 105%

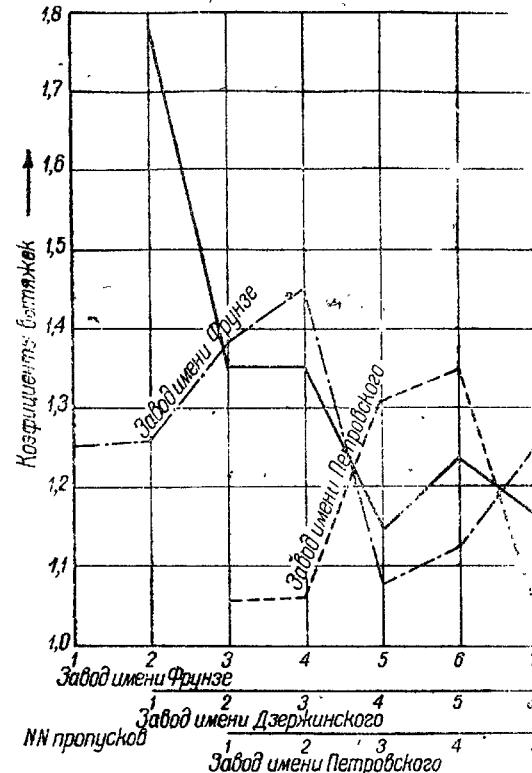
т. е. в меньшем квадрате вытяжка значительно больше, чем в овале. В результате этого в квадрате получились резко выраженные заусенцы, что отчетливо видно на представленной фигуре.

Большим недостатком работы черновых линий наших мелкосортных станов является слабое применение автоматических об-



Фиг. 86. Сводная диаграмма вытяжек при прокатке круглого железа Ø 12 мм (по расчетам)

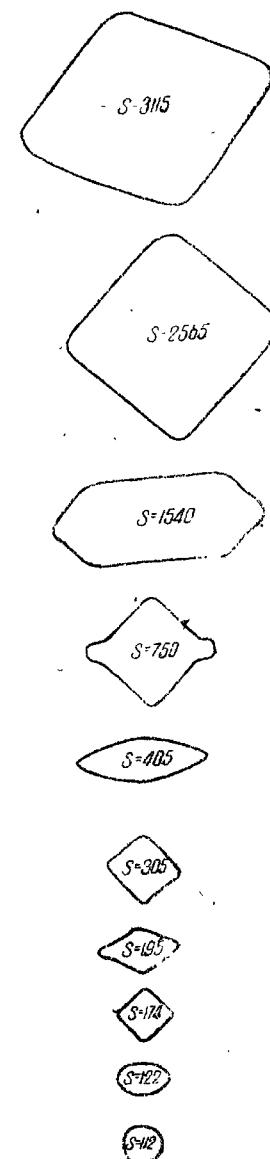
водок для задачи прокатываемых штук в калибры. Пример работы заграничных и наших станов (стан 280 завода имени Дзержинского и др.) показывает полную возможность автоматизации задачи в калибры, что дает увеличение производительности, сокращение рабочей силы и снижение себестоимости прокатки. Две клети бушера стана 280 завода имени Дзержинского при трех пропусках обслуживаются всего одним человеком, в то время



Фиг. 87. Сводная диаграмма вытяжек при прокатке круглого железа Ø 30 мм (по расчетам)



Фиг. 88а. Автоматическая обводка для задачи квадрата в овал на бушере стана 250 Сталинского завода



Фиг. 88. Обводки темпелей при прокатке круглого железа диаметром 12 мм на стане 280 завода имени Кирова

как аналогичный бушер Орджоникидзенского завода (стана 280) обслуживается четырьмя человеками (с подменой):

Применение автоматических обводок заслуживает поощрения. На фиг. 88а приводится сварной обводочный аппарат весьма простой конструкции для задачи сверху вниз квадрата в овал, внедренный в середине 1936 г. инж. И. М. Ектовым на бушере стана 250 Сталинского завода.

1. Система „овал-квадрат“

Основным достоинством этой системы является возможность работы с большими вытяжками.

Абсолютные величины вытяжек в рассматриваемой системе (как впрочем и во всякой другой), зависят от трех факторов:

- от температуры полосы;
- от состава прокатываемой стали;
- от конструкции калибров.

Влияние первого фактора заключается в том, что при относительно низкой температуре полосы пластичность металла понижается, что с одной стороны, при большой вытяжке, потребует большого расхода энергии, отразится на работе стана (напряжения в валках и соединительных деталях), а с другой — может привести к дефектам металла — трещины, разрывы и т. д.

Влияние состава стали на величину вытяжки заключается по существу в том же, что и влияние температуры. Чем мягче сталь, тем большая может быть вытяжка и наоборот, чем она тверже, тем вытяжка должна быть меньше.

Большинство специальных сталей обладает повышенной твердостью и величина деформации при прокатке их должна быть ниже, чем при прокатке мягких углеродистых сталей. Кроме того, необходимость уменьшения величины деформации при прокатке некоторых легированных сталей обусловливается необходимостью прокатки их при сравнительно низких температурах. Так например, горячая обработка слитков высоколегированных хромоникелевых сталей должна начинаться при температуре 1000—1050° и заканчиваться при 850°.

Огромное влияние на допустимую величину деформации имеет конструкция калибров. Так например, в овальном калибре вытяжка может быть тем больше, чем больше овал вытянут в ширину, чем больше его отношение осей $\frac{b}{h}$.

Это объясняется следующими соображениями: чем больше овал вытянут в ширину, тем больше места остается на уширение при пропуске в нем квадратной заготовки; кроме того, чем больше отношение $\frac{b}{h}$, а следовательно и радиус овала, тем равномернее получится распределение обжатия между средними и крайними частями квадрата (при увеличении радиуса овала до бесконечности будем иметь в пределе гладкие валки и, следовательно, совершенно равномерное распределение обжатия).

С другой стороны, чем больше отношение $\frac{b}{h}$, тем больше будет обжатие в последующем квадрате. Допустимые пределы этого обжатия определяют величину отношения $\frac{b}{h}$.

Овалы практически строятся трех типов:

1. В виде правильных овалов, ограниченных дугами круга (фиг. 89, а).

2. В виде усеченных овалов (фиг. 89, б), которым иногда придают также вогнутость в середине, как показано пунктиром.

3. В виде трапециoidalных калибров (фиг. 89, в).

Последняя конфигурация специфична, но по существу относится к овалам, так как заменяет их в системе хотя, характер деформации в таком калибре немного отличается от характера деформации в обычных овалах.

Практически отношение осей $\frac{b}{h}$ в правильных овалах (фиг. 89, а) лежит всегда в пределах 1,1—3,5; меньшие отношения имеют овалы крупных размеров и предчистовые овалы всех размеров, а большие отношения — вытяжные овалы более мелких размеров.

Овалы, представленные на фиг. 89 в и с, имеют как правило большее отношение $\frac{b}{h}$, так как малая ось h в этих случаях искусственно уменьшена.

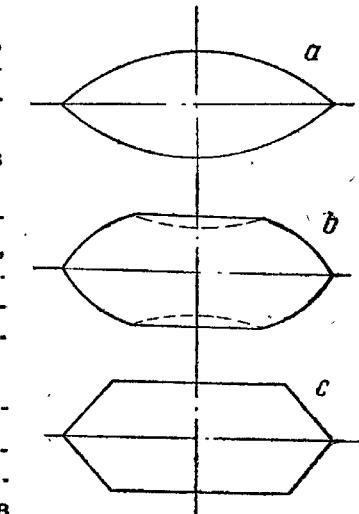
Анализ большого количества вытяжных калибров показал, что отношения осей в нормальных овалах практически лежат в пределах 2,1—3,2, а в срезанных овалах и трапециoidalных калибрах в пределах 2,8—3,9. Величины вытяжек соответственно — в нормальных овалах в пределах 24—90%, а в срезанных и трапециoidalных 35—110%.

При рационализации калибровки крайне важно всесторонне проанализировать конструкцию калибров в каждом конкретном случае, пользуясь для этого диаграммами удлинений. Для пояснения этого разберем два конкретных примера.

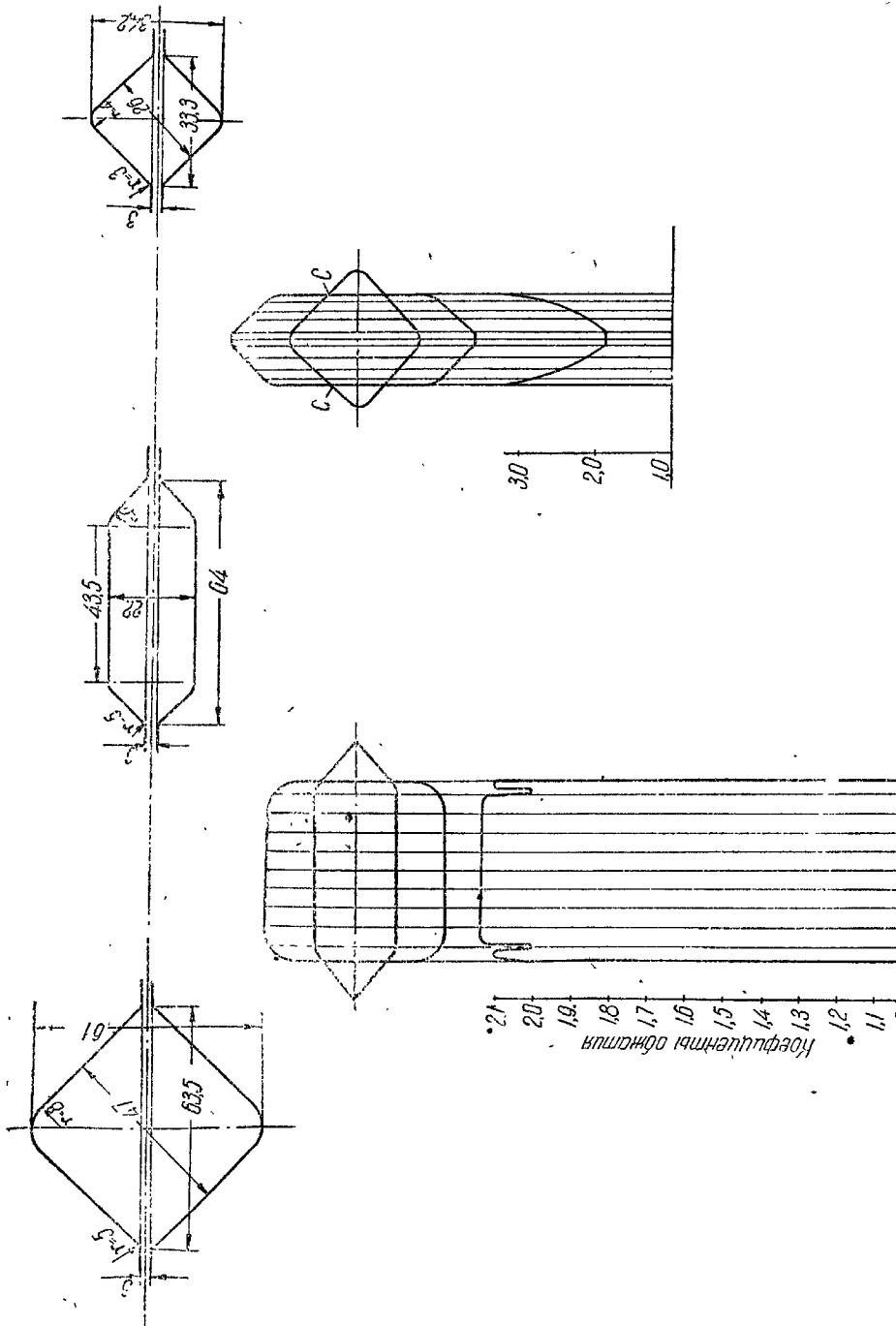
На фиг. 90 представлены чертежи трех последовательных калибров бушера стана 280 завода имени Кирова, которыми пользуются при прокатке круглого железа $\varnothing 12 \text{ мм}$ (первые два калибра — общие для всех профилей).

Обводки темплетов после прокатки в этих калибрах приведены выше (фиг. 88).

Анализ диаграмм обжатия, представленных на этой фигуре, позволяет сделать заключение, что для прокатки в трапециoidal-



Фиг. 89. Три конструкции овалов (а, б, в)



Фиг. 90. Чертежи трех последовательных калибров на бушере стана 280 завода имени Кирова и диаграммы обжатий (удлинений) в этих калибрах

ном калибре, конфигурация его удовлетворительна; — по всему поперечному сечению обжатие распределено почти равномерно. Практика показывает, что заусенцев в этом калибре не образуется, хотя запас места на уширение ограничен.

Иное положение при пропуске трапециoidalной полосы в квадратный калибр; здесь, как видно из диаграммы, должно иметь место вынужденное уширение, что и обуславливает образование заусенцев при прокатке.

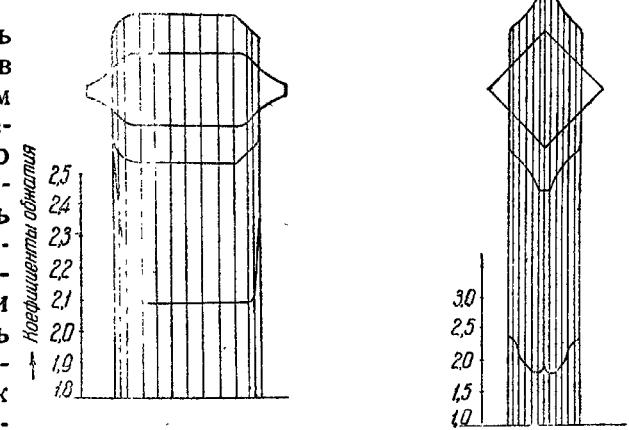
Если уменьшать обжатие (вытяжку) в данном калибре путем увеличения его размеров нежелательно, то вынужденное уширение можно устранить путем изменения конструкции трапециoidalного калибра и тем самым ограничить возможность образования заусенцев. Так например, если ограничить калибр по бокам не прямой линией, а вогнутой (фиг. 91), то разность обжатия середины и краев уменьшается с 130% до 50%, что уже значительно уменьшит вынужденное уширение. Правда, тогда ухудшаются условия обжатия при прокатке в самом трапециoidalном калибре — вытяжка по краям возрастает — и для исправления этого дефекта приходится ограничивать первый калибр в углах фасками (вместо дуг). Все же эти изменения улучшают условия для предупреждения образования заусенцев.

Рассмотрим второй пример: на фиг. 92 представлены диаграммы обжатий (удлинений) двух последовательных калибров бушера стана 280 завода имени Дзержинского.

Вытяжка в первом калибре — 110,5%, во втором — 38%. В первом калибре обжатие равномерно по всему сечению и лишь по краям имеется уменьшение обжатия, что вызовет утяжку крайних частей. Следовательно уширение должно быть не больше, чем при прокатке в гладких валках.

Фактически оказалось например, при прокатке стали марки О обжатие 37,5 мм, уширение 18 мм и $K = \frac{18}{37,5} = 0,48$.

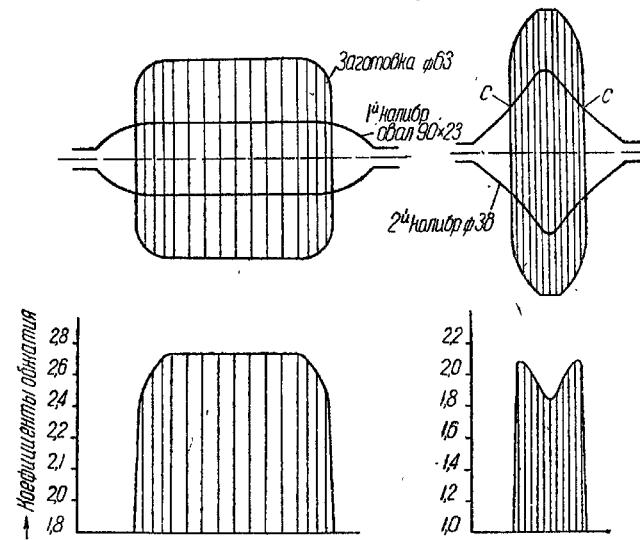
Во втором калибре (квадрате) имеется возрастание обжатия крайних частей, что должно вызвать вынужденное уширение. Однако, это возрастание невелико; разница между максимальным и минимальным обжатием по сечению — 26% и кроме того



Фиг. 91. Исправление конфигурации трапециoidalных калибров в системе «квадрат-трапециoidalный калибр»

на уширение оставлен значительный запас ($K = 0,60$), так что не только не происходит переполнение калибра, но, как показала практика, этот калибр не заполняется.

Разобранный пример показывает, что калибры стана 280 сконструированы очень удачно и позволяют достигать максимальных вытяжек без образования заусенцев. Обводки шаблонов этих и последующих калибров этого стана при прокатке круглого железа $\varnothing 16$ и 19 mm представлены на фиг. 93.



Фиг. 92. Диаграммы обжатий (удлинений) в вытяжных калибрах стана 280 завода имени Дзержинского

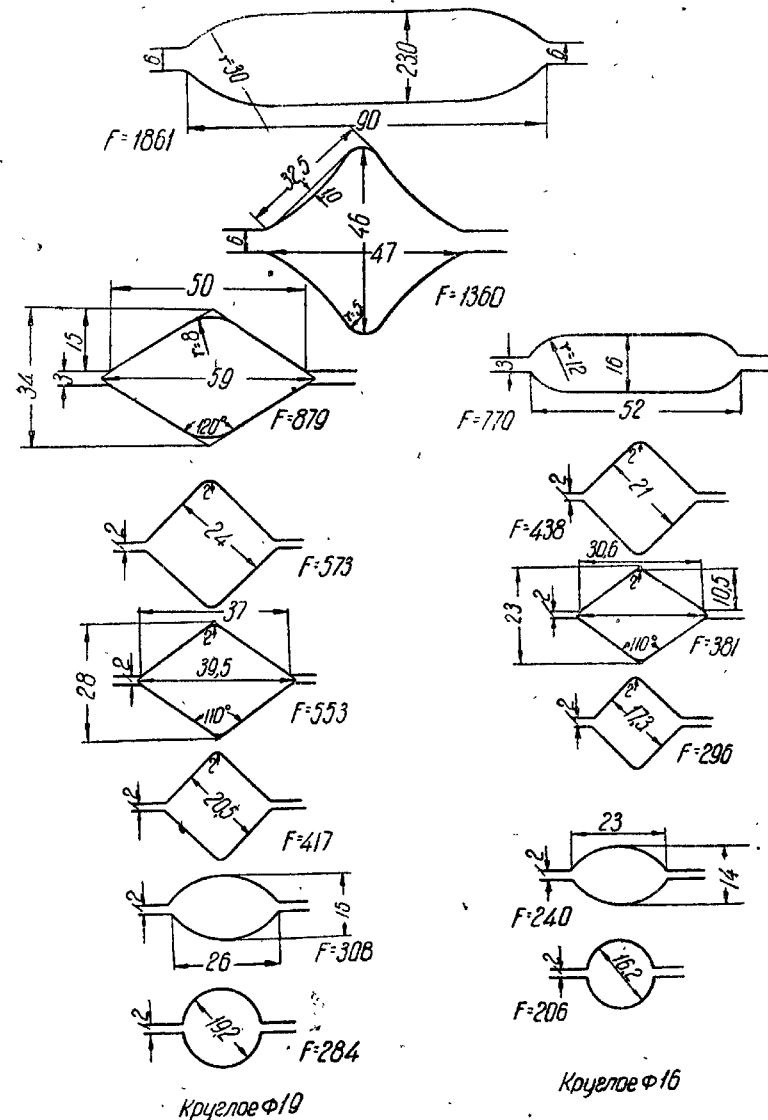
Необходимо обратить внимание на конструкцию квадратного калибра бушера; как видно из фиг. 93 этот калибр ограничен не прямыми линиями, а имеет вогнутость в середину, со стрелой прогиба в 1 mm , что дает в следующем пропуске лишних 2 mm запаса на уширение.

Такая конструкция квадратного калибра при прокатке твердых сталей может привести к образованию складок — морщин на прокатной продукции.

При анализе приведенных примеров может возникнуть вопрос, почему в первом примере для улучшения положения пришлось ограничивать трапециoidalный калибр по бокам вогнутыми кривыми (фиг. 91), тогда как такой же калибр второго примера ограничен выпуклыми (фиг. 92), причем результаты распределения обжатий по сечению получаются не хуже чем в первом случае. Ответ на этот вопрос заключается в соотношении величин трапециoidalных калибров и последующих квадратов. В первом примере относительная величина квадрата меньше, чем во втором и пересечение сторон калибров в диаграмме удлинения (точки С и С') лежат ближе к концам горизонтальной диагонали,

а возрастание кривой удлинения происходит от центра до этого пересечения.

Чем более узок трапециoidalный калибр по отношению к квадратному, тем меньшая будет разность величин обжатия между



Фиг. 93. Чертежи шаблонов для круглого железа $\varnothing 16$ и 19 mm стана 280 завода имени Дзержинского

центром и краями, независимо от характера ограничительных линий.

Улучшить распределение обжатий или удлинений по сечению можно также путем некоторого изменения конструкции квадрат-

ного калибра. Если углы по вертикальной диагонали квадрата сделать несколько более 90° (например, $91-93^\circ$), то горизонтальная диагональ его удлинится и разность между максимумом и минимумом обжатия уменьшится.

Квадраты с углами большиими 90° практически нередко встречаются на мелкосортных станах наших заводов.

На фиг. 94 представлены обводки шаблонов двух клетей бушера и чистовой линии для $\varnothing 22$ и $\varnothing 25$ мм стана 330 завода имени Дзержинского. Как видно из фигуры, квадраты имеют угол 93° ; при больших углах квадратов возникает опасность перекоса их в овальном или трапециoidalном калибре.

Для улучшения условий деформации и во избежание неравномерного охлаждения прокатываемой штуки, черновые калибры полезно закруглять как при вершинах, так и на буртах, что практически не всегда выполняется.

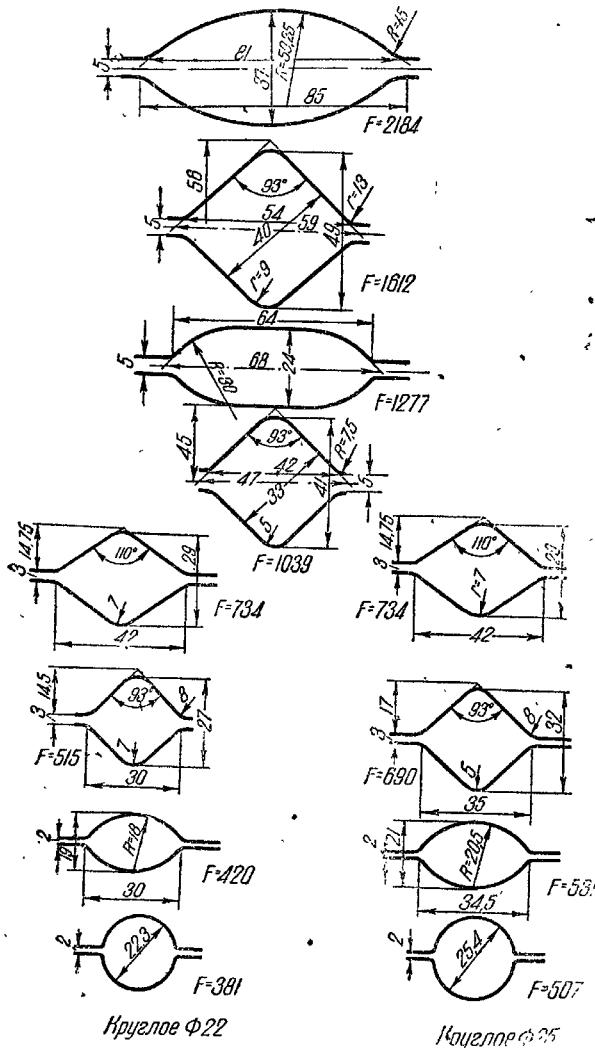
На фиг. 94 видны закругления, применявшиеся на стане 330 завода имени Дзержинского. Закругления калибров стана

Фиг. 94. Чертежи шаблонов для круглого железа $\varnothing 22$ и 25 мм стана 330 завода имени Дзержинского

280 завода имени Дзержинского видны на фиг. 93.

Сумма всех разобранных факторов — состав стали, температура и конфигурация калибров и определяет собой допустимые величины вытяжек в системе „овал-квадрат“.

Анализ совокупности этих факторов и результатов производственной работы разных станов позволяет сделать заключе-



ние, что для мягких сталей при соответствующей температуре и хорошей конструкции калибров в овальных калибрах можно допускать вытяжку до 120%. В квадратных калибрах при тех же условиях вытяжка должна быть не выше 80—85% (0,7 вытяжки в овале).

С понижением температуры или увеличением твердости стали эти величины должны соответственно понижаться. Так для твердых углеродистых сталей (сталь 6, сталь 7) уже нежелательно превышать 60% в овалах и 40—45% в квадратах даже в первых по ходу прокатки пропусках.

Необходимость снижения вытяжек в этом случае диктуется следующими соображениями: при значительных обжатиях в горизонтальных углах квадратов и овалов образуются мелкие складки и трещины. Если прокатывается мягкая сталь при высокой температуре, то эти дефекты после кантовки, переходя из углов квадрата в сторону овала, вполне завариваются; в случае же твердых сталей и при пониженных температурах поверхность готовой продукции получается нечистой с мелкими складками и трещинами.

Практически на заводах, как показали проведенные нами многочисленные наблюдения, в большинстве случаев вытяжки в овалах лежат в пределах 35—80%, а в квадратах 20—45%, изредка выходя из этих пределов в обе стороны. Максимальная расчетная вытяжка в овале принята 110% (завод имени Дзержинского, стан 280), а в квадратах—82%.

2. Система „ромб-квадрат“

Система „ромб-квадрат“, наряду с системой „овал-квадрат“, имеет значительное распространение на заводах (см. таблицу 18). Однако в большинстве случаев она входит составной частью в комбинированные системы и только при прокатке мелкосортного квадратного железа иногда применяется полностью от заготовки до конечного профиля (напр. квадрат 16×16 на заводах имени Петровского — стан 250 и имени Кирова — стан 280).

Достоинством этой системы является возможность получения в обычных производственных условиях более точных и чистых квадратов, чем в системе „овал-квадрат“, хотя при соответствующей конструкции калибров и настройке стана и из овалов, как было показано, получаются квадраты удовлетворительной точности. Кроме того, из ромбического ручья можно получить приближающуюся к квадрату заготовку, если, повернув полосу на 90° , пропустить ее снова через тот же ручей.

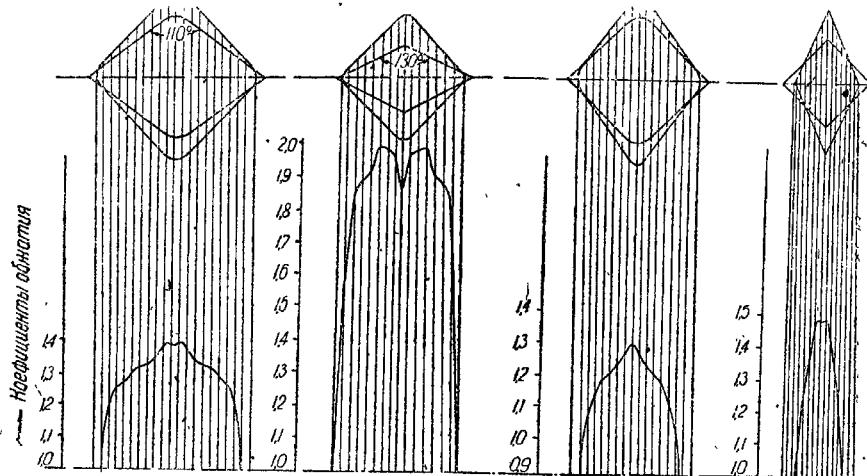
Все эти факторы позволяют в системе „ромб-квадрат“ получить гораздо больше размеров квадратных заготовок, чем в системе „овал-квадрат“.

Необходимо отметить, что большие вытяжки, применявшиеся в системе „овал-квадрат“, создают некоторые неудобства в обслуживании чистовых линий, для которых большей частью

требуется получение ряда квадратов, мало отличающихся по размеру друг от друга. Этого неудобства нет в системе „ромб-квадрат“, которая поэтому часто применяется в комбинации с системой „овал квадрат“.

В связи с этим система „ромб квадрат“ была довольно распространена в прошедшие годы, когда сортамент станов часто был весьма обширен.

В настоящее время в связи со специализацией станов и повышенными требованиями к производительности и качеству про-



Фиг. 95. Вид диаграммы удлинений (обжатий) для системы калибров „ромб-квадрат“ в зависимости от углов ромбов

ката, система „ромб-квадрат“ постепенно вытесняется и будет вытесняться системами „овал-квадрат“ и „овал-круг-овал“.

Недостатками системы „ромб-квадрат“ является невозможность получения больших вытяжек и опасность образования дефектов на углах калибров. Это становится понятным при анализе наложения калибров, представленного на фиг. 95.

Из фигуры видно, что при прокатке в этой системе запас места на уширение мал, особенно при прокатке квадратной штуки в ромбическом калибре, а следовательно нельзя получить таких больших вытяжек, как в системе „овал-квадрат“. Хотя из диаграммы удлинений в этой системе видно, что обжатия по краям ниже чем в середине и следовательно не только не будет иметь место вынужденное уширение, но и нормальное уширение уменьшится вследствие утяжки, но все же и при этих условиях недостаток места на уширение является тормозом к работе с большими обжатиями.

Конструкция ромба, естественно, имеет большое значение для допустимых величин вытяжек; последние могут быть тем больше, чем больше угол в вершине ромба, т. е. чем больше ромб вы-

тянут в ширину. С другой стороны увеличение тупого угла ромба влечет за собой увеличение неравномерности вытяжек по сечению (см. фиг. 95), что вызывает неравномерный износ калибров и нежелательные напряжения в металле при деформации.

Эти факторы и ограничивают верхние пределы величины тупого угла.

Максимальная величина тупого угла ромба, встречающаяся на практике, достигает 135° , однако наиболее употребительными являются ромбы с углами $110\text{--}120^\circ$, количество которых достигает 75 % от большого числа рассмотренных нами калибровок на большинстве южных заводов.

Обычно тупой угол ромба является функцией величины калибра; — чем больше площадь калибра, тем меньше тупой угол и наоборот.

Анализ конструкций ромбов заводских калибров позволил установить эту зависимость и построить диаграмму для определения угла ромба в зависимости от его площади.

Диаграмма построена для ромбов с углами $100\text{--}125^\circ$, так как ромбы с углами меньшими 100° не являются специфичными для системы „ромб-квадрат“, а ромбы с углами большими 125° практически не выгодны, так как в последующих за ними квадратах получается слишком большое обжатие.

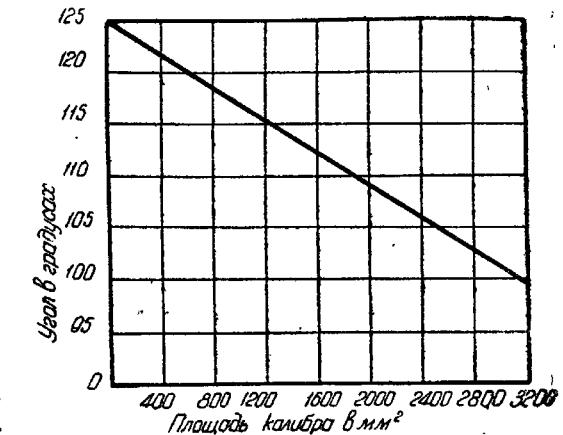
На южных заводах не встречаются ромбы (в системе „ромб-квадрат“), углы которых выходят за указанные пределы.

Вытяжки в ромбах выше 80 % при самых оптимальных условиях делать не рекомендуется. Вытяжки в квадратах можно принимать 0,8 от вытяжки в ромбах, так что пределом в этом случае будет $80 \times 0,8 = 65\%$.

Практически подобных величин на заводах почти никогда не допускают, делая их значительно ниже. Так из большого числа наших наблюдений оказалось, что около 60 % случаев из обследованных нами, — вытяжки в ромбах оказались ниже 30 %; в 30 % случаев, — вытяжки в них лежали в пределах 30—50 % и только в 10 % случаев они превысили 50 %.

Максимальная расчетная вытяжка в ромбе оказалась 65 % (стан 280 завода имени Кирова), а фактическая 68 %. Максимальная вытяжка в квадратном калибре в данной системе достигает 54 % (стан 280 завода имени Дзержинского).

Ромбические калибры, подобно рассмотренным выше квад-



Фиг. 96. Номограмма для определения угла ромба в зависимости от площади

ратным, следует закруглять как в вершинах, так и на буртах. Только для малых размеров закруглений можно не делать.

Практически, даже и при сравнительно больших величинах калибров, закругления делаются не всегда, что нельзя признать правильным. Такие случаи имеются на стане 360 завода имени Орджоникидзе, где ромбы 45×65 и т. п. не имеют закруглений.

Конструкции квадратных калибров в системе "ромб-квадрат" не отличаются от таковых в системе "овал-квадрат", так что на этом вопросе не останавливаемся.

В таблице 18 приведены данные о подготовительных клетях южных заводов, на которых применяется система "ромб-квадрат", а в таблице 20—даны о размерах и углах захвата в калибрах этих систем.

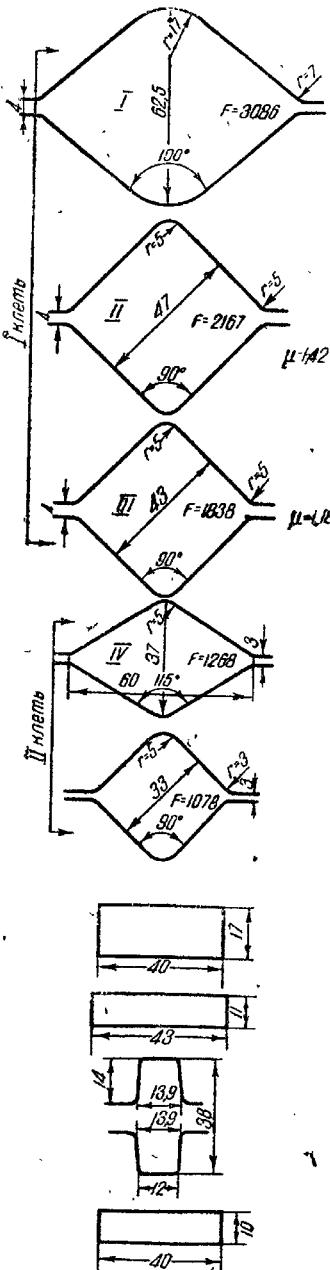
Выше мы неоднократно указывали на недостатки системы "ромб-квадрат" в качестве вытяжной; нередко эти недостатки усугубляются еще и неудовлетворительной конструкцией калибров.

В качестве примера крайне неудовлетворительной калибровки черновой линии по рассматриваемой системе интересно рассмотреть калибровку бушера стана 330 завода имени Кирова.

Прокатка ведется из квадратной заготовки 65×65 или 70×70 мм. Число пропусков — нечетное. При этих условиях правильного чередования калибров быть не может и неизбежно должны быть два калибра подряд одной формы.

В связи с этим в первой черновой клети (бушере) имеются подряд два квадратных калибра. Чертежи шаблонов этих калибров представлены на фиг. 97, там же указаны и величины вытяжек.

Как видно из фигуры, вытяжки невелики и сами по себе не внушают опасений; однако имея в виду, что в последних двух калибрах применена система "квадрат-квадрат", недостатки

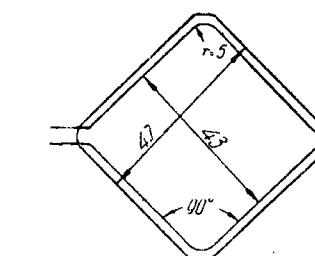
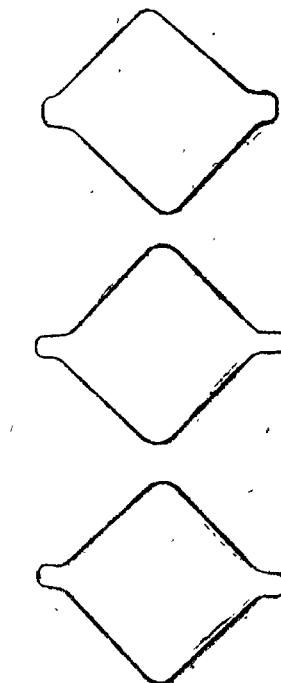
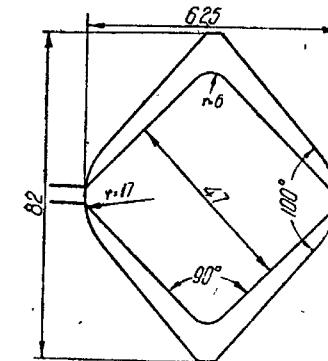


Фиг. 97. Обводки шаблонов при прокатке полосового железа 40×10 стана 330 завода имени Кирова

которой нами разобраны выше, вытяжка в 36% во втором квадрате вызывает образование заусенцев.

Конструкции калибров явно неудовлетворительны.

На фиг. 98 представлено наложение шаблонов калибров. Это наложение показывает, что ни в том, ни в другом случае не остается места на уширение и образование заусенцев неизбежно.



Фиг. 98. Наложение калибров первого на второй и второго на третий на бушере стана 330 завода имени Кирова

Фиг. 99. Обводки темплетов в первых трех калибрах бушера стана 330 завода имени Кирова

Иллюстрацией к такому выводу служат приведенные на фиг. 99 обводки темплетов из этих калибров, взятые в нормальных условиях прокатки. Подобные темплеты брались нами неоднократно и были всегда такими, независимо от температуры прокатываемой стали и от ее состава.

Для улучшения указанной калибровки можно наметить следующий путь:

1. Ромбический калибр заменить усеченным овальным или трапециoidalным, что позволит без опасения увеличить вытяжку процентов до 60.

2. Квадратный калибр второго пропуска несколько уменьшить и сделать угол при вершине $93-95^\circ$, увеличив одновременно и радиус закругления при вершине.

При таких изменениях и неизменности третьего калибра места на уширение в нем оказалось бы вполне достаточно.

В соответствии с нашими указаниями в начале 1936 года калибровка бушера стана 330 и была изменена, хотя и не точно так, как здесь изложено.

Самый факт существования в течение долгого времени калибровки, приводившей к браку продукции, достаточно красноречиво говорит о том, насколько мало еще внимания уделяется на заводах вопросам калибровки.

3. Система „ромб-ромб“

Различаются два типа ромбических рядов:

- 1) с углами 93—95° и
- 2) с углами 97—105° и выше.

Первый тип по существу мало отличается от системы „квадрат-квадрат“; ему свойственны все достоинства и недостатки последней. Эта система рассмотрена нами в главе V.

Система „ромб ромб“ с углами при вершинах ромбов 97—105° по характеру больше подходит к системе „ромб-квадрат“.

Система ромбов в качестве вытяжной употребляется главным образом на станах специализирующихся по прокатке качественных сталей при небольшой длине и невысокой скорости прокатки (главным образом для крупносортных и среднесортных станов).

Эта система не допускает работу с большими вытяжками. Обычно вытяжки на этих станах были в пределах 10—30%, а в этих пределах система ромбов давала вполне удовлетворительные результаты. Однако эти вытяжки в настоящее время можно считать недостаточными.

Поэтому совещание калибровщиков признало желательным проведение на заводах работ с целью повышения пределов вытяжек в ромбических рядах.

При надлежащей конструкции калибров и соответствующей температуре, вытяжки в системе „ромб-ромб“ порядка 40% не являются опасными.

Проф. Грум-Гржимайло указывал нормальные ряды ромбических калибров с постоянным коэффициентом вытяжек 1,41*.

Преимуществом системы „ромб-ромб“ является возможность получения из одного комплекта валков целого ряда квадратных заготовок, получаемых путем пропуска заготовки, вышедшей из любого ромбического калибра после кантовки, через тот же калибр.

Большое значение для успешной прокатки в системе „ромб-ромб“ имеет правильный расчет калибров, выбор надлежащей величины тупого угла, закруглений и запаса на уширение.

На мелкосортных станах южных заводов система „ромб-ромб“ не применяется. Исключение представляет стан 330 завода имени Петровского, где при прокатке круглого железа Ø 30 и 32 мм имеются два последовательных ромба, что вызвано специфическими местными условиями.

Первый из этих ромбов имеет угол 97°, а второй 107°. Фактическая вытяжка в первом ромбе 25%, а во втором — 43%. Благодаря небольшой величине угла первого ромба, места на уширение в нем при прокатке квадратной заготовки не остается, что влечет образование заусенцев. Во втором же ромбе при вытяжке в 43% заусенцы не обнаруживаются.

Недостатком ромбических калибров как в системе „ромб-ромб“, так и в системе „ромб-квадрат“, является свертывание прокатываемой штуки. Это ограничивает применение ромбических калибров, которые применяются главным образом из-за этого только на крупносортных и среднесортных станах, для крупных размеров круглого и квадратного железа, при небольших скоростях прокатки, когда прокатываемая штука удерживается от свертывания вальцовщиками вручную.

На современных быстроходных станах, оборудованных рольгангами, ромбические калибры применяются редко. Опасность свертывания тем больше, чем меньше обжатие или угол в вершине ромбических калибров.

На непрерывных станах, где кантовка и удерживание штуки происходит посредством геликоидальных проводок, ромбические калибры применяются с успехом.

4. Система „овал-круг-овал“

В последнее время заграницей, а также и у нас в СССР, преимущественно для качественных сталей начинает применяться главным образом при прокатке круглого железа новая система калибровки „овал-круг-овал“.

В русской и иностранной литературе по вопросам калибровки система „круг-oval“ не рассматривается.

Первые опыты по изучению этой системы и внедрению ее на наших заводах были проведены прокатной группой Харьковского института металлов в 1932—33 гг.¹.

Для исследования наполнения овала кругом проводились опыты прокатки различных размеров круглого железа в овалах при разной температуре. Опыты проводились на бушерах станов 300 и 250 завода имени Ворошилова.

Деформация при прокатке простейших профилей практически достаточно полно выражается отношениями основных размеров полученных штук (толщины и ширины) к соответствующим размерам исходной штуки. Исходя из этого, для различных величин линейных обжатий круга в овале по вертикали, выраженных коэффициентом линейного обжатия $\frac{h}{D}$ (где h — толщина овала, D — диаметр круглого железа), определялись соответствующие деформации по горизонтали, т. е. уширения, выраженные через коэффициенты уширения $\frac{B}{D}$ (где B — ширина овала).

¹ См. статью П. А. Александрова „Система калибровки „овал-круг-овал“ для черновых линий“. „Качественная сталь“, № 2, 1935 г.

* Проф. В. Е. Грум-Гржимайло „Прокатка и калибровка“, стр. 71.

Эти коэффициенты уширения затем можно положить в основу при расчете овалов для прокатки кругов при данных величинах коэффициентов обжатий.

Опыты дали следующие результаты: при $\frac{h}{D} = 0,50 - 0,52$, средние коэффициенты уширения при 1100° — 1,17; при 1000° — 1,21 и 900° — 1,33.

Нормальным коэффициентом уширения при коэффициенте обжатия $\frac{h}{D} = 0,50 - 0,52$ и при средних температурах прокатки для бушеров мелкосортных и среднесортных станов надо считать коэффициент не менее 1,20. С увеличением коэффициента обжатия, т. е. уменьшением обжатия коэффициент уширения также уменьшается; так при $\frac{h}{D} = 0,60$ коэффициент уширения получается 1,16.

При выяснении наполнения круга овалом мы вначале работали с овалами обычной конструкции, очерченными одним радиусом. Задача овалов в круглые калибры с обжатиями, обеспечивающими вытяжку в пределах 1,3—1,4, встречает большие затруднения.

При тесной установке пропусков, последние зажимают штуку и затрудняют задачу, и в этом случае приходится забивать штуку. Наоборот, при некотором освобождении пропусков для облегчения задачи происходит сваливание овалов. Обжатие овала в круге в наших опытах было 16—25 мм или 38—37%, при этом условии необходимый запас на уширение составляет 7—10 мм, т. е. 40—45% от обжатия (коэффициент уширения в формуле Жеза $K = 0,40 - 0,45$).

При уменьшении обжатия овала, т. е. при задаче овалов в круглые калибры относительно больших размеров, захват происходит без задержки, но вытяжка в этом случае получается незначительная.

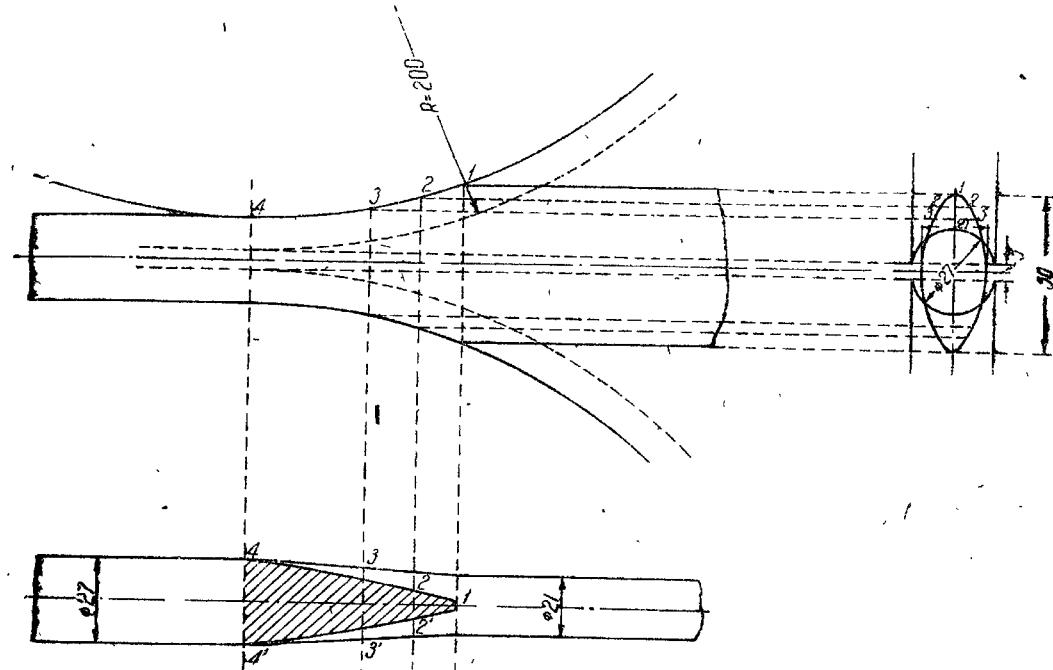
Следовательно, успешное применение системы „круг-oval“ в качестве вытяжной на наших сортовых станах, применяющих средние вытяжки в пределах 1,3—1,5, решает конструкция овальных калибров, которая должна обеспечить с одной стороны хороший захват его в круглых калибрах и с другой — давать удовлетворительные вытяжки.

На непрерывно-заготовочных станах конструкция овала не имеет большого значения, так как захват металла там улучшается принудительной подачей из предыдущих калибров.

Овалы обычной конструкции с острыми боками (т. е. полученные из калибров, построенных одним радиусом), не обеспечивают успешного применения системы „круг-oval“ в наших условиях.

Захват овалов валками в круглых калибрах происходит весьма трудно, ввиду того, что при овалах с острыми боками в начале захват металла имеет малую (узкую) поверхность соприкосновения с валками (см. фиг. 100). Отсюда сила, втягивающая металл в валки, мала и недостаточна для захватывания.

Изучение условий захвата овалов различной конструкции в круглых калибрах показало, что желательно было бы иметь овалы с прямыми боками, чтобы держать их при задаче гладкими пропусками, как в ребровых калибрах полосу. С другой стороны, для того, чтобы в начале дуги захвата площадь соприкосновения металла с валками была большой, овалы должны быть с возможно более тупыми углами.



Фиг. 100. Условия захвата овалов обычной конструкции в круглых калибрах — проекция площади соприкосновения

Рассуждая таким образом, мы пришли к совершенно оригинальной конструкции овалов, показанной на фиг. 101; здесь удачно совмещены оба изложенных принципа.

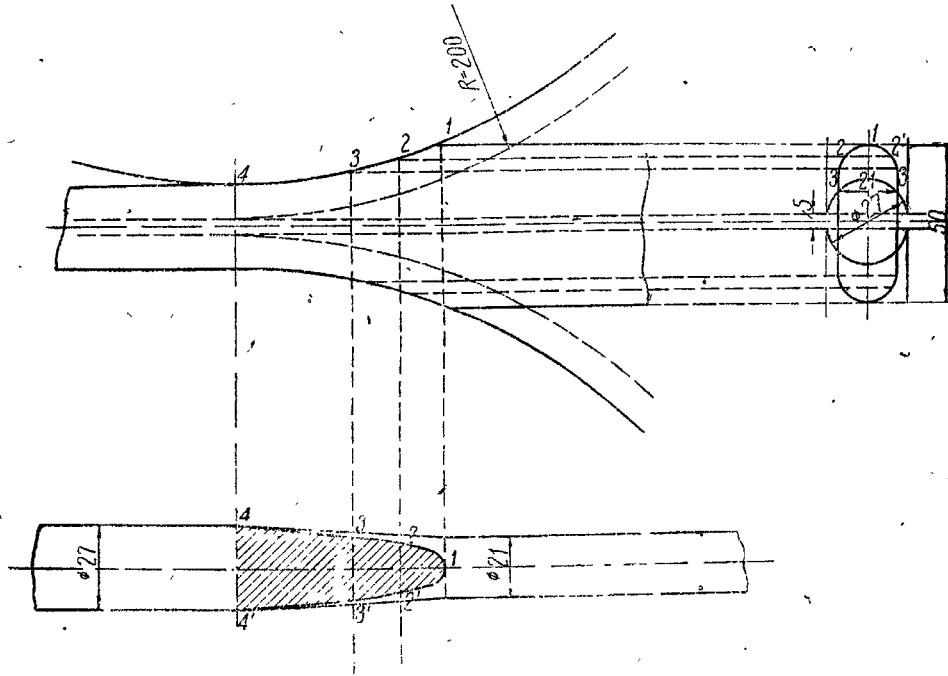
Из фиг. 101 видно, что условия захвата для овалов нашей конструкции значительно лучше, так как площадь соприкосновения металла с валками в начале дуги захвата здесь больше. Держать такие овалы в гладких пропусках, в коробке или в линейках при задаче очень просто.

Овалы новой конструкции имеют еще одно преимущество: — положение заданного в него начального квадрата более устойчиво и квадрат в нем обжимается совершенно равномерно; положение же круга как в этом овале, так и в обычном, почти одинаково.

Среднее положение занимает конструкция овалов эллиптической формы, они более тупые и поэтому лучше захватываются валками, чем обычные овалы.

Промежуточные круглые калибры в системе „круг-oval“ не пригодны для выпуска готовой продукции (круглого железа), так как эти калибры проектируются с большими обжатиями и вытяжками, как и вообще черновые калибры и рассчитываются непременно на некоторое незаполнение, во избежание образования заусенцев.

Как указывает Тринкс, эта система в течение нескольких лет не имела успеха именно потому, что стремились заполнить круг-



Фиг. 101. Условия захвата для плоских овалов (с прямыми боками) в круглом калибре
лье калибры. При этом малейшее охлаждение штуки приводило
к появлению заусенцев и в результате к массовым закатам и
браку.

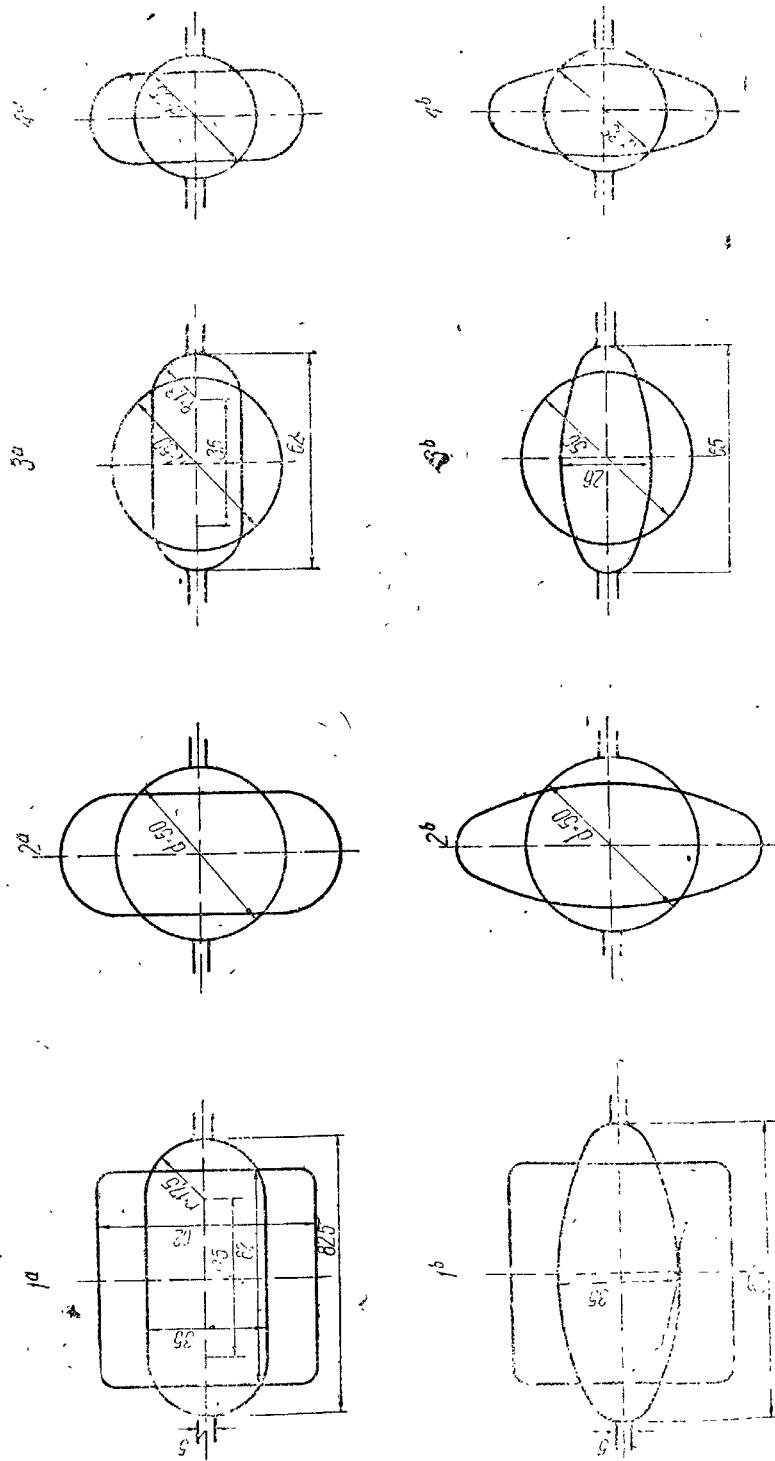
На фиг. 102 приводятся два варианта черновых калибров с овалами нашей конструкции, спроектированных для опытной прокатки на бушере стана 300.

Исходная заготовка квадрат 62×62 ; средняя величина вытяжек за один пропуск — 1,40; конечная черновая круглая заготовка $\varnothing 35$ м.м.

Результаты испытаний обоих вариантов показали полную пригодность сделанной калибровки для прокатки.

При испытании первого варианта с овалами новой конструкции, захватывание овалов в круглых калибрах происходило легко и плавно, несмотря на большие углы захвата.

Задача плоских овалов производилась в гладких пропусках, установленных в коробках. Второй вариант также оказался вполне



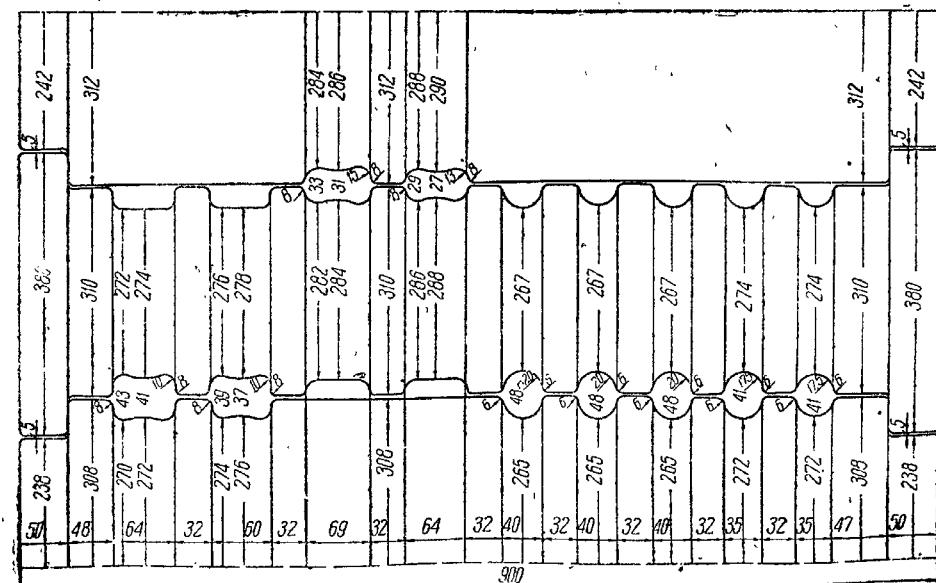
Фиг. 102. Пример вытяжных калибров, построенных по системе „круг-овал“

Таблица 21

Размеры темплетов, величины обжатий и вытяжек при калибровке
„овал-круг-овал“

Наименование калибра	Размеры темплетов в мм	Площадь сечения, мм ²	Линейное обжатие в мм		Линейное уширение в мм		Коэффициенты деформации		Коэффициенты вытяжки	Угол захвата
			Линейное обжатие	Линейное уширение	Коэффиц. обжатия	Коэффиц. уширения				
I вариант — овалы с прямыми боками										
Квадратная заготовка	64,8 × 66,4	4015	—	—	—	—	—	—	—	—
Овал	81,3 × 33,6	250	31,2	14,9	0,52	1,22	1,61	1,42	24°	25°40'
Круг	47,0 × 46,6	1760	34,3	13,1	0,58	1,18	1,42	1,44	21°	21°15'
Овал	59,0 × 26,1	1220	24,5	12,0	0,47	1,25	1,44	1,39	24°	24°40'
Круг	35,1 × 34,8	940	23,9	12,7	0,59	1,57	1,30	1,25	21°15'	21°15'
III вариант — овалы в виде эллипсов										
Квадратная заготовка	64,3 × 63,7	3870	—	—	—	—	—	—	—	—
Эллипс	77,0 × 39,6	2610	24,1	12,7	0,62	1,20	1,48	1,34	21°10'	23°20'
Круг	49,7 × 48,4	1950	27,3	8,8	0,64	1,22	1,36	1,39	20°	21°25'
Эллипс	60,9 × 26,3	1400	22,1	11,0	0,54	1,22	1,36	1,39	21°10'	21°15'
Круг	36,5 × 36,2	1030	24,4	9,9	0,60	1,38	1,39	1,39	21°15'	21°25'

железа $\varnothing 24 - 33$ мм. Подробное описание и анализ этой калибровки будет приведен при рассмотрении калибровок чистовых калибров при прокатке круглого железа.



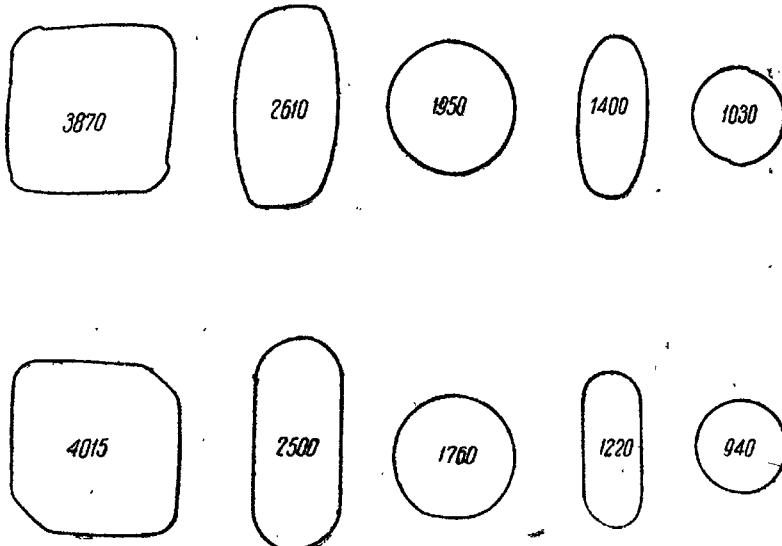
Фиг. 103. Калибровка валков бушера стана 305 по системе „круг-овал“

годным для прокатки, захватывание металла при прокатке производилось без задержек (скорость прокатки 2,35 м/сек).

В таблице 21 приводятся размеры темплетов и величины обжатий, вытяжек и углов захвата при прокатке.

На фиг. 102а приводится обводка темплетов по обоим вариантам.

В системе „круг-oval“ вытяжки, практически возможные на наших бушерах и подготовительных клетях сортовых станов, при



Фиг. 102а. Обводка темплетов при прокатке в вытяжных калибрах по системе „круг-овал“

бесперебойном захвате металла валками для круга в овале и овала в круге, почти одинаковы и равны от 1,3 до 1,5.

Максимально возможные вытяжки круга в овале достигают до 2,0, но при этом отношение $\frac{b}{h}$ полученного овала будет довольно высокое и обжать его до круга не удается, так как для этого требуется слишком большая осадка, что затрудняется условиями захвата металла валками.

В настоящее время система калибров „круг-овал“ начинает внедряться на наших заводах. Ряд заводов качественной стали (Электросталь, Запорожсталь и др.), после перехода на систему калибров „круг-овал“, получили резкое снижение брака продукции по поверхностным дефектам.

Проводятся опыты прокатки по системе „круг-овал“ на заводах имени Фрунзе, Мариупольском заводе имени Ильича и других.

На фиг. 103 приводится предложенная нами калибровка бушера стана 305 завода имени Фрунзе для прокатки круглого

5. Сравнение системы калибров „овал-круг-овал“ с другими системами

Важнейшим преимуществом системы калибров „круг-овал“ по сравнению с другими является плавное формоизменение — плавный переход овала в круг и круга в овал, без образования острых углов и резких переходов.

Отсутствие острых углов на прокатываемых штуках дает равномерное остывание штуки по сечению, что имеет весьма важное значение для качества продукции, износа калибров и проч.

Как известно трещины, складки и другие дефекты при прокатке появляются главным образом на углах штуки.

К числу преимуществ системы „овал-квадрат“ относят возможность лучшего закатывания и сваривания этих трещин. Это достигается тем, что при прокатке квадрата в овале, углы квадрата переходят в стороны овала, а стороны (боковые грани) дают образование новых углов; точно также при переходе из овала в квадрат образование горизонтальных углов происходит из боковых граней овала.

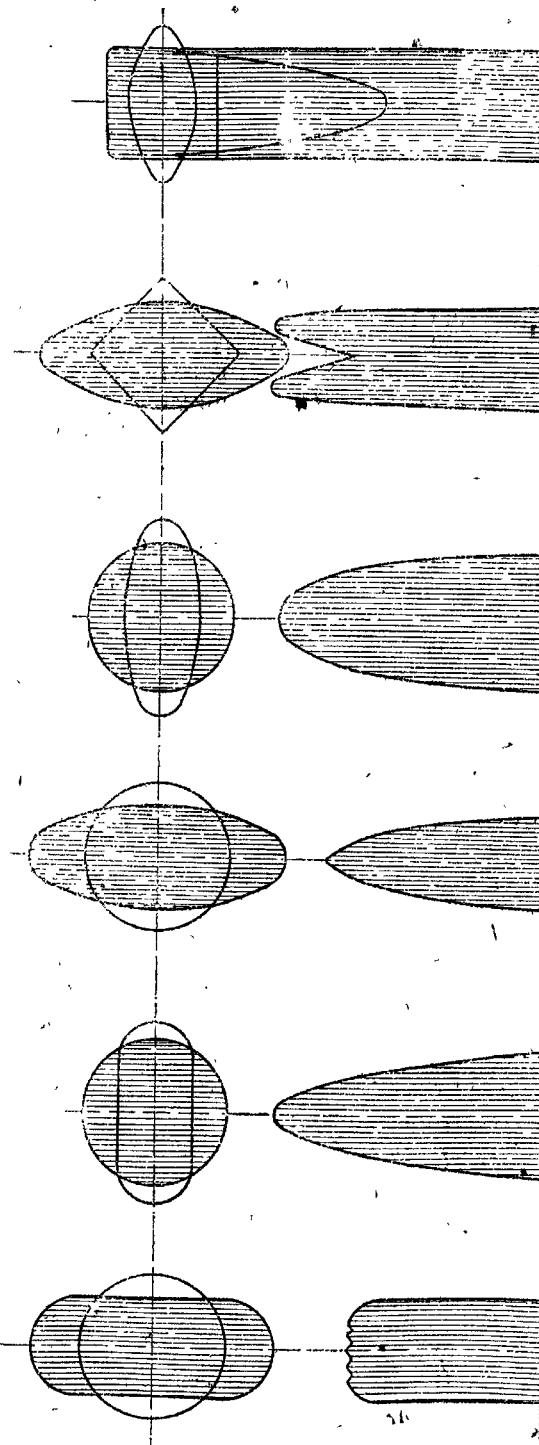
Системы ромбических и квадратных калибров в этом отношении имеют большой недостаток. Трещины, а также и другие дефекты, появившиеся в углах прокатываемой штуки, не закатываются, так как при переходе из калибра в калибр углы остаются на местах, и если на вертикальных углах при обжатии возможно закатывание и сваривание дефектов, то при следующем пропуске после кантовки на 90° дефекты вследствие вытяжки без обжатия и свободного уширения металла на горизонтальных углах — вновь вскрываются. Последнее относится к случаю прокатки более твердых углеродистых или качественных (легированных) сталей, при которых сварка затруднительна.

Однако указанное преимущество системы калибров „овал-квадрат“ надо относить только к случаю прокатки мягких углеродистых сталей в нормальных температурных условиях.

Если проследить по мере захвата образование углов в овальных и квадратных калибрах, то мы увидим, что оно сопровождается резким натяжением и перенапряжением металла в поверхностных слоях. При этом, для случая пониженных температур, а особенно качественных сталей, естественно возникают новые трещины, образуются новые дефекты.

Резкое формоизменение и образование углов в системе „овал-квадрат“ хорошо видны на недокатах, оставленных в валках при прокатке овала в квадрате и квадрата в овале. Подобные образцы — недокаты, полученные при пропуске овала в круглом калибре и круга в овальном, показывают полное отсутствие резких углов и плавный переход одного профиля в другой.

Незначительное формоизменение при переходе из калибра в калибр для системы „овал-круг-овал“ несомненно должно иметь большое значение для экономии в расходе энергии на прокатку. В этом отношении система „oval-kvadrat“ имеет определенный



Фиг. 104. Диаграммы обжатий (удлинений) в системе „круг-овал“ и „квадрат-овал“

недостаток, создавая безусловно лишний расход энергии по сравнению со всеми системами калибров. Большим преимуществом системы калибров „овал-круг-овал“ необходимо считать более равномерное обжатие металла в калибрах...

Диаграммы удлинений или обжатий для системы „круг-овал“ и „овал-квадрат“ показывают резкую разницу (см. фиг. 104). Обжатие и вытяжка круга в овале от центральных элементов к периферии убывает; для квадрата в овале наоборот — вытяжка от середины к бокам резко возрастает, причем максимальное значение весьма близко к поверхностным слоям металла.

Обжатие овала в круге почти постоянно для всех элементов, а овала в квадрате — от середины к периферии сначала возрастает, а затем снова падает до нуля.

Приведенные криевые прекрасно иллюстрируют насколько неравномерно происходит обжатие в системе калибров „овал-квадрат“.

Фактически при прокатке удлинение тех элементов, кото-

рые подвергаются большим обжатиям, задерживается другими элементами, подвергающимся малым обжатиям, вследствие чего первые элементы стремятся к большему уширению. При этом металл подвергается действию внутренних сил растяжения и сжатия, что при известных условиях (температура, качество металла) пагубно отражается на качестве продукции, особенно для специальных сталей.

Таким образом в смысле равномерного распределения элементарных естественных коэффициентов вытяжки и получения внутренне ненапряженного металла, система „круг-oval“ имеет значительное преимущество перед системой „овал-квадрат“.

Преимущество системы „круг-oval“ заключается в уничтожении так называемых складочных трещин на поверхности прокатных изделий из специальных сталей. Складочные трещины получаются в результате вдавливания и закатывания шероховатостей и бугорков, получающихся на боковых гранях штуки при свободном уширении последней.

Одна из главных причин употребления системы калибров „круг-oval“ заключается именно в том, что при этой системе устраняется в большей степени образование складок и складочных трещин.

Весьма важным преимуществом этой системы является очистка полосы от окалины и получение хорошей, чистой поверхности проката.

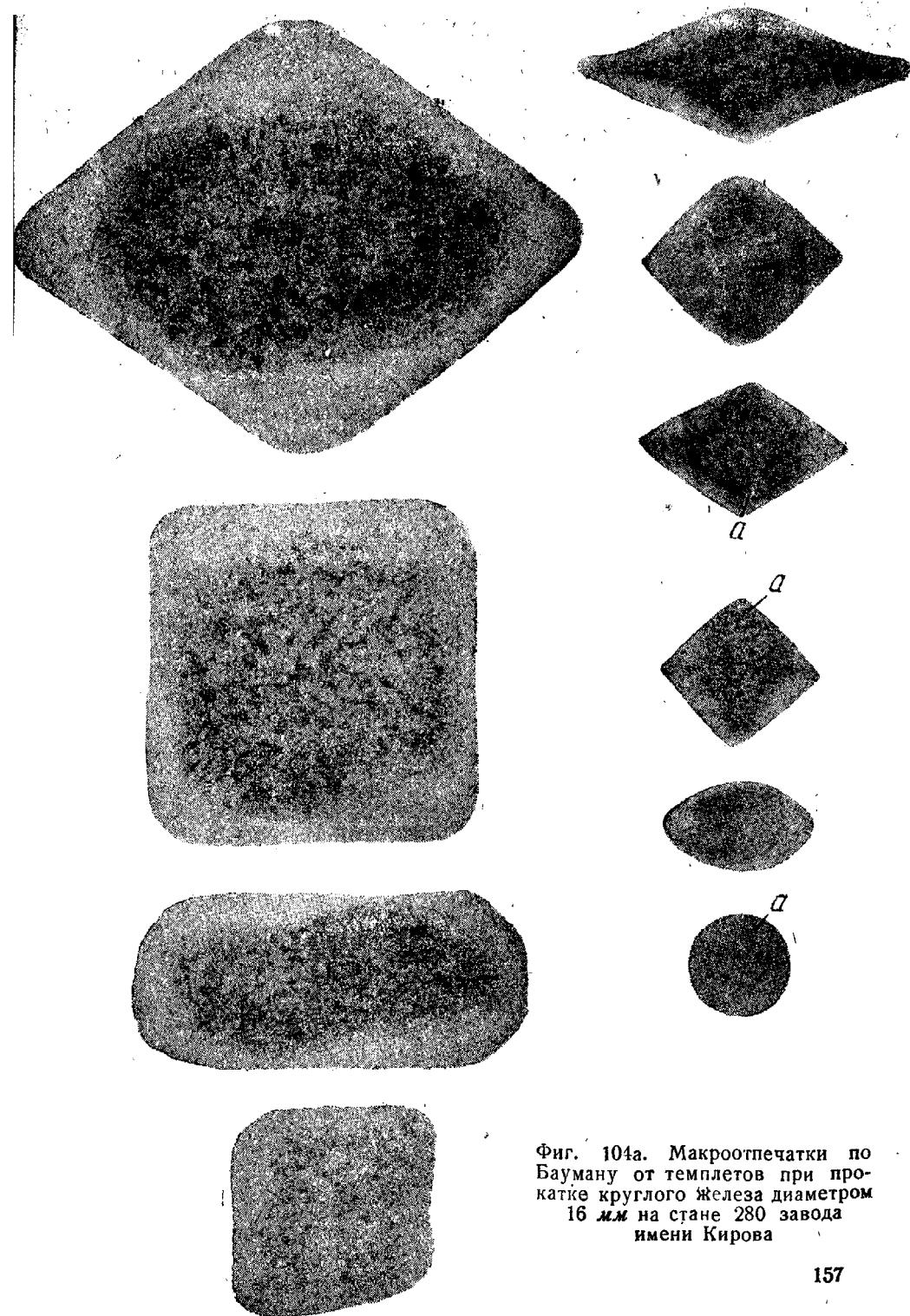
Вопрос борьбы с окалиной, пристающей к поверхности, имеет большое значение для всех профилей и марок сталей, а при прокатке некоторых марок специальных сталей, как никелевых, шарикоподшипниковых и других, наблюдается сильное прилипание окалины к металлу.

Одной из действительных и эффективных мер борьбы с прилипанием окалины при прокатке является применение ребровых пропусков. Роль ребровых калибров в нашей системе „круг-oval“ играет круг, осадка овала в круглом калибре сопровождается энергичным опаданием окалины.

Это обстоятельство особенно важно для специальных сталей.

Наконец при калибровке черновых и подготовительных клетей по системе „круг-oval“, круг легко и просто передается в овал по обводке. А между тем обводки для квадратов хотя и применяются, но не обеспечивают правильной задачи их в овалы. Вследствие неточности квадрата при задаче его в овал происходит сваливание. Квадрат передним концом на расстоянии до 1 м часто задается не плащмя, а на „ребро“ (по диагонали), вследствие чего образуются резкие заусенцы.

В заключение необходимо отметить о влиянии калибровки на расположение ликвационной зоны в прокатной продукции. Смещение и выход на поверхность проката ликвационной зоны металла наблюдается главным образом при прокатке некоторых фасонных профилей (накладки, швеллеры и пр.). Однако это явление имеет место и при прокатке простейших профилей в слу-



Фиг. 104а. Макроотпечатки по Бауману от темплетов при прокатке круглого железа диаметром 16 мм на стане 280 завода имени Кирова

чае недостаточно правильной калибровки или неправильной задаче штуки.

На фиг. 104а приводятся макроотпечатки по Бауману от всех темплетов при прокатке круглого железа диаметром 16 мм на стане 280 завода имени Кирова, иллюстрирующие расположение ликвационной зоны при прокатке. Как видно из этой фигуры, начиная с седьмого пропуска ликвационная зона выходит на поверхность прокатываемой штуки (на фиг. 104а точки выхода обозначены буквами *a*), что отрицательно сказывается на качестве проката.

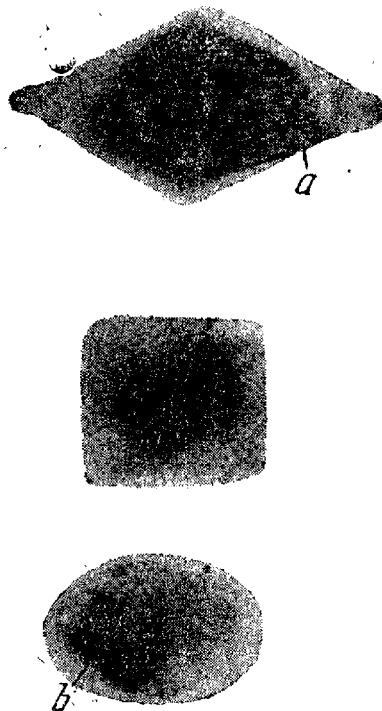
На фиг. 104б приводится пример еще более резкого смещения и выхода ликвационной зоны наружу при прокатке (*a* — выход наружу, *b* — смещение ликвационной зоны) круглого железа диаметром 22 мм на стане 330 завода имени Кирова.

Подобное смещение и выход ликвационной зоны наблюдается и при прокатке полосового железа. Так например, при прокатке полосового железа на стане 500 завода имени Ворошилова ликвационная зона располагается по диагонали и выходит наружу на противоположных кромках полосы по концам диагонали.

Выход ликвационной зоны на поверхность проката особенно вреден для профилей, подвергающихся волочению, т. к. ликвационная зона обнаруживается при травлении и увеличивает неравномерный односторонний износ волочильных досок.

В дальнейшем протяжке или волочении, т. к. ликвационная зона обнаруживается при травлении и увеличивает неравномерный односторонний износ волочильных досок.

Таким образом и при прокатке простейших профилей правильное построение калибров и надлежащую задачу прокатываемых штук в калибры следует проверять по макроотпечаткам с целью избежания смещения или выхода наружу ликвационной зоны металла.



Фиг. 104б. Пример смещения и выхода ликвационной зоны наружу при прокатке круглого железа диаметром 22 мм на стане 330 завода имени Кирова

ГЛАВА VIII КАЛИБРОВКА КРУГЛОГО И КВАДРАТНОГО ЖЕЛЕЗА

1. Калибровка круглого железа

Калибровка черновых линий и подготовительных клетей при прокатке круглого железа проанализирована в предыдущей главе.

Методы построения и расчет чистовых калибров при прокатке круглого железа приводятся во всех капитальных трудах по калибровке (Брово, Жез, Кирхберг, Тафель, Тринкс и др.). Данные этих авторов, будучи верными в определенных конкретных условиях работы, значительно расходятся между собой. Общепризнанных соотношений для построения чистовых калибров до настоящего времени не существует. И это вполне понятно, так как последние могут быть выведены только на основе учета физико-механических условий работы, как скорость прокатки, температура, качество металла, диаметры валков и др. Эти факторы в настоящее время количественно учтены не представляется возможным ввиду слабой их изученности.

Фактически расчет и построение чистовых калибров производится каждым калибровщиком самостоятельно по своим собственным эмпирическим формулам, учитывающим на основе опыта работы конкретные условия данного стана.

2. Чистовые калибры при прокатке мелкосортного круглого железа

К чистовым калибрам при прокатке мелкосортного круглого железа относятся последние три калибра — чистовой круглый, чистовой овальный и предчистовой квадратный.

Собранные нами подробные данные о величинах чистовых калибров, вытяжках и т. п. на семи основных заводах Юга для круглого железа диаметром от 10 до 38 мм приведены в таблице 22.

Ниже рассматривается построение этих калибров в отдельности.

а) Чистовые круглые калибры

Построение чистовых круглых калибров необходимо производить не в виде геометрически правильного круга, а горизонтальную ось делать больше вертикальной на величину от 0,2 до 0,4 мм для диаметров круга 10—38 мм.

Таблица 22

Заводы	Калибровочные данные для чистовых калибров при прокатке круглого железа диаметром от 10 до 38 мм															
	Круглые калибры						Овальные калибры						Квадратные калибры			
	D ₁	D ₂	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{a}{D_1}$	
Круглое Ø 10 м.м.																
И имени Дзержинского	10,2	1,02	1,146	2,0	15	8,2	1,83	1,128	4,7	10,3	—	—	1,28	0,5	1,03	
Орджоникидзенский	10,15	1,015	1,11	2,15	14	8,0	1,75	1,20	3,85	10,15	—	2	1,13	1,5	1,015	
Круглое Ø 12—13—14 м.м.																
И имени Кирова	12,2	1,017	1,051	2,15	17,4	10,05	1,73	1,37	4,4	13,0	—	3	1,165	2,10	1,08	
Орджоникидзенский	12,2	1,017	1,1	3,13	17,0	9,05	1,88	1,39	3,7	13,3	—	3	1,21	2,2	1,11	
И имени Дзержинского	13,2	1,015	1,109	2,5	10,7	1,68	1,29	5,0	14,0	—	3	1,26	0,5	1,05		
И имени Петровского	14,2	1,014	1,108	2,2	19,46	12,0	1,62	1,27	5,0	15,0	—	3	1,17	2,5	1,07	
Круглое Ø 16 м.м.																
И имени Петровского	16,2	1,014	1,12	1,7	22,8	14,5	1,57	1,27	4,8	17,2	—	5,5	1,13	4,0	1,075	
И имени Дзержинского	16,2	1,012	1,165	2,2	23,0	14,0	1,64	1,23	5,6	17,3	—	5,0	1,29	0,0	1,8	
И имени Кирова	16,2	1,012	1,048	2,6	21,6	13,6	1,59	1,34	4,6	17,0	—	5,3	1,24	2,5	1,06	
И имени Сталина	16,2	1,012	1,103	2,0	22,8	14,2	1,6	1,35	5,3	17,5	—	5,5	1,24	7,5	1,09	
Круглое Ø 19 м.м.																
И имени Ворошилова	19,3	1,015	1,24	2,45	24,7	16,8	1,47	1,10	7,1	20,0	—	5,1	1,04	5,6	1,05	
И имени Кирова	19,3	1,016	1,08	3,3	25,1	16,0	1,57	1,27	5,1	20,0	—	5,5	1,315	12,0	1,05	
И имени Сталина	19,3	1,016	1,083	2,3	26,4	17,1	1,54	1,38	5,5	20,9	—	5,5	1,37	10,1	1,1	
И имени Петровского	19,2	1,011	1,086	1,8	24,4	17,4	1,40	1,14	5,5	19,9	—	5,0	1,49	0,0	1,05	
И имени Дзержинского	19,2	1,011	1,084	3,2	26,0	16,0	1,62	1,35	5,5	20,5	—	5,0	1,33	0,0	1,08	
Круглое Ø 22 м.м.																
И имени Петровского	22,5	1,014	1,012	1,8	28,4	20,4	1,39	1,15	7,0	23,2	—	5,0	1,22	1,0	1,05	
И имени Дзержинского	22,3	1,014	1,10	3,0	30,0	19,0	1,58	1,23	7,0	23,3	—	5,5	1,415	1,0	1,06*	

* Квадрат с углом 93°.

Заводы	Продолжение таблицы 22															
	Круглые калибры						Овальные калибры						Квадратные калибры			
	D ₁	D ₂	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	b	h	$\frac{b}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{a}{D_1}$	
Круглое Ø 22 м.м.																
И имени Кирова	22,3	1,014	1,051	3,0	28,5	19,3	1,48	1,29	6,5	23,0	—	—	1,10	7,0	1,05	
И имени Ворошилова	22,3	1,014	1,16	2,53	28,2	19,8	1,42	1,17	7,4	23,2	—	—	1,06	5,2	1,05	
Круглое Ø 25 м.м.																
И имени Фрунзе	25,3	1,012	1,27	2,6	36,0	22,7	1,59	1,045	10,0	26,0	—	4	1,33	8,5	1,04	
И имени Кирова	25,3	1,012	1,06	2,8	33,0	22,5	1,47	1,26	5,0	26,0	—	2	1,10	7,6	1,04	
И имени Ворошилова	25,4	1,016	1,10	3,2	31,8	22,0	1,51	1,18	3,4	26,2	—	2	1,09	9,0	1,06*	
И имени Дзержинского	25,4	1,016	1,04	4,5	34,5	21,0	1,64	1,30	8,5	26,8	—	5	1,27	4,5	1,07	
И имени Петровского	25,35	1,014	1,02	3,4	32,8	22,0	1,49	1,554	2,0	26,8	—	5	1,06	6,0	1,07	
Круглое Ø 30 м.м.																
И имени Дзержинского	30,4	1,013	1,16	4,4	40,0	26,0	1,54	1,23	7,6	32,4	—	6	1,14	7,0	1,08*	
И имени Петровского	30,4	1,013	1,03	3,1	39,7	26,6	1,49	1,35	8,5	31,5	—	3	1,31	0,5	1,05	
И имени Фрунзе	30,3	1,010	1,26	2,7	41,0	27,6	1,48	1,12	9,0	32,4	—	4	1,08	4,0	1,07	
Круглое Ø 32—33 м.м.																
И имени Фрунзе	32,3	1,010	1,12	3,6	44,0	28,7	1,53	1,32	9,0	35,0	—	4	1,03	6,0	1,09	
И имени Петровского	32,45	1,014	1,09	2,65	42,0	29,8	1,41	1,46	6,0	36,0	—	2	1,10	4,0	1,12	
И имени Дзержинского	33,4	1,012	1,07	4,4	44,0	29,0	1,52	1,29	8,5	35,5	—	6	1,26	2,0	1,08*	
Круглое Ø 38 м.м.																
Орджоникидзенский	38,6	1,016	1,14	3,6	53,3	35,0	1,52	1,12	5,3	oval 38 X 47	—	oval 38 X 47	квадрат $a = 41,5$	квадрат $r = 5$ м.м.		

* Дробью показана прокатка в 7 и 9 пропусков.

Коэффициент теплового расширения для нахождения диаметра горячего профиля принимается от 1,010 до 1,015.

На южных заводах, как видно из таблицы 22, в некоторых случаях этот коэффициент несколько превышает указанные пределы, достигая 1,017 и даже 1,020, однако в большинстве случаев он остается в пределах 1,010—1,015.

По диаметрам горячего профиля изготавливаются круглые резцы для расточки калибров (пробки).

Величины коэффициентов, приведенные в таблице, взяты по диаметрам пробок, так что они не вполне соответствуют принимаемым на заводах величинам, так как диаметры пробок обычно округляются до десятых миллиметра.

Фактически заводы придерживаются следующих коэффициентов:

И имени Дзержинского . . .	1,012
Петровского . . .	1,014
Ворошилова . . .	1,015
Кирова . . .	1,012—1,017
Сталина . . .	1,012—1,016
Фрунзе . . .	1,010—1,012
Орджоникидзенский . . .	1,015

Построение чистового калибра на большинстве заводов Юга производят в виде геометрически правильного круга с центром, расположенным на середине зазора между валками; исключение представляет завод имени Петровского, где построение производят по способу Тафеля.

Однако отсюда не следует, что калибр при прокатке будет геометрически правильным кругом. Фактически на стане во время прокатки за счет уменьшения зазора между валками против расчетной имеется возможность сделать горизонтальную ось калибра больше вертикальной. В этом случае величина зазора предусматривается несколько больше. Известно, что круглый чистовой калибр при прокатке изнашивается главным образом по глубине калибра. Зазор, рассчитанный на отдачу валков при проходе штуки, вследствие неплотности стыков между деталями стана (подшипник, подушка, предохранительный стакан, нажимной винт и гайка) на упругий изгиб валков и деталей стана, должен содержать еще некоторый запас на износ калибра по глубине и на регулировку профиля в пределах допусков.

Поэтому величина зазора имеет большое значение. Недостаточность зазора часто ведет к прокатке по максимальным допускам и ограничивает срок службы валков.

Для верхнего предела величины зазора нельзя давать нормы, так как зазор зависит целиком от состояния стана, но нижние минимальные его пределы определяются в следующих границах: — не менее 1,0—1,5 мм для диаметров круга 9—15 мм и 1,5—2,0 мм для диаметров от 15 до 40 мм.

Величины вытяжки в чистовом круге рекомендуются от 7,5 до 20%.

Фактически, как видно из таблицы 22, вытяжки в круге в за-

водских калибровках выходят за указанные пределы в обе стороны и находятся в интервале 1—27%.

В таблице 22, в графе 5 „уширение“ приведена разность между высотой овала (h) и диаметром горячего профиля, т. е. величина, оставленная на уширение в круге; эта величина, как видно из таблицы, лежит в пределах 1,7—4,5 мм, причем для одинаковых профилей по разным заводам колебания в величине запаса на уширение в круге не превосходят 2 мм.

б) Чистовые свальные калибры

Величина и пропорции чистового овала имеют большое значение для получения надлежащего конечного профиля.

В связи с этим и вопросу построения овала уделяется большое внимание как в литературе, так и на производстве.

В таблице 23 приведены величины осей овалов для круглого железа \varnothing 16, 19, 22, 25 и 30 мм, рассчитанные по данным разных авторов.

Данные таблицы наглядно показывают довольно большие колебания в рекомендуемых величинах осей овалов, что может поставить в затруднительное положение неопытного калибровщика.

Таблица 23

Размеры чистовых овалов по данным разных авторов

Наименование источников или авторов	$\varnothing 16 \text{ мм}$		$\varnothing 19 \text{ мм}$		$\varnothing 22 \text{ мм}$		$\varnothing 25 \text{ мм}$		$\varnothing 30 \text{ мм}$	
	h	b								
Хютте . . .	14,24	22,8	17,21	26,7	20,18	30,6	23,15	34,5	24,1	41,0
Кирхберг . . .	14,0	19,6	17,0	23,1	20,0	26,2	23,0	29,4	28,0	34,6
Тафель . . .	14,0	20,9	17,0	24,4	21,0	28,0	23,0	29,5	28,0	35,4
Брово . . .	14,0	24,5	16,5	28,8	19,5	33,4	22,0	42,5	26,75	35,0
Жез . . .	12,8	24,0	15,2	28,5	17,6	33,0	20,0	37,5	24,0	45,0
Тринкс . . .	12,8	25,6	15,5	29,8	18,3	34,0	21,25	37,5	25,8	44,6

Некоторые калибровщики наших заводов выработали свои собственные формулы, которыми и пользуются в заводских калибрах.

Так например, на заводе имени Петровского для определения размеров овалов пользуются следующими формулами:

$$b = 1,25D + 2,5 \text{ мм},$$

$$h = 0,94D - 1 \text{ мм}.$$

Эти формулы выведены на основании обобщения имеющегося опыта работы различных калибровок.

На заводе имени Дзержинского для определения размеров овалов пользуются формулами:

$$b = 1,25(D - 8) + 14 \text{ мм},$$

$$h = 0,94(D - 8) + 6,2 \text{ мм}.$$

Эти формулы, будучи преобразованы:

$$b = 1,25D + 4 \text{ мм},$$

$$h = 0,94D - 1,32 \text{ мм},$$

чрезвычайно близко подходят к формулам, применяемым на заводе имени Петровского, отличаясь от них только величинами свободного члена правой части уравнения, имеющими несколько большую величину, благодаря чему овалы, рассчитываемые по последним формулам, получаются несколько более вытянутыми в ширину.

Обе приведенные формулы довольно близко стоят к формулам, приведенным Хютте. Для мелкосортных станов (круглое железо \varnothing до 35 мм) овалы, рассчитанные по формулам Хютте и заводов имени Петровского и Дзержинского, отличаются в размерах не больше, как на 1 мм.

Следует отметить способ вычисления чистовых овальных калибров, предложенный еще в 1930 г. калибровщиком завода имени Ильича Осикиным¹. Этот способ основан на определении величины h по формуле

$$h = xD,$$

где h — высота овала, D — диаметр катаемого профиля, а x — некоторый коэффициент, меняющийся в зависимости от диаметра. Расчет производится путем определения площади овала по вытяжке в круге, принимаемой автором равной 14% (по Кирхбергу) и вычисления h по приведенной формуле, пользуясь таблицей для коэффициентов x , составленной автором для всех диаметров от 10 до 48 мм.

Определение b производится по Q и h , пользуясь таблицами Кирхberга.

Таким образом все довольно многочисленные формулы для расчета овалов могут быть приведены к двум основным видам:

$$b = aD + c,$$

$$h = kD - c_1,$$

где a , k , c и c_1 — некоторые постоянные величины

$$h = aD,$$

$$b = cD,$$

где a и c — величины всегда постоянные (Жез) или меняющиеся для разных диаметров прокатываемого железа.

Коэффициенты при D и свободные члены в этих уравнениях имеют различное значение, однако колебания в конечных результатах вычислений больших расхождений не имеют и оказываются всегда более или менее пригодными для практики.

¹ Уголь и железо*, № 54, 1930 г.

Отношение осей овалов $(\frac{b}{h})$ при прокатке круглого железа \varnothing 10—38 мм лежит в пределах 1,4—1,88 (среднее отношение по всем профилям оказалось = 1,57).

Построение овала на заводах производится дугами круга; радиус этого круга вычисляется по формуле:

$$r = \frac{b^2 + h^2}{4h},$$

где b и h — оси овала.

По формуле из Хютте, — радиус овала может быть определен также и через диаметр круга.

Величина вытяжки в овале, как видно из таблицы 22, находится в пределах 10—40%, и только в отдельных случаях она выходит за эти пределы в обе стороны.

Запас на уширение в овале в большинстве случаев находится в пределах 28—32% от диаметра катаемого профиля, что приблизительно соответствует величине b , определяемой по формуле Хютте.

Резюмируя все сказанное о построении овала, можно констатировать, что из имеющихся в литературе формул наиболее близкие результаты к данным наших заводов дает формула, приведенная Хютте, т. е.

$$b = 1,3D + 2 \text{ мм},$$

$$h = 0,99D - 1,6 \text{ мм},$$

которую и можно рекомендовать для пользования.

■ Предчистовые квадратные калибры

Выбор правильных размеров квадрата (шлихтовальный квадрат) имеет такое же большое значение для получения правильного профиля, как и надлежащие размеры овала.² В случаях неполадок с получением точного конечного профиля — мастер-прокатчик проверяет прежде всего круглый и квадратный калибры.

Рекомендуемые величины стороны квадрата в зависимости от диаметра катаемого профиля находятся в пределах $a = D$ до $1,1D$, где D — диаметр прокатываемого профиля.

Так, по Жезу . . . $a = 1,1D$,
по Брово . . . $a = D$,
по Кирхбергу . . . $a = 1,01D$.

Обычно заводской калибровщик всегда принимает вполне определенный коэффициент при D для расчета стороны квадрата и колебания в величинах отношения $\frac{a}{D}$ по разным профилям одного и того же завода объясняется не вполне выдержаными размерами шаблонов, или округлением величины a до десятых

миллиметра, что несколько изменяет эти отношения; только для малых размеров (например, $\varnothing 10$ и 12 мм) отношение $\frac{a}{D}$ несколько отличается от обычного и приближается к единице, что вполне понятно, так как температура прокатки этих профилей ниже и вытяжки должны быть меньше.

Фактически на заводах для расчета квадрата пользуются наиболее простой формулой Жеза ($a = 1,1 D$), или своими данными о соотношениях, выработанных калибровщиками отдельных заводов; так например, на заводе имени Петровского принято пользоваться формулой $a = 1,1 D - 1$ мм; на заводе имени Дзержинского $a = 1,08 D$; на заводе имени Кирова $a = D + 1$ и т. д.

Все эти формулы и соотношения для мелкосортного круглого железа дают весьма близко совпадающие величины сторон квадратов (колебания их не больше 1 мм). Однако, некоторые из них не дают удовлетворительных результатов для самых тонких и самых толстых сортов мелкосортного железа.

Наиболее приемлемой следует считать формулу, применяемую на заводе имени Петровского¹:

$$a = 1,1D - 1 \text{ мм},$$

полученную на основании анализа разных заводских калибровок и удовлетворяющую большинству калибровок, имеющихся в нашем распоряжении. Этой несложной формулой можно пользоваться во всех практических калибровках.

Несмотря на то, что точные и приемлемые для всех размеров и случаев формулы для расчета чистовых калибров в настоящее время не могут быть получены, практически все же представляется возможным дать на основе анализа значительного числа заводских калибровок и сопоставления их с литературными данными, при одновременном анализе результатов прокатки, совершенно определенные соотношения между размерами чистовых калибров и диаметром катаемого профиля, дающие удовлетворительные результаты для наших заводов.

Повторяем эти соотношения:

Для построения овала:

$$b = 1,3D + 2 \text{ мм},$$

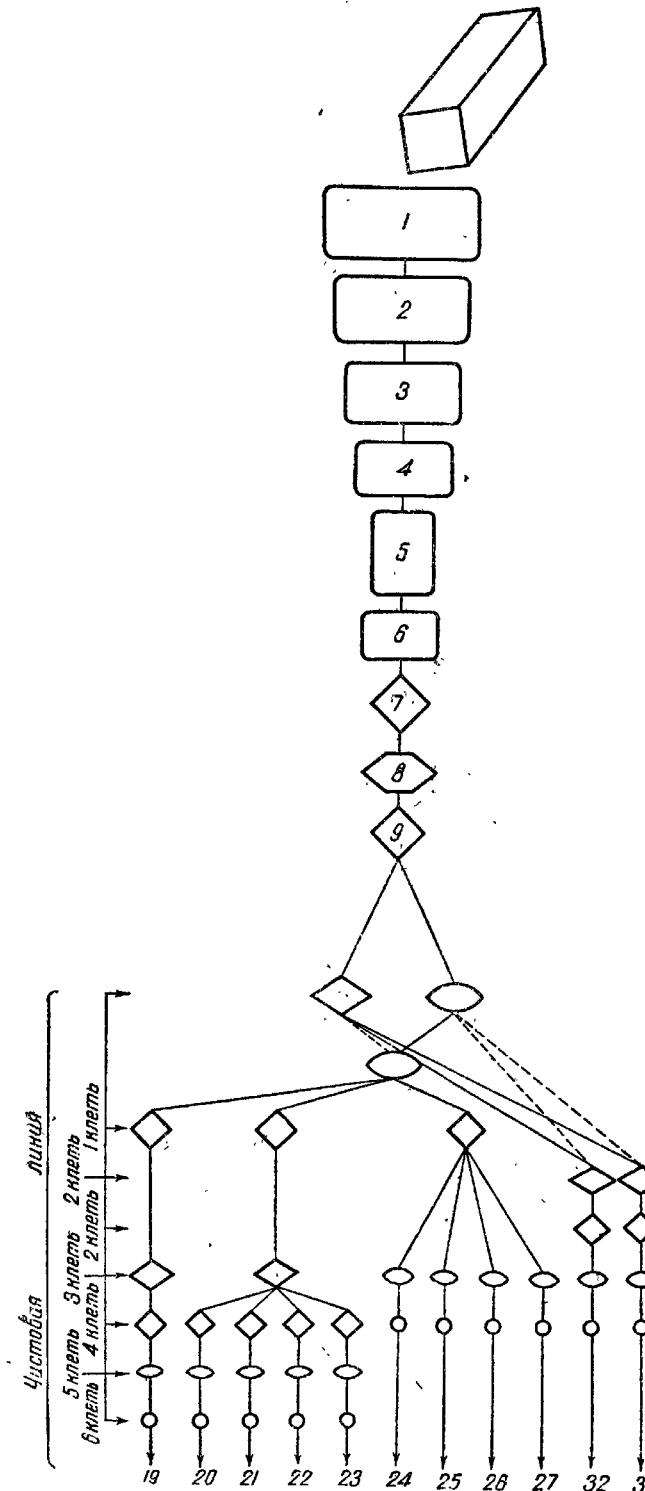
$$h = 0,99D - 1,6 \text{ мм}.$$

Для расчета квадратного калибра:

$$a = 1,1D - 1 \text{ мм.}$$

При этих соотношениях вытяжки в круге для мелкосортного железа получаются в пределах 12—19%, а вытяжка в овале в пределах 14—23%. Для интенсивно работающих станов следует придерживаться верхних пределов.

¹ „Домез“ № 10, 1935 г., стр. 48.



Фиг. 105. Общая схема прокатки круглого железа стана 330 завода имени Петровского

Уширение в овале получается:

$$b - a = (1,3D + 2) - (1,1D - 1) = 0,2D + 3,$$

что для круглого железа диаметром от 10 до 33 мм при обжатии,

$$a - h = (1,1D - 1) - (0,99D - 1,6) = 0,11D + 0,6$$

будет в 2–3 раза больше величины обжатия.

С помощью правильной настройки стана, за счет изменения зазора между валками имеется возможность регулировки вытяжки и обжатия и таким образом корректировки некоторых недостатков калибровки.

На фиг. 105 приведена полная схема прокатки круглого железа на стане 330 завода имени Петровского.

3. Предчистовые круглые калибры при прокатке круглого железа по системе „круг-oval-круг“

Построение и расчет чистового круглого и чистового овального калибров при прокатке круглого железа по системе „круг-oval“ производится также, как и при прокатке через чистовой квадратный калибр.

Деформации предчистового квадрата и предчистового круга (в случае системы „круг-oval“) в чистовом овальном калибре резко отличаются.

Захват круга в овале производится значительно лучше и легче. Диаграмма удлинений для случая прокатки круга в овале и квадрата в овале (фиг. 104) показывает, что в первом случае имеется плавное изменение обжатия; последнее увеличивается от краев к центру. Во втором случае обжатия по краям максимальные, а в центре минимальные. В соответствие с этим уширение квадрата в овале больше, чем уширение круга в овале при равновеликих площадях квадрата и круга.

Но при равновеликих площадях запас на уширение квадрата в овале остается больше, чем для круга в овале, так как сторона квадрата меньше, чем диаметр круга.

Поэтому предчистовой круг не может быть больше по площади предчистового квадрата.

При равенстве площадей будет следующая зависимость между стороной квадрата a и диаметром предчистового круга D_1 :

$$\frac{\pi D_1^2}{4} = a^2,$$

но максимальное значение $a = 1,1D$, где D — диаметр чистового круга. Минимальное значение $a = D$.

Отсюда максимальное и минимальное значение

$$\frac{\pi D_1^2}{4} = 1,21 D^2 \text{ или } D_{\max} = 1,24 D,$$

$$\frac{\pi D_1^2}{4} = D^2 \text{ или } D_{\min} = 1,13 D.$$

Построение предчистового круглого калибра производится в виде геометрически правильного круга. Борты закругляются радиусами:

$$r = \text{от } 0,15 \text{ до } 0,20 D_1.$$

Важным преимуществом предчистового круга по сравнению с чистовым квадратом следует считать устранение образования складок при прокатке твердых сортов стали. Складки образуются при пропуске предчистового квадрата в овале, по бокам, в местах свободного уширения, вследствие большого обжатия по краям.

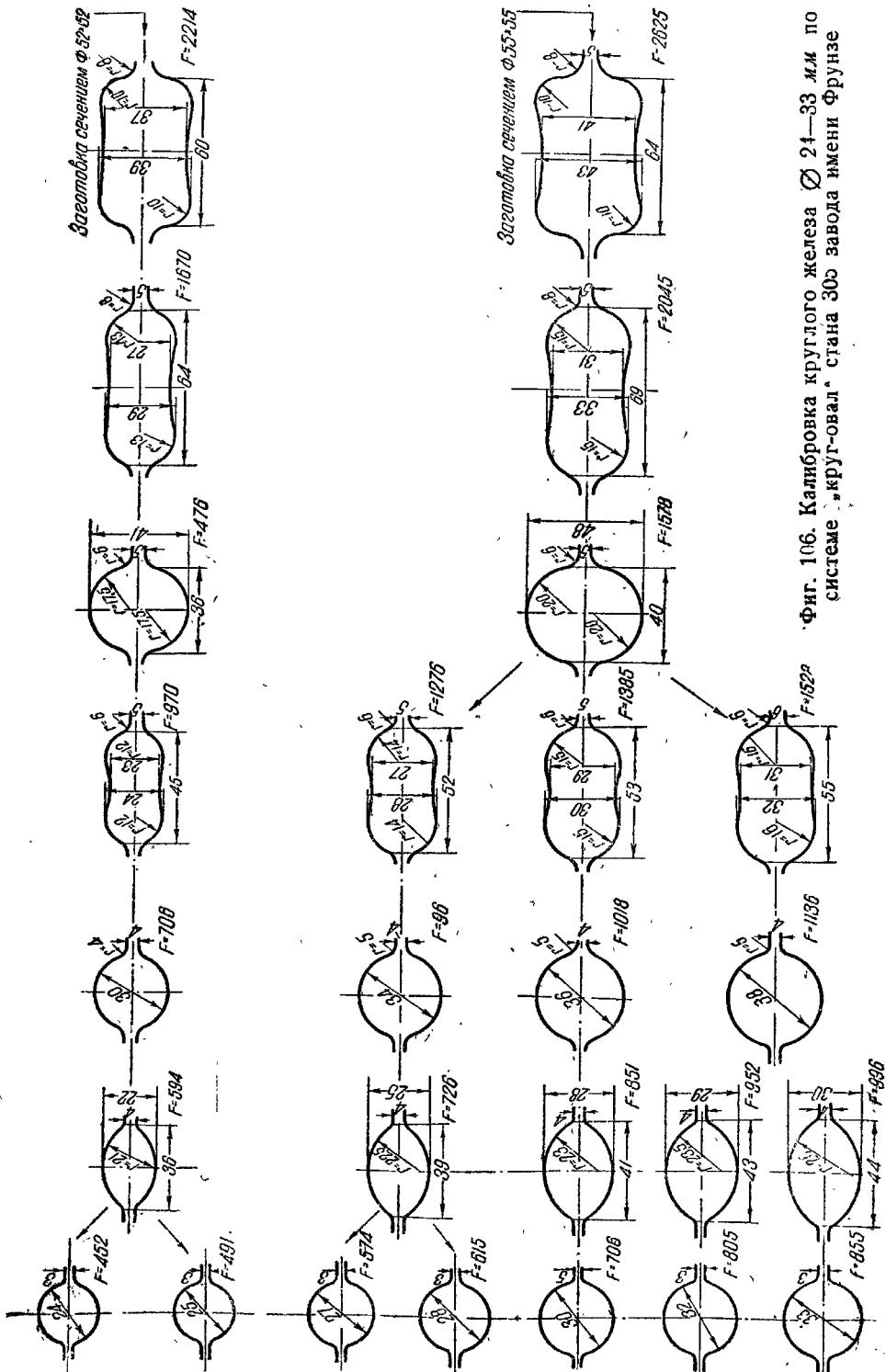
Указанные складки — бугорки и шереховатости, при следующем пропуске овала в круге вдавливаются и образуют так называемые складочные трещины. При этом поверхность круглого железа получается шереховатой и нечистой.

Обжатие предчистового круга в чистовом овале по краям минимальное, вследствие чего устраивается образование складок (буторков и шереховатостей).

На фиг. 106 приводится пример опытной калибровки круглого железа $\varnothing 24$ —33 мм по системе „круг-oval“, сделанной нами для стана 305 завода имени Фрунзе. В этой калибровке при расчете диаметров предчистового круга принят убывающий ряд коэффициентов при D от 1,25 для $\varnothing 24$ до 1,15 для $\varnothing 33$.

Таблица 24
Калибровка круглого железа $\varnothing 24$ —25 и 30 мм по системе „круг-oval-круг“, стан 305 завода имени Фрунзе

Форма калибра	Размеры калибра			Обжатие (в мм)	Уширение (в мм)	Коэффициенты деформации			Угол захвата
	Высота (в мм)	Ширина (в мм)	Площадь сечения (в мм^2)			Обжатия	Уширения	Вытяжки	
Круглое $\varnothing 24$ —25 мм (по шаблонам)									
Заготовка	52	52	2700	—	—	0,711	1,15	1,22	18°45'
Ящичный	37	60	2214	15	8	0,730	1,07	1,325	15°00'
Овал	27	64	1670	10	4	0,641	1,33	1,42	23°55'
Круг	41	36	1176	23	9	0,639	1,12	1,21	17°00'
Овал	23	46	970	13	5	0,652	1,30	1,37	19°10'
Круг	30	30	706	16	7	0,733	1,20	1,19	13°15'
Овал	22	36	594	8	6	0,667	1,09	1,31	16°20'
Круг	24	24	452	12	2	0,695	1,14	1,21	15°35'
Круглое $\varnothing 30$ мм (по шаблонам)									
Заготовка	55	55	3025	—	—	—	—	—	—
Ящичный	41	64	2625	14	9	0,745	1,16	1,15	18°20'
Овал	31	69	2045	10	5	0,756	1,18	1,28	15°00'
Круг	48	40	1578	21	9	0,696	1,29	1,295	22°55'
Овал	29	53	1385	11	5	0,725	1,10	1,14	15°45'
Круг	36	36	1018	17	7	0,679	1,24	1,36	20°00'
Овал	28	41	854	8	5	0,778	1,14	1,19	13°30'
Круг	30	30	706	11	2	0,732	1,07	1,21	16°00'



Фиг. 106. Калибровка круглого железа $\varnothing 24-33$ мм по системе „круг-овал“ завода имени Фрунзе

В таблице 24 приведен расчет калибровки для круглого железа $\varnothing 24-25$ и 30 мм, проверенной опытной прокаткой и давшей хорошее заполнение калибров и удовлетворительный захват металла.

Особенностью этой калибровки является применение в третьем пропуске (от начала) чернового калибра в виде неправильного круга, что вызвано неизбежностью применения рядом прямоугольника и овала в первых двух пропусках.

При четном числе пропусков на чистовой линии или при выдаче с обжимной клети овальной заготовки необходимость применения такого неправильного круга ($D_{\text{гор}} < D_{\text{вер}}$) отпадает.

Выпуклости в овальных калибрах сделаны для предупреждения образования заусенцев в последующих круглых калибрах. Первые три калибра были смонтированы в первой клети триобушер (см. фиг. 103); задача овала на ребро в третий пропуск производилась с передней стороны с крючка, через литую цельную коробку с плоскими пропусками.

Задача в четвертый пропуск (в овал) на второй клети — также с крючка с задней стороны. Для задачи круга может быть применена обводка, а овала в круг — аппарат Шепфа.

Система калибровки „круг-овал“ находит применение, главным образом, для прокатки мелких и средних размеров качественного круглого железа.

4. Чистовые калибры при прокатке крупносортного круглого железа

Для круглого железа диаметром до 80 мм чистовые калибры, также как и для мелкосортного железа, в большинстве случаев состоят из трех калибров. В некоторых же случаях при прокатке крупносортного круглого железа между чистовым квадратом и отделочным круглым калибром располагаются два овальных калибра, и тогда второй овал — третий от конца калибр — называется предчистовым.

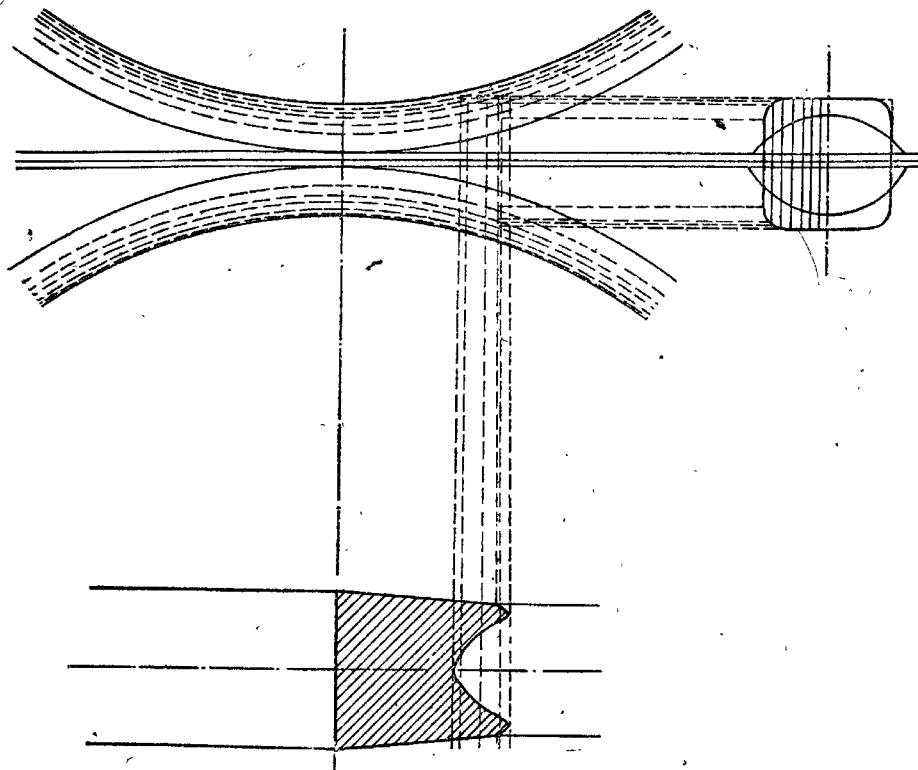
Применение двух овальных калибров вместо одного вызывается необходимостью уменьшения обжатий по краям с целью избежания образования складок, а также тяжелыми условиями захвата квадрата в овальном калибре. Условия захвата при этом наглядно видны на фиг. 107.

Первоначально соприкасаются с валками углы квадрата и в первый момент углы захвата велики, а площадь соприкосновения металла с валками мала; отсюда — сила, втягивающая металл в валки также недостаточна.

Фиг. 108 представляет собой чистовые калибры для круглого железа $\varnothing 60$ мм Орджоникидзенского завода. Как видно из фигуры, переходному овалу придана форма, облегчающая захват квадрата, причем верхняя половина переходного овала является нижней половиной чистового овала, что увеличивает использование длины бочки валков.

а) Построение чистовых круглых калибров

При построении чистовых круглых калибров для круглого железа диаметром от 40 до 100 мм горизонтальную ось круга следует делать больше вертикальной на 0,4—0,8 мм для компенсации большей утяжки горизонтальной оси, которая происхо-



Фиг. 107. Условия захвата предчистового квадрата в чистовом овале

дит вследствие того, что температура в этом направлении выше и во-вторых—для предупреждения образования заусенцев.

Однако, имеющиеся у нас данные показывают, что не все заводы строят чистовые калибры для крупносортного железа с расширением по горизонтальной оси. Некоторые заводы строят калибры для круглого железа диаметром 60, 70 и 80 мм в виде геометрически правильного круга. При построении отделочных калибров следует обязательно закруглять бурты значительными радиусами.

Коэффициенты теплового расширения принимаются такие же, как и для малых диаметров (см. таблицу 25).

Величины вытяжек в круглых калибрах большого диаметра находятся в пределах 5—23%.

Таблица 25

Заводы	Круглые калибры	I овальные калибры			II овальные калибры			Квадратные калибры		
		b_1 мм	h_1 мм	b_1/h_1	b_2 мм	h_2 мм	b_2/h_2	a (мм)	b (мм)	a/b
Круглое $\varnothing 40 \text{ мм}$										
Имени Даеркинского	40,5	1,013	1,15	3,5	54	37	1,46	1,16	12	—
Имени Ворошилова	40,5	1,013	1,15	3,0	54	37,5	1,44	1,35	10	—
Имени Петровского	40,6	1,015	1,11	4,0	54	36,5	1,48	1,28	11	—
Круглое $\varnothing 45 \text{ мм}$										
Имени Даеркинского	45,5	1,012	1,09	5,5	62	40,0	1,56	1,24	14	—
Имени Ворошилова	45,5	1,012	1,17	1,5	63	44,0	1,43	1,17	13	—
Имени Петровского	45,6	1,015	1,14	1,6	61	44,0	1,39	1,29	12	—
Круглое $\varnothing 52 \text{ мм}$										
Имени Даеркинского	52,6	1,012	1,08	7,0	72	45,5	1,58	1,31	16	—
Круглое $\varnothing 60 \text{ мм}$										
Орджоникидзевского	60,9	1,015	1,07	8,3 ¹	79	52,6	1,5	1,21	20	76
Имени Ворошилова	60,9	1,015	1,23	5,0	85	56,0	1,52	1,22	19	—
Круглое $\varnothing 70 \text{ мм}$										
Орджоникидзевского	71,0	1,015	1,05	12,5 ²	94	60,0	1,57	1,24	4	90
Имени Ворошилова	71,0	1,015	1,21	7,0	98	64,0	1,53	1,15	23	—

¹ Калибр имеет расширение по горизонтали. Размер по горизонтали — 61,3 мм .

² Калибр имеет расширение по горизонтали. Размер по горизонтали — 72,4 мм .

³ Калибр особой формы.

Запас на уширение в круге (при \varnothing 40—70 мм) находится в этих калибрах в пределах 3—12,5 мм (меньшие величины, имеющиеся при прокатке круглого железа \varnothing 45, как ненормальные и случайные в расчет приниматься не должны).

б) Чистовые овальные калибры

Общие соображения о конструкции овальных калибров были изложены выше, так что останавливаемся только на конструкции калибров, принятых на заводах Юга.

Отношение осей (b/h) овала при больших диаметрах лежит в пределах 1,4—1,58 (таблица 25). Среднее по всем профилям отношение получилось = 1,50.

Вычисление осей овалов, произведенное по формулам Хютте, показывает, что для круглого железа \varnothing 40 и 45 мм результаты близко совпадают с практическими данными заводов, приведенными в таблице.

Для диаметров больше 50 мм расхождения между вычисленными величинами и практическими данными возрастают и в этих случаях имеется возрастание отношения b/h с увеличением диаметра профиля, что дает худшие результаты в отношении получения точности профиля.

Поэтому можно считать, что формула Хютте может применяться и при больших диаметрах круглого железа, давая удовлетворительные результаты.

Построение чистовых овалов также как и при малых диаметрах производится дугами круга, радиус которого рассчитывается по вышеприведенной формуле (стр. 165), но лучше овалы для больших кругов строить по двум радиусам.

Вторые предчистовые овалы (третий калибр против хода прокатки) строятся почти так же, как и чистовые, а иногда им придается особая форма, переходная от квадрата к овалу, облегча-

ющая как задачу квадрата в этот калибр, так и задачу из него в овал, а также уменьшающую износ чистового овального калибра (см. фиг. 108).

Величины вытяжек в овалах колеблются в пределах 15—35%, причем в большинстве случаев они не превосходят 30%, так что вытяжки в предчистовых овалах при больших диаметрах круглого железа меньше, чем при малых, что объясняется меньшим отношением b/h в них.

Запас на уширение в овалах составляет 25—33% от диаметра катаемого профиля, за исключением случаев с применением двух овалов.

в) Предчистовые квадратные калибры

Данные о величинах построения квадратных калибров для прокатки больших диаметров круглого железа, приведенные в таблице 25, показывают, что и на эти профили для расчета стороны квадрата может быть распространено пользование формулой, принятой на заводе имени Петровского.

Фактические данные весьма близко совпадают с вычисленными по этой формуле, за исключением случаев прокатки через два овала, где сторона квадрата на 2—3 мм больше расчетной. Последнее естественно, так как наличие лишнего переходного калибра позволяет несколько увеличить квадрат.

Вытяжки в квадратах держатся в пределах 1,1—1,2.

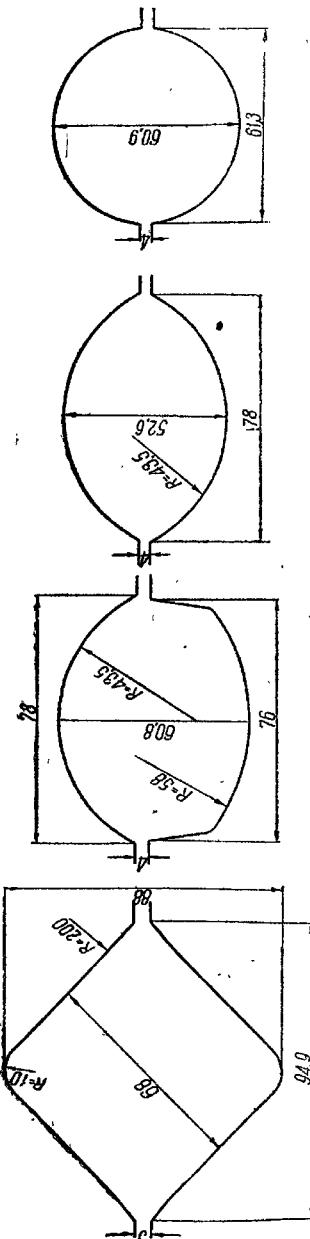
Сравнение данных таблицы 25 с величинами вытяжек в квадратах при прокатке малых диаметров показывает, что первые лежат в значительно более узком интервале и в больших квадратах вытяжки значительно ниже.

Запас на уширение в квадратах весьма различный, так как он зависит от формы предыдущего калибра и общую закономерность для этой величины установить трудно.

Резюмируя все сказанное о калибровке чистовых калибров при прокатке крупносортного круглого железа, можно констатировать, что рекомендованные выше формулы для расчета чистовых калибров при прокатке малых диаметров могут быть распространены и на калибровку круглого железа диаметром до 70 мм и больше.

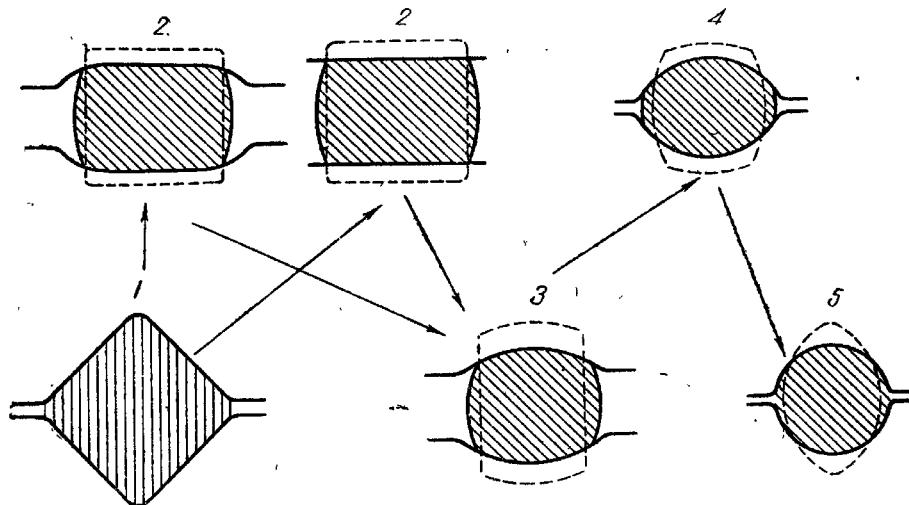
5. Применение ребровых калибров при прокатке круглого железа крупных размеров

Рост удельного веса качественных (легированных) сталей в прокатке крупносортного круглого железа и повышенные требования к качеству продукции привели к изменению существующих способов калибровки. Появилась новая система „квадрат-ступенька-ребро (штаух)-овал-круг“ (см. фиг. 109). В некоторых случаях в этой системе добавляется также и второй (предчистовой) овал.



Фиг. 108. Калибровка круглого железа \varnothing 60 мм на стане 550 Орджоникидзенского завода

Основное преимущество этой системы — получение чистой поверхности благодаря хорошему удалению окалины в ребровых калибрах.



Фиг. 109. Схема прокатки круглого железа в системе калибровки „квадрат-ступенька-ребро (штаух)-овал-круг“

Кроме того в ней устранена возможность образования складок, так как штука, заданная в чистовой овал из ребрового калибра (или из предчистового овала), обжимается меньше и равномернее, чем предчистовой квадрат в овале.

Построение и размеры чистового овала остаются без изменения.

Схема построения ребровых калибров, служащих для удаления окалины, приведена на фиг. 110¹.

Ребровые калибры рассчитываются для прокатки целого ряда размеров круглого железа. Например, можно построить только два таких калибра и путем регулировки валков применять их для всего сортамента стана.

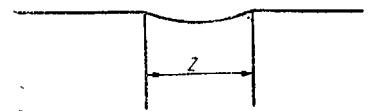
Величина углубления (y) колеблется от 2,5 до 7 мм, в зависимости от диаметра круга.

Ширина калибра (Z) рассчитывается по следующей эмпирической формуле:

$$Z = 1,15 D + 5 \text{ мм},$$

где D — диаметр максимального размера круглого железа, который прокатывается через рассчитываемый калибр.

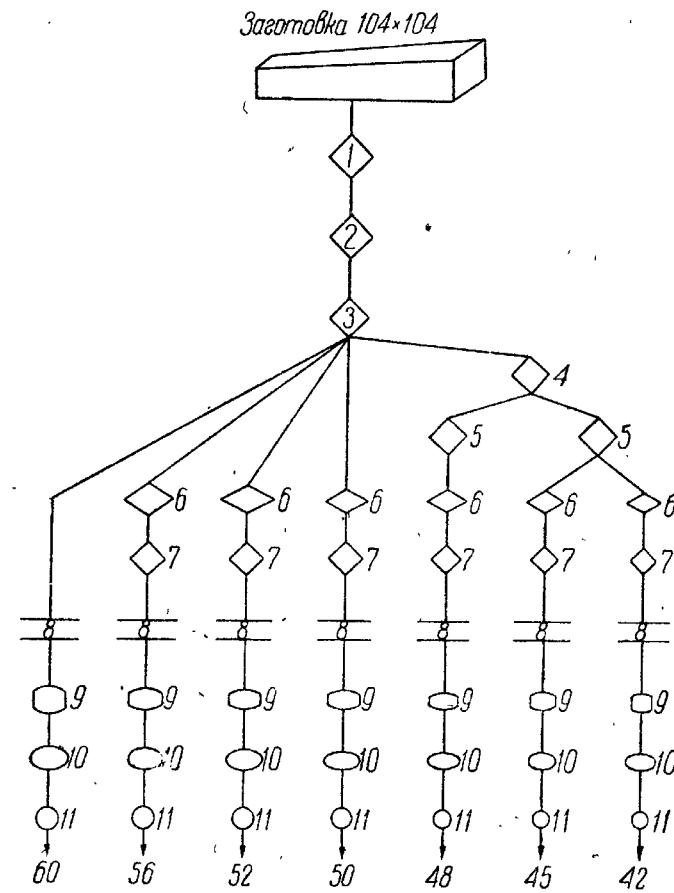
¹ См. постановление съезда калибровщиков „Качественная сталь“ № 10, 1936 г.



Фиг. 110. Схема построения ребровых калибров

Величины вытяжек в ребровых калибрах рекомендуются в пределах 1,18—1,24.

Эта система калибров у нас применяется главным образом на заводах качественных сталей (завод „Красный Октябрь“ — новый среднесортный стан 450 для прокатки $\varnothing 48$ —100 мм; старый среднесортный стан 450; Златоустовский завод — стан 400, стан 360



Фиг. 110а. Схема прокатки круглого железа диаметром от 42 до 60 мм на стане 360 завода „Запорожсталь“

$\varnothing 32$ —60 мм завода ЗИС, „Запорожсталь“ и другие, прокатывающие легированные стали).

На фиг. 110а приводится схема прокатки круглого железа диаметром 42—60 мм на стане 360 завода ЗИС „Запорожстали“ по новой системе калибровки „квадрат-ступенька-ребро (штаух)-овал-круг“.

В таблице 26 приводятся данные о размерах калибров.

Заканчивая обзор калибровки чистовых калибров при прокатке круглого железа, необходимо остановиться на задержках при прокатке в этих калибрах.

Таблица 26
Таблица калибровки круглого железа диаметром от 42 до 60 мм на заводе
инструментальной стали „Запорожстали“ имени Серго Орджоникидзе

1 клеть	2 клеть	3 клеть	4 клеть	5 клеть						
Ромбы с углом 100°	Ромб с углом 100°	Квадрат с углом 91,5°	Ступенька	Ребро	Овал	Круг				
Размеры сторон в мм		Размеры (в мм)								
Нумерация калибров по схеме калибровки										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
95	87	79	—	—	—	—	62 × 81,5	62,7 × 71	55,75	60
95	87	79	—	—	72	70	58 × 76,5	58,5 × 66	51,3 × 70	56
95	87	79	—	—	72	66	54,5 × 70	54 × 62	47,7 × 65	52
95	87	79	—	—	70	62	62 × 68	52,5 × 59,6	46 × 63	50
95	87	79	72	72	66	60	50 × 65	50 × 57	44 × 60	48
95	87	79	72	66	60	55	46 × 61	47,3 × 52,5	41,5 × 56	45
95	87	79	72	66	58	53	49 × 56	44 × 55,6	58,8 × 38,5	42

Примечание. Отклонения в размерах квадратов $\pm 0,5\text{--}3$ мм в зависимости от качества катаемой стали.

Как показывает практика на станах всех заводов, прокатывающих круглое железо в пропусках, наблюдаются систематические задержки при задаче чистового овала в круглый калибр. Эти задержки происходят вследствие трудности задачи овала через коробку.

Пропуски в коробке обычно устанавливаются очень тесно для удержания овала в вертикальном положении, а так как концы полос всегда несколько „разбиты“, то этим и объясняется трудность задачи. В результате нередко перед чистовой клетью скапливается несколько полос, вышедших из овального калибра и на всей линии прокатки приходится приостанавливать.

Для беспрепятственной задачи овала в круглый калибр могут применяться специальные коробки с раздвигающимися при задаче штуки пропусками.

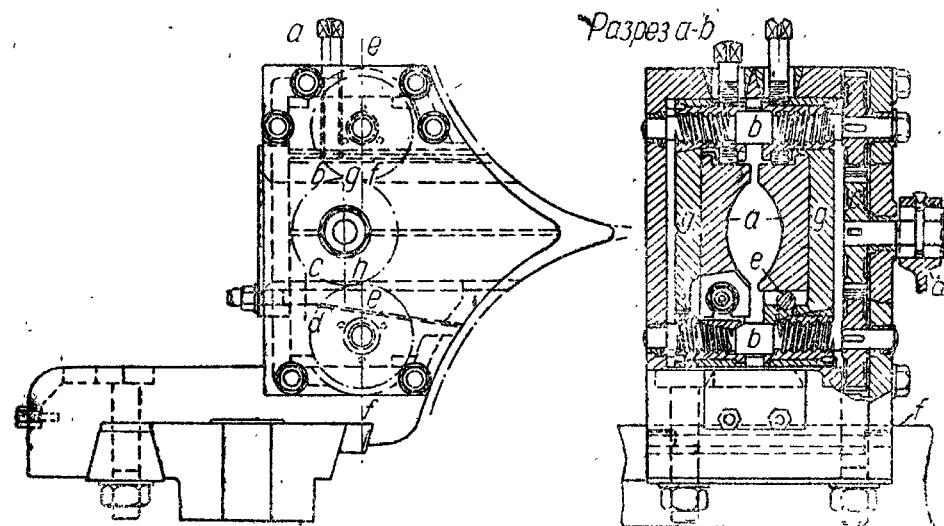
Конструкция такой коробки представлена на фиг. 111¹.

Работа коробки понятна из чертежа.— при задаче овала в круг пропуски раздвигаются поворотом рычага — *d*, а после захвата штуки обратным движением рычага вновь сдвигаются. Таким образом задержки при задаче овала в круг сводятся к минимуму.

Необходимо отметить, что при применении подобных коробок не должно быть верхнего или нижнего давления в чистовом овале или оно должно быть минимальным—не больше 1 м.м. Эта необходимость обусловливается тем, что передний конец

¹ Журнал „St. u. Eis.“, 1935 г., № 17.

штуки, выходящий из овального калибра, не должен быть согнут, так как в этом случае он (будучи уже задним) при проходе через коробку с большой скоростью сильно ударяет по пропускам и может повредить нарезку и даже порвать раздвижные болты (*b*).



Фиг. 111. Конструкция коробки с раздвигающимися пропусками

6. Калибровка квадратного железа

К чистовым калибрам при прокатке квадратного железа относятся при мелких сортах три последних калибра — квадрат, ромб и квадрат, а при прокатке крупных сортов иногда отделочному квадрату предшествует два ромба и квадрат.

От надлежащей конструкции этих калибров во многом зависит получение правильного профиля, вследствие чего этому вопросу уделяется большое внимание.

Прокатка квадратного железа имеет сравнительно небольшое распространение; наиболее часто встречается прокатка квадрата 16 × 16 (костыльное железо).

В таблице 27 приведены данные о калибровке квадратного железа по некоторым заводам.

а) Чистовой квадратный калибр

Для мелких сортов отделочный калибр строится на всех заводах в виде геометрически правильного квадрата с углом 90° и линейным коэффициентом расширения 1,012—1,13 (таблица 27).

Закруглений ни в вершине, ни на буртах не делается.

Для крупных сортов отделочный калибр завода имени Сталина

Таблица 27

Калибровочные данные для чистовых калибров при прокатке квадратного железа

Заводы	Отделочный квадрат				Предделочный ромб				Квадрат										
	a_r м.м.	α°	Коэффиц. геппн. распир.	r_1 м.м.	r_2 м.м.	z м.м.	b м.м.	h м.м.	α°	μ	z' м.м.	a' м.м.	α°	r_1 м.м.	r_2 м.м.	μ	z м.м.		
Имени Кирова	16,2	90	1,012	—	—	1,333	4	28,3	18,8	115	1,09	3	18	90	—	—	1,274 1,28 1,13 1,142	3,4 10 2 1,5	
Имени Сталина	16,2	90	1,012	—	—	1,292	1,9	32,3	21	115	1,18	4	20	90	—	—	1,28 1,13 1,142	10 2 1,5	
Имени Петровского	16,25	90	1,013	—	—	1,022	3	26	20	105	1,06	3	17,2	90	—	—	—	—	
Имени Дзержинского	16,25	90	1,013	—	—	1,267	0	26,5	23	106	1,15	0	19,5	90	—	—	—	—	
II квадрат 22×22																			
Имени Сталина	22,3	90	1,012	—	—	1,19	3	37,5	28,6	110	1,14	0,5	26	90	—	—	1,10	4	
III квадрат 50×50																			
Имени Сталина	50,4	90°30'	1,006	—	—	4	1,106	3	82	68	101	1,21	6	76×89	101	—	—	1,16	4,7
IV квадрат 60×60																			
Имени Сталина	60,4	90°30'	1,005	—	—	1,07	1	93	84	.96	1,083	1	64,5	90°30'	91	—	—	1,146 1,20	3
Имени Петровского	60	90	1,0	—	—	1,25	3,5	105	81	105	1,18	.9	73	91	—	—	—	—	

Сторона квадрата — a_r (горяч.)Радиус закругления на буртах — r_1 Вертикальная диагональ — h Угол при вершине — α° Коэффициент вытяжки — μ Горизонтальная диагональ — b Радиус закругления в вершине — r Расчетное уширение — z

строится с расширением по горизонтальной оси; угол при вершине делается $90^\circ 30'$, так что в этом случае диагонали:

$$b = 1,41 a$$

$$h = 1,42 a,$$

где a — сторона квадрата.

На заводе имени Петровского чистовой калибр даже для квадрата 60×60 строится в виде геометрически правильного квадрата с углом 90° .

На заводе имени Сталина сделаны закругления на буртах, во избежание образования заусенцев.

Вытяжки в чистовом квадрате, как видно из таблицы 26, изменяются в весьма больших пределах — от 2 до 29%, причем уменьшение вытяжек с увеличением размеров профиля отсутствует, что нельзя считать правильным.

Можно констатировать, что в выборе вытяжек в последних калибрах (что зависит от калибровки и от настройки стана), определенного правила нет и вытяжки берутся „на глаз“. Между тем с точки зрения получения надлежащей структуры металла обжатия (и вытяжка) в последнем калибре должны выбираться в зависимости от состава стали и температуры конца прокатки.

Запас на уширение в чистовых калибрах лежит в пределах 0—4 мм. Запас на уширение в 1 мм при прокатке квадратного железа 60×60 (завод имени Сталина) нужно считать недостаточным (почему там и оказалось необходимым применить закругление на буртах), а запас в 4 мм при прокатке проката 16×16 (завод имени Кирова) — преувеличенным.

Нормальным запасом на уширение для квадрата 16×16 можно считать величину 1,5—2 мм, а для квадрата 60×60 — 4—6 мм. Для промежуточных квадратов запас на уширение должен находиться в пределах 1,5—4 мм.

б) Предчистовой ромб

Конструкция ромба определяется его тупым углом, который должен уменьшаться с увеличением размеров калибра.

Как видно из таблицы 27 — это правило вообще соблюдается заводами, и если ромб для квадрата 16×16 имеет (в двух случаях) угол 115° , то для квадрата 60×60 он не превышает 105° .

На отдельных заводах это положение вырисовывается особенно наглядно; так например на заводе имени Сталина имеется:

Ромб для квадрата 16×16 — 115°

“ ” “ 22×22 — 110°

“ ” “ 50×50 — 101°

“ ” “ 60×60 — 96°

Эти величины несколько расширяют пределы, рекомендуемые у Хютте, но их можно все же считать приемлемыми.

В других же случаях такого понижения совсем не обнаруживается. Примером является завод имени Петровского, где ромбы при прокатке квадратного железа 16×16 и 60×60 имеют одинаковый угол 105° , что нельзя считать правильным.

Закруглений ромбы не имеют.

Величины вытяжек в ромбах лежат в пределах 6—21%.

Эти величины можно считать в общем нормальными, хотя вытяжки в 6—12%, при современных требованиях к интенсивности работы станов, несколько малы.

Запас на уширение в ромбе находится в пределах 0—9 мм, т. е. в некоторых случаях место на уширение не оставляется, что нельзя считать правильным. Минимальный запас на уширение следует считать 1,5—2 мм.

в) Предчистовой квадрат

Предчистовой квадрат строится подобно чистовому.

При прокатке мелких профилей закруглений не делается (таблица 27). При прокатке квадратов 50×50 и 60×60 закругления в вершине применяются на заводе имени Петровского.

Угол в вершине калибра при мелких сортах делается 90° , при крупных — $90^\circ 30'—91^\circ$.

Отношения сторон подготовительного и чистового квадратов $\left(\frac{a'_2}{a_2}\right)$ лежат в пределах 1,06—1,23.

Среднее отношение по всем профилям получилось — 1,15.

Вытяжка в подготовительном квадрате при мелких профилях лежит в пределах 10—28%, а при крупных — 15—20%.

Эти величины могут считаться нормальными, хотя при интенсивной работе следует придерживаться верхних пределов.

Запас на уширение в квадрате колеблется в больших пределах, так как он зависит от формы предшествующего ему калибра вытяжной системы. Естественно, что если этим калибром является овал, то запас на уширение больше чем при ромбе.

ГЛАВА IX

ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДЛЯ ПРОВЕРКИ И РАСЧЕТА КАЛИБРОВОК

Большинство расчетов, связанных с калибровкой или проверкой калибровок простейших профилей, сводятся к простым арифметическим действиям. Только некоторые расчеты, как например, определение углов захвата, определение средних коэффициентов вытяжек связаны с более сложными вычислениями с тригонометрическими и логарифмическими величинами.

Для того, чтобы облегчить и сделать доступными эти вычисления и для работников, незнакомых с тригонометрическими и логарифмическими величинами, нами построен ряд номограмм, охватывающих все возможные расчеты по калибровке простейших профилей. С помощью этих номограмм все расчеты сводятся к простым нахождениям искомых величин по приведенным номограммам.

Ниже мы приводим основные наиболее необходимые в практике номограммы¹.

На фиг. 112 представлена номограмма для определения величины средней вытяжки.

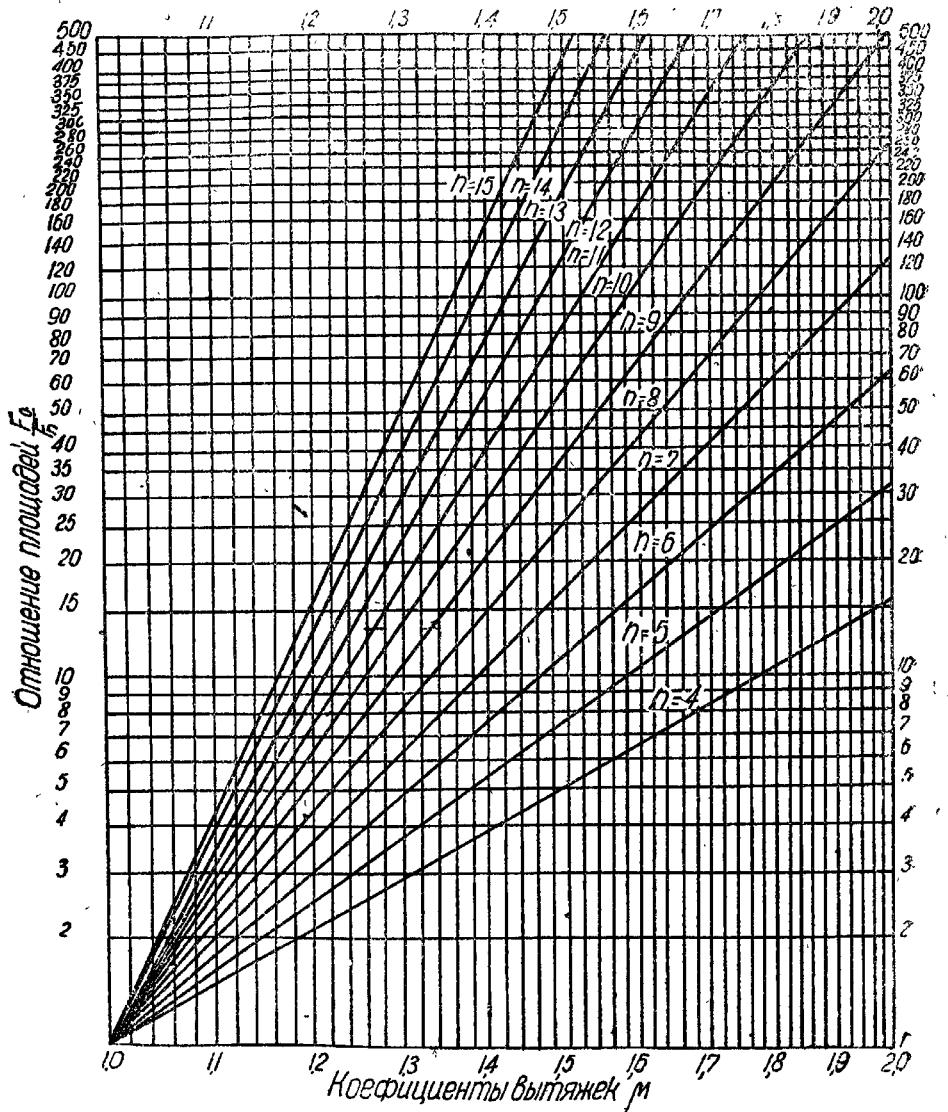
По оси ординат этой номограммы отложены отношения площади поперечного сечения исходного металла (слитка или заготовки) — F_0 к площади выпускаемого профиля F_n , по оси абсцисс отложены значения величин средних коэффициентов вытяжек. Для чисел пропусков в пределах 4—15 построены ряд прямых, проходящих через начало координат.

Величина μ_{cp} по данным n и отношению $\frac{F_0}{F_n}$ находится, если из точки пересечения горизонтальной прямой, соответствующей величине отношения $\frac{F_0}{F_n}$, с наклонной прямой, соответствующей данному n , опустить перпендикуляр на ось абсцисс. Подобным же способом по данным двум величинам при помощи этой номограммы определяется любая третья величина из формулы:

$$\mu_{cp} = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_n}}.$$

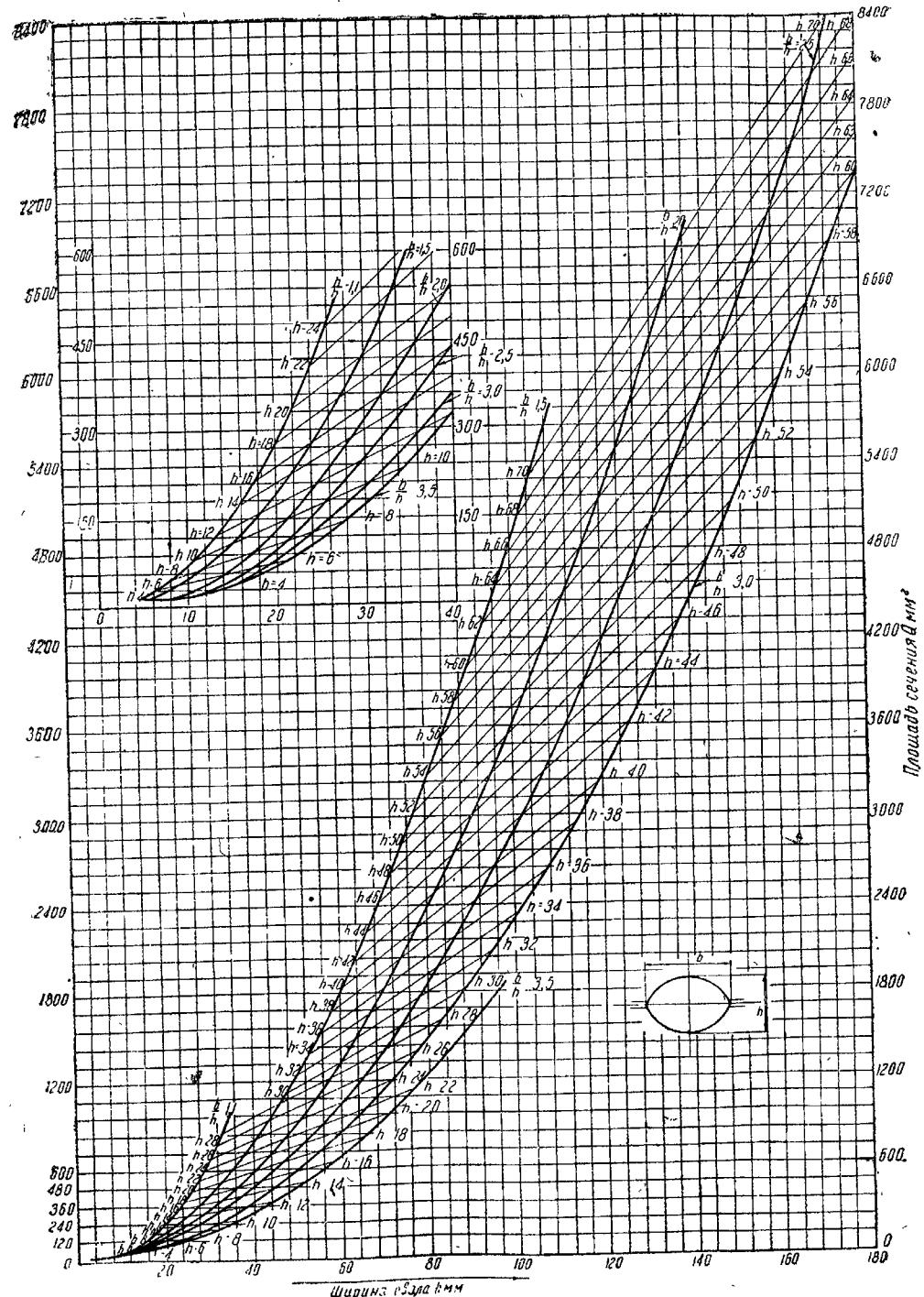
¹ Подробнее о графических методах расчета калибровок см. статью Н. Ф. Лашко и В. А. Писанко „Графические методы расчета калибровок“, журн. „Сталь“, 1936 г., № 7.

Номограмма, представленная на фиг. 113, служит для определения площадей и размеров овальных калибров. По оси абсцисс этой номограммы отложены величины большой оси овала (b), а по оси ординат — величины площадей овала. Для величин

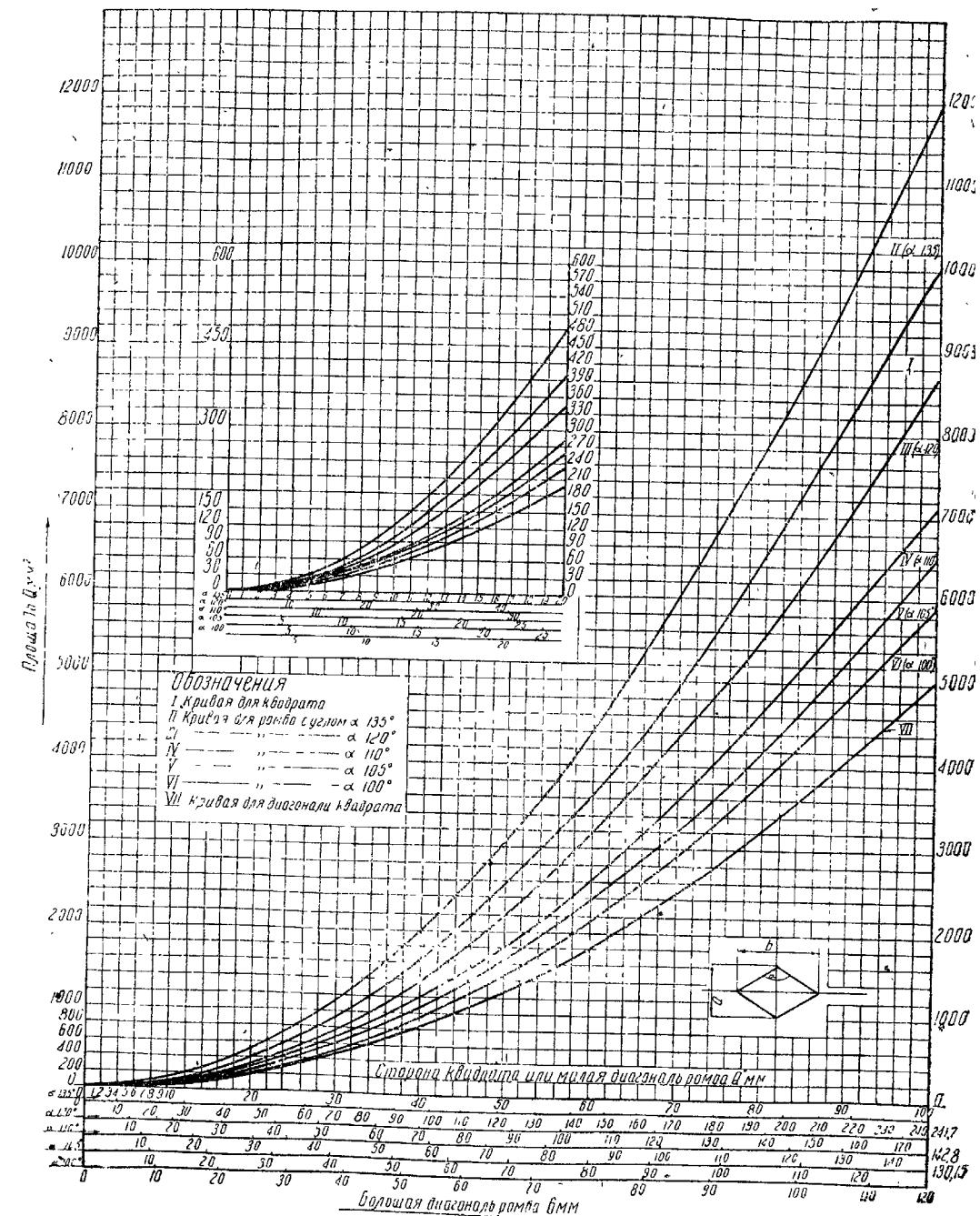


Фиг. 112. Номограмма для определения средних вытяжек и числа пропусков

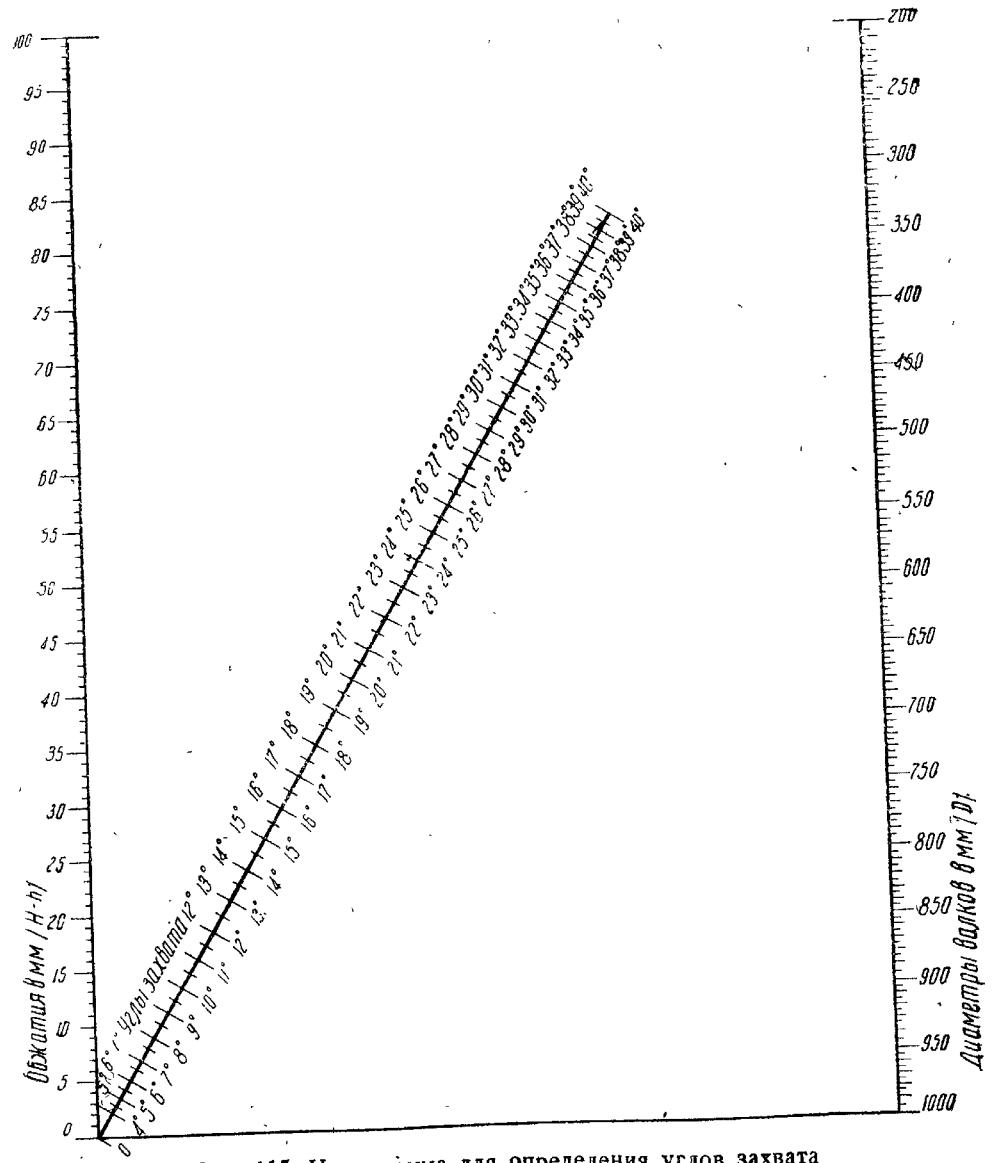
малой оси овалов (n) построен ряд наклонных прямых линий. Параболические кривые, проходящие через начало координат, выражают отношения осей овалов $\frac{b}{h}$.



Фиг. 113. Номограмма для определения площадей и размеров овалов



Эта номограмма дает возможность определить любые две величины из четырех — b , h , $\frac{b}{h}$, F — по двум известным.



На фиг. 114 представлена номограмма для определения площадей и размеров ромбов и квадратов.

Кривая I — дает возможность определения по площади квадрата F его сторону a или обратно — по стороне квадрата — его площадь.

Кривая VII—дает возможность определить по площади квадрата F —его диагональ a или обратно.

Кривые II, III, IV, V и VI—построены для ромбов с различными углами при вершине (α°), наиболее часто встречающимися в практике. Кривые дают возможность определить любые две величины из четырех— F , a , a , b —по двум известным.

Здесь по оси абсцисс отложены величины обоих диагоналей ромба, причем для величин малой диагонали служит одна постоянная верхняя шкала (служащая также и при определении стороны и диагонали квадрата), а для величин большой диагонали—ряд шкал для ромбов с различными углами. Пользование диаграммой весьма просто. Например, если даны величины F и a , то опуская перпендикуляр на ось абсцисс из точки пересечения кривой для a с горизонтальной прямой, проведенной через точку на оси ординат, соответствующую величине F , непосредственно находим величины b и a .

Номограмма для определения углов захвата представлена на фиг. 115.

В этой номограмме на двух вертикальных прямых отложены величины обжатия $H-h$ —в миллиметрах и диаметры валков (D) в миллиметрах, а на наклонной прямой—величины углов захвата. Угол захвата, определяемый по данным величинам $H-h$ и D , находится в точке пересечения наклонной прямой и прямой, соединяющей точки, соответствующие величинам $H-h$ и D на вертикальных шкалах. Практически определение углов захвата по этой номограмме производится путем наложения линейки на эти точки. В точке пересечения линейки с наклонной прямой читается значение угла захвата.

Пользование приведенными номограммами весьма несложно, при некотором навыке экономит значительное количество времени и облегчает расчетную и проверочную работу по калибровкам.

ГЛАВА X

ОЦЕНКА РАБОТЫ ОБЖИМНЫХ КЛЕТЕЙ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ ПО КОЭФИЦИЕНТАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЕНИ

1. Коэффициенты использования времени

Оценку пропускной способности клетей прокатных станов следует производить с качественной и количественной стороны.

В основу количественной оценки обычно берется часовая технически возможная производительность клетей, которая определяется для каждой линии в отдельности (обжим, черновая, чистовая). Для крупносортных и среднесортных станов, где обжимные, подготовительные и чистовые клети зачастую расположены в одну линию, технически возможная производительность обжимных клетей выделяется отдельно.

Технически возможная производительность или пропускная способность стана вычисляется по графикам нормальной работы стана по следующей формуле:

$$A = \frac{P}{T} \cdot 3600, \quad (1)$$

где A —технически возможная производительность в $t/\text{час}$,

P —вес слитка или заготовки в тоннах,

T —темп прокатки из графика нормальной работы стана в секундах.

Следует отметить, что в понятие технически возможной производительности входит производительность клетей, рассчитанная исходя из оптимальных условий работы стана в отношении времени прокатки, калибровки и исходных размеров прокатываемого металла.

При построении графика нормальной работы стана, машинное время по пропускам рассчитывается по наилучшей скорости прокатки при данном двигателе; паузы между пропусками следует взять минимальные, так как последние должны представлять подсобное время, необходимое только для передачи штуки из калибра в калибр, без учета задержек, влияющих на увеличение этих пауз, которые при нормальной работе стана должны отсутствовать. Размеры прокатываемой штуки и система калибровки должны быть подобраны оптимальные, обеспечивающие наибольшую пропускную способность прокатного стана.

Только при соблюдении указанных выше условий производительность, рассчитанная на основании графика нормальной

работы клетей, может быть названа технически возможной производительностью.

В своих расчетах технически возможной производительности и коэффициентов использования времени, приведенных ниже, мы исходим из фактических максимальных размеров слитков или заготовок при существующей калибровке.

В отношении указанных двух факторов (размеры слитков и калибровка), на заводах не все обстоит благополучно и на большинстве заводов и станов их оптимальными назвать нельзя.

Поэтому производительность, вычисленную нами, вернее было назвать "технически возможная производительность при существующих условиях".

Как видно из формулы (1), технически возможная пропускная способность клетей прокатных станов зависит от величин темпа прокатки и от веса прокатываемого слитка или заготовки.

Величина темпа прокатки, в свою очередь, находится в тесной зависимости от оборудования и организации работы на стане и от величин, составляющих темп прокатки, которыми, как известно, являются машинное и подсобное время.

Величины машинного времени по пропускам зависят:

- a) от начальной длины слитка или заготовки;
- b) от коэффициента вытяжек по пропускам;
- c) от скорости прокатки.

Величины подсобного времени зависят:

- a) от степени квалификации обслуживающего персонала;

б) от состояния калибровки (углы захвата, величины обжатия при прокатке, кантовки), а также от расположения калибров по ходу прокатки;

в) от степени оснащенности клетей механизмами, обслуживающими передачу штук из калибра в калибр.

При одинаковых начальных размерах и развесе слитка или заготовки и одинаковом конечном сечении прокатываемого профиля, лучшая работа клети или группы клетей будет характеризоваться меньшей затратой времени на прокатку, т. е. меньшим темпом прокатки.

Учитывая то обстоятельство, что наши прокатные станы работают на самых разнообразных размерах и развесах слитков, величина темпа прокатки не может служить характеристикой работы клетей с точки зрения их пропускной способности, так как последняя в значительной мере зависит от начальных и конечных размеров и веса прокатываемой штук. Почти как правило, большие развесы слитков, при больших величинах темпа прокатки, дают производительность большую, чем при меньшем темпе прокатки, характерном для меньшего развеса слитков, при одинаковом числе пропусков в первом и втором случае.

Показатели часовой технически возможной производительности также полностью не характеризуют работу клетей прокатных станов, так как таковые не отражают начальных и конеч-

ных размеров прокатываемых штук, не учитывают величин вытяжек и обжатий, а также и скоростей прокатки.

Очевидно, необходим такой показатель, который мог бы характеризовать работу клетей с точки зрения их пропускной способности с одновременной оценкой времени, затрачиваемого на прокатку, причем последняя сводилась бы к оценке темпа прокатки.

Если, например, сравниваемые клети или группы клетей работают на одинаковом числе пропусков при одних и тех же размерах прокатываемого профиля, то искомый нами показатель K получим из отношения:

$$K = \frac{T}{P},$$

где T — темп прокатки в секундах,

P — вес прокатываемой штуки в тоннах.

Приведенный выше коэффициент характеризует использование темпа прокатки на одну тонну прокатываемого металла.

Недостатком данного коэффициента является невозможность сравнения клетей прокатных станов, имеющих не одинаковое число пропусков.

Принимая, что число пропусков по той или другой группе сравниваемых станов (мелкосортные, среднесортные, крупносортные), будет находиться в зависимости от общей вытяжки, находим коэффициент использования темпа прокатки на один пропуск (K_1):

$$K_1 = \frac{K}{n} = \frac{T}{P \cdot n},$$

где n — число пропусков.

Недостатком данного коэффициента (K_1) является невозможность сравнения клетей, работающих с различными вытяжками, так как число пропусков находится в непосредственной зависимости от общей вытяжки только в том случае, если сравниваемые клети работают на одинаковых коэффициентах вытяжек или разница в величинах последних незначительна.

Если сравниваемые клети или группы клетей работают на разных общих вытяжках, то для сравнения необходим коэффициент, в выражение которой входила бы и общая вытяжка.

Такой коэффициент мы получим из следующего равенства:

$$K_t = \frac{T}{P \cdot F_0} = \frac{T}{P \cdot \mu^n} = \frac{T}{P \cdot q}, \quad (2)$$

где μ — средний коэффициент вытяжки;

q — общая вытяжка;

n — число пропусков;

F_0 — площадь начального сечения заготовки или слитка;

F_n — площадь сечения выпускаемого профиля.

Этот коэффициент (K_t) будем называть "коэффициент использования темпа прокатки", так как он характеризует использование

ние темпа прокатки, отнесенного на одну тонну прокатываемого металла и к единице вытяжки.

Он всесторонне отражает работу клетей прокатных станов. При заданном конечном сечении прокатываемой штуки, величина этого коэффициента будет зависеть от следующих факторов;

- а) скорости прокатки;
- б) начальных размеров прокатываемой штуки;
- в) интенсивности деформации по пропускам, т. е. от коэффициентов вытяжек;
- г) от степени механизации стана;
- д) степени квалификации персонала, обслуживающего стан.

Оптимальное сочетание указанных факторов и даст наилучшие (наименьшие) коэффициенты использования.

Для производства полного анализа величин темпа прокатки вводим следующие коэффициенты:

1. Коэффициент использования подсобного времени (K_p):

$$K_p = \frac{\sum t_p}{P \cdot q}, \quad (3)$$

где числитель представляет сумму подсобного времени по пропускам, определяющим темп прокатки. В эту величину входит время, необходимое на передачу штуки из калибра в калибр и время перехода обслуживающего персонала для прокатки следующей штуки, если последняя входит в темп прокатки.

2. Коэффициент использования машинного времени (K_m):

$$K_m = \frac{\sum t_m}{P \cdot q}, \quad (4)$$

где числитель — сумма машинного времени по пропускам, определяющим темп прокатки.

Коэффициенты 2, 3 и 4 будем называть „коэффициенты использования времени“.

Так как составляющими темп прокатки являются только подсобное и машинное время, то:

$$K_t = K_p + K_m.$$

Пользуясь этими коэффициентами и приступаем к сравнению работы обжимных клетей мелкосортных, среднесортных и крупносортных прокатных станов.

Сравнение и оценку работы обжимных клетей будем производить по типам их (см. классификацию обжимных клетей, глава I).

Каждому типу обжимной клети соответствует свой типовой график нормальной работы. В пределах одного типа разница в графике нормальной работы будет только в величинах, составляющих машинное и подсобное время, что очевидно будет зависеть от скоростей прокатки, начальной длины штуки, коэффициентов вытяжек, степени квалификации обслуживающего персонала и от числа пропусков.

Для всех приведенных ниже обжимов величины машинного времени по каждому пропуску определялись расчетным путем по формуле:

$$t_m = \frac{L}{\pi D n} \cdot \frac{60}{60},$$

где L — длина штуки по выходе из ручья;

$\frac{\pi D n}{60}$ — скорость прокатки в м/сек, где D — средний диаметр валков, n — число оборотов валков в минуту.

При подсчете длины прокатываемой штуки (L) после каждого пропуска мы исходили из веса заготовки и размеров выпускных сечений после каждого пропуска.

Последние при ограниченном уширении определялись по шаблонам, а при свободном уширении, встречающемся на обжимных клетях в ящичных калибрах — ширину сечения определяли, принимая уширение = 0,30 от обжатия ($H - h$).

Проверка указанного метода расчета на обжимных клетях станов 550, 420, 330 и 250 завода имени Петровского путем замеров длии прокатываемых штук после каждого пропуска не показала значительных расхождений в коэффициентах вытяжек, полученных указанным выше способом.

Подсобное время по пропускам замерялось хронометром. Правильное определение его величин представляет значительные трудности благодаря большой неравномерности величин хронометражного ряда, что объясняется множеством факторов, влияющих на эти величины, из которых главные:

1. Степень квалификации обслуживающего персонала.

2. Интенсивность прокатки, которая зависит от квалификации обслуживающего персонала, от работы нагревательных печей, работы по резке и уборке и от интенсивности работы предыдущих линий стана (бушира и обжима, если, например, хронометраж производится на чистовой линии), причем последние обстоятельства не всегда могут быть замечены и учтены.

До сего времени на заводах, при установлении величин подсобного времени, обработка рядов хронометражных замеров производилась методом средней арифметической или в лучшем случае улучшенной средней арифметической. Последний метод заключался в том, что из хронометражного ряда выбрасывались явно ненормальные, большие величины, а из оставшихся выводили среднюю арифметическую или же из хронометражного ряда выбрасывались все величины, имеющие отклонение от средней арифметической этого ряда больше чем на 25% в большую сторону, а из оставшихся величин выводили среднюю арифметическую.

На некоторых заводах при обработке хронометражных материалов стали пользоваться методом „моды“, т. е. из хронометражного ряда бралась наиболее часто повторяющаяся величина.

Правильное установление величин подсобного времени по пропускам имеет существенное значение, так как последние показывают непосредственное влияние на показатели технически возможной производительности клетей прокатных станов.

Если например, удельный вес подсобного времени в величине темпа прокатки будет составлять 50%, то увеличение подсобного времени от нормальных величин на 20% уже дает неправильность в показателях технически возможной производительности клетей на 10%.

Приведенные выше методы обработки хронометражных рядов не могут дать величин подсобного времени, которые можно было бы взять в основу при построении графиков нормальной работы клетей и определении их технически возможной производительности, так как при данном способе обработки не исключается возможность влияния больших величин ряда на средние.

Методом, дающим наибольшую точность при определении величин подсобного времени по пропускам, следует считать „моду“ от минимальных величин хронометражного ряда, который и был принят нами при построении графиков нормальной работы клетей.

2. Обжимные клети мелкосортных станов

Из десяти приведенных обжимных клетей мелкосортных станов (таблица 28), все относятся ко второй группе (т. е. все расположены отдельно от чистовых и подготовительных клетей) и типу В (см. схему классификации, фиг. 1).

Типовой график нормальной работы этих обжимов представлен на фиг. 116.

Темп прокатки (T) по этому графику определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_{n=2}^m t_n + \sum_{n=2}^m t_m + g,$$

где m и m_1 — предпоследние пропуски (см. фиг. 116);

t_n — подсобное время;

t_m — машинное время;

g — переход вальцовщика и крючечника для прокатки к следующей штуке.

Как видно из графика, переход вальцовщика и крючечника ко второму пропуску для прокатки следующей штуки производится после задачи предыдущей в пропуск m_1 . В первый пропуск последующая штука задается во время прокатки между вторым и m -ым пропусками первой штуки.

Краткая техническая характеристика обжимов и показатели их работы представлены в таблице 28.

На фиг. 117 представлена диаграмма коэффициентов использования времени, построенная на основании данных таблицы 28.

По оси абсцисс на этой диаграмме расположены обжимы по конечным сечениям выпускаемых заготовок в убывающем порядке.

По оси ординат — коэффициенты использования темпа прокатки, машинного и подсобного времени.

Следует иметь в виду, что работа на деформирование металла при прокатке будет тем больше, чем больше начальное сечение прокатываемой штуки при прочих равных условиях в отношении системы калибровки, числа пропусков, коэффициентов вытяжек и температуры прокатки.

Поэтому условия для получения высоких коэффициентов вытяжек лучше при небольших начальных и конечных размерах в поперечном сечении прокатываемой штуки. Этим и объясняется то обстоятельство, что обжимы среднесортных станов как правило работают на меньших коэффициентах вытяжек, чем мелкосортные.

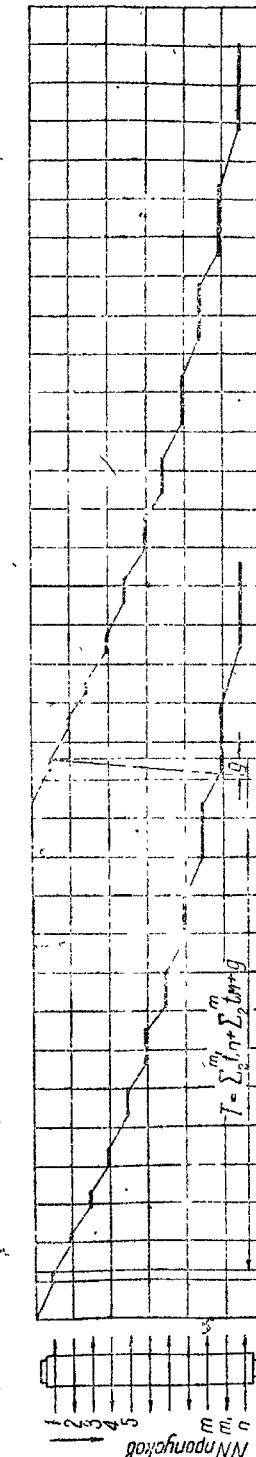
При анализе диаграммы коэффициентов использования времени, рассматриваемую группу обжимов разбиваем на две подгруппы, в зависимости от величин сечений выпускаемых заготовок.

В первую подгруппу входят обжимные клети, выпускающие заготовку сечением от 70×70 до 50×50 мм. Расположены они на диаграмме по величинам конечных сечений в убывающем порядке. Во вторую подгруппу — обжимные клети с конечным сечением заготовок стороной квадрата от 50 до 35 мм включительно. Начальные сечения исходного металла прокатки (слитков или заготовок) в сравнении с первой подгруппой, почти как правило меньшие.

В первую подгруппу входят обжимы заводов имени Кирова, имени Ворошилова, имени Дзержинского, имени Фрунзе и Орджоникидзенского (обжим 550 стан 360 при квадратной заготовке с 58).

Как видно из диаграммы, наилучшие (наименьшие) коэффициенты использования времени данной подгруппы имеют обжим 550 завода имени Дзержинского, что объясняется:

1. Хорошей оснащенностью обжима механизмами, обслуживающими передачу из калибра в калибр (с передней стороны — рольганг и кантовальные доски, а задней —



Фиг. 116. Типовой график нормальной работы обжимных клетей II группы—тип В

Таблица 28

Технически возможные производительности и коэффициенты использования времени обжимных станов II группы (по классификации)

Заводы и станы	Характеристика прокатываемого металла		Коэффициент использования времени (в часах на 1 тонну и 1 тонну на единицу длины)	Максимальные размеры заготовки (мм)	Максимальные размеры проката (мм)	Коэффициент использования времени (в часах на 1 тонну и 1 тонну на единицу длины)	Характеристика прокатываемого металла
	Без вытяжки (кг)	С вытяжкой (кг)					
Имени Кирова. Обжим 600 станы 280, 330	490	200	70	70 × 70	9	1,272	8,699
Имени Кирова. Обжим 600 станы 280, 330	490	200	65	65 × 65	9	1,287	9,683
Им. Ворошилова. Обжим 600 станы 250, 300	390	200	62	62 × 62	9	1,298	10,5
Им. Дзержинского. Обжим 550 станы 280, 330	310	180	63	63 × 63	9	1,265	8,212
Орджоникидзевский. Обжим 550 стана 360	265	185	48	48 × 48	9	1,35	14,854
"	360	265	185	50 × 50	9	1,337	13,698
"	360	265	185	58 × 58	9	1,294	10,174
"	360	280	190	38 × 38	9	1,413	22,438
Имени Сталина. Обжим 550 стана 350	230	150	46	46 × 46	11	1,24	10,633
"	350	250	125	46 × 46	7	1,337	7,621
"	350	250	125	46 × 46	7	1,337	7,621
"	350	250	125	46 × 46	11	1,24	10,633
"	350	250	125	46 × 46	7	1,337	7,621
"	350	250	125	46 × 46	7	1,337	7,621
"	350	250	125	46 × 46	9	1,335	13,517
Имени Петровского. Обжим 500 стана 330	170	140	140	39 × 39	9	1,381	18,246
"	425	250	160	160 × 160	35	1,35	35 × 35
Имени Фрунзе. Обжим 500 стана 305	190	140	140	180 × 180	54	1,54	9
"	305	190	180	180 × 180	58	1,253	9

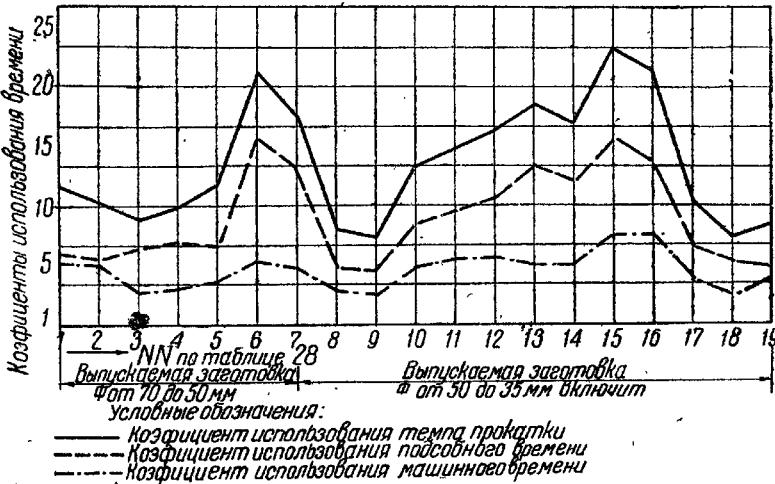
два крючка, работающие параллельно на крышевом подъемнике).

2. Хорошей скоростью прокатки до 2,5 м/сек.

3. Значительным весом прокатываемой штуки (310 кг по всаду).

На втором месте по коэффициентам использования времени стоит обжим 600 завода имени Ворошилова, что достигнуто благодаря следующим факторам:

1. Значительный развес прокатываемой заготовки (390 кг по всаду).



Фиг. 117. Диаграмма коэффициентов использования времени

2. Большой интенсивностью деформации. Средний коэффициент вытяжки (1,298) наибольший в данной подгруппе.

Здесь обращает на себя внимание худший, в сравнении с обжимами заводов имени Дзержинского, имени Кирова и Орджоникидзевский, коэффициент использования подсобного времени, что объясняется:

а) отсутствием кантовальных досок с передней стороны обжимной клети. Скорость прокатки мала — 1,95 м/сек, что не дает возможности применить для кантовки доски, так как при этой скорости штука из валков выходит медленно, не выбрасывается;

б) плохим захватом штуки по некоторым пропускам (особенно после кантовки с задней стороны), что объяснялось недостаточно совершенной калибровкой (большие верхние давления).

Кроме того во время наблюдений с задней стороны обжимной клети был только один крючок, что при значительном весе штуки (390 кг по всаду) затрудняло работу по передаче штуки из калибра в калибр.

На третьем месте по коэффициентам использования темпа прокатки стоит обжим 600 станов 330 и 280 завода имени Кирова.

Одним из основных факторов, оказывающим положительное влияние на величины коэффициентов использования темпа про-

катки на данном обжиме, следует считать большой развес заготовки, прокатываемой на этом обжиме (490 кг по всаду).

Этот развес наибольший из всех слитков и заготовок, прокатываемых на трио-обжимных клетях.

На последнем месте по коэффициентам использования темпа прокатки стоит обжим 500 завода имени Фрунзе, что объясняется малым (наименьшим в данной подгруппе) развесом прокатываемой штуки (190 кг по всаду).

При конечных сечениях заготовок, выпускаемых данным обжимом, квадрат 54 и квадрат 58, развес слитка в 190 кг следует считать слишком малым.

Во вторую подгруппу входят обжимы заводов имени Петровского, Орджоникидзенского и Сталинского.

Наилучшие коэффициенты использования темпа прокатки дают обжимы 550 (станов 360 и 280) Орджоникидзенского завода, что объясняется:

По обжиму стана 360:

1. Наибольшим в данной подгруппе развесом прокатываемой штуки (265 кг по всаду).

2. Хорошой механизацией обжима (с передней стороны — рольганг и кантовальные доски).

По обжиму стана 280:

1. Работой обжима с наибольшей в данной подгруппе интенсивностью деформации (средний коэффициент вытяжки 1,413).

2. Хорошой механизацией обжима (с передней стороны рольганг и кантовальные доски).

На втором месте по коэффициентам использования темпа прокатки стоят обжимы 425 (стан 250) и 500 (стан 330) завода имени Петровского, которые хорошо механизированы, но средние коэффициенты вытяжек (1,335 и 1,381) и развесы прокатываемых штук (170 и 160 кг) меньше, чем на обжимах Орджоникидзенского завода.

На последнем месте по коэффициентам использования темпа прокатки стоит обжим 500 стана 250 завода имени Сталина, хотя последний оборудован не хуже обжимов заводов имени Петровского и Орджоникидзенского.

Как видно из таблицы 28, данный обжим работает на разных развесах прокатываемых штук и дает заготовку стороной квадрата 46 за 11 и 7 пропусков в зависимости от начального сечения штуки.

При работе в 11 пропусков обращает на себя внимание малая интенсивность деформации.

При работе на 7 пропусков обращают на себя внимание слишком малые развесы прокатываемых штук (135 и 153 кг по всаду).

Наихудший, т. е. наибольший по величине коэффициент использования прокатки мы имеем при работе на заготовке наименьшего веса (135 кг по всаду).

Выводы

1. Хорошие показатели по коэффициентам использования темпов прокатки дают обжимы:

а) хорошо оборудованные механизмами по передаче штуки из калибра в калибр и работающие при хороших коэффициентах вытяжек при условии, если развес прокатываемой штуки не слишком мал. (Обжимы 500 станов 250 и 350 Орджоникидзенского завода, обжим 550 завода имени Дзержинского, обжимы 425 станов 250 и 550 стана 330 завода имени Петровского);

б) работающие на больших развесах слитков или заготовок (обжим 600 завода имени Кирова, обжим 600 завода имени Ворошилова).

2. Если обжим типа В дает несколько сечений выпускаемых заготовок и имеет общие калибры за исключением двух последних, в которых и придается нужное сечение; при этих условиях технически возможная производительность обжимной клети будет одинакова независимо от конечного сечения, так как последние два пропуска не входят в пропуски, которыми определяется темп прокатки.

Наилучшим обжимом по своему оборудованию, дающим возможность получить хорошие коэффициенты использования времени, является обжим 550 завода имени Дзержинского, оборудованный с передней стороны рольгангом и кантовальными досками, а с задней — двумя параллельно работающими крючками. Последние следует рекомендовать для слитков или заготовок развесом 300 кг и выше. Для слитков или заготовок развесом ниже 300 кг возможна работа с одним крючком (например, обжим 425 станов 250 и 500 стана 330 завода имени Петровского).

3. Наилучшим обжимом по коэффициентам вытяжек, оказывающим значительное влияние на коэффициенты использования темпа прокатки, является обжим 550 стана 280 Орджоникидзенского завода.

Обжимные клети среднесортных и крупносортных станов

Обжимные клети среднесортных и крупносортных станов имеют все три основных типа: А, В и С (см. схему классификации, фиг. 1).

Характеристика типовых графиков нормальной работы

Тип В. Из всех рассматриваемых обжимов к этому типу относятся только один обжим II группы завода имени Петровского.

Типовой график нормальной работы такого обжима представлен на фиг. 116.

Темп прокатки по этому графику определяется теми же составляющими, что и в обжимах мелкосортных станов данного типа.

Тип С. К этому типу относится также один обжим (I группы) стана 550 Орджоникидзенского завода.

Типовой график работы этого обжима представлен на фиг. 118.

Темп прокатки по этому графику в сравнении с графиком типа *B* отличается несколько большей растянутостью¹ в отношении перекрытий и определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_{\text{п}}^n t_{\text{п}} + \sum_{\text{м}}^m t_{\text{м}} + g.$$

Рассматриваемый нами обжим имеет четное число пропусков—10.

Как видно из графика (фиг. 118), переход вальцовщика для прокатки следующей штуки происходит с передней стороны после задачи предыдущей штуки в предпоследний калибр *m*₁.

Прокатка следующей штуки начинается с первого пропуска (включая подсобное время по подаче штуки к первому калибру).

В сравнении с типом *B* тип *C* менее эффективен, так как при прочих равных условиях дает большую величину темпа прокатки и меньшую производительность.

Тип A. К этому типу относятся 4 обжима заводов имени Петровского, Дзержинского, Ворошилова и Сталина.

Типовой график нормальной работы этих обжимов представлен на фиг. 119.

Темп прокатки (*T*) по этому графику определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_{\text{п}}^n t_{\text{п}} + \sum_{\text{м}}^m t_{\text{м}}.$$

Переход персонала, обслуживающего передачу из калибра в калибр для прокатки следующей штуки, производится только после задачи предыдущей в последний пропуск *n*, причем прокатка следующей штуки может начаться только после выхода предыдущей из последнего пропуска.

В сравнении с типами *B* и *C* — менее эффективен, так как при прочих равных условиях дает большую величину темпа прокатки и меньшую производительность. Объясняется это тем, что наличие подъемных столов не позволяет работать с перекрытиями.

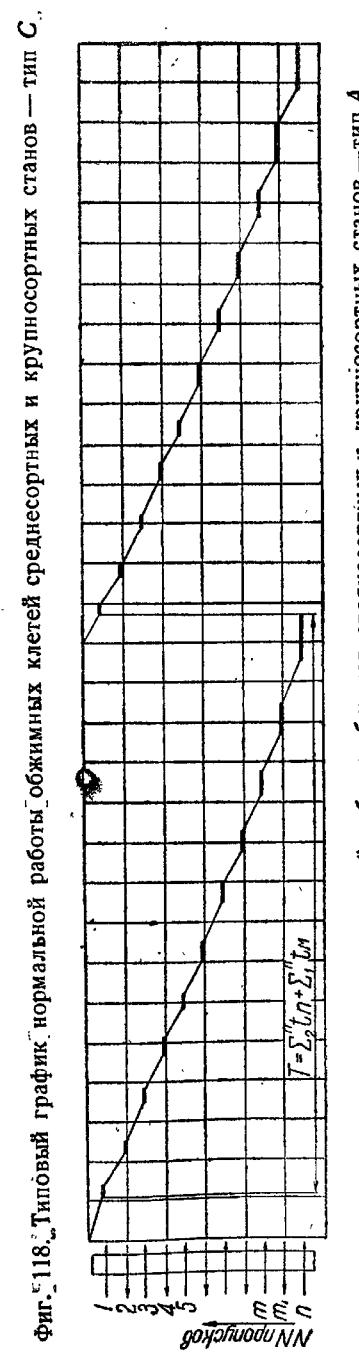
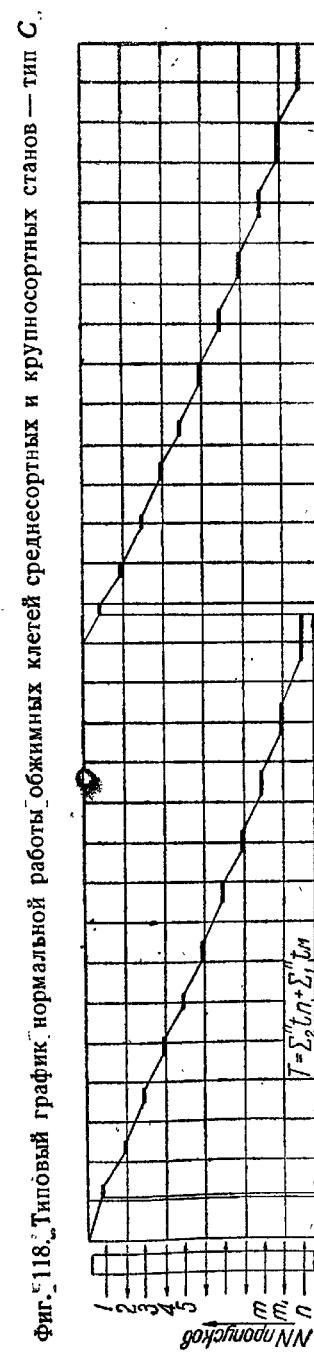
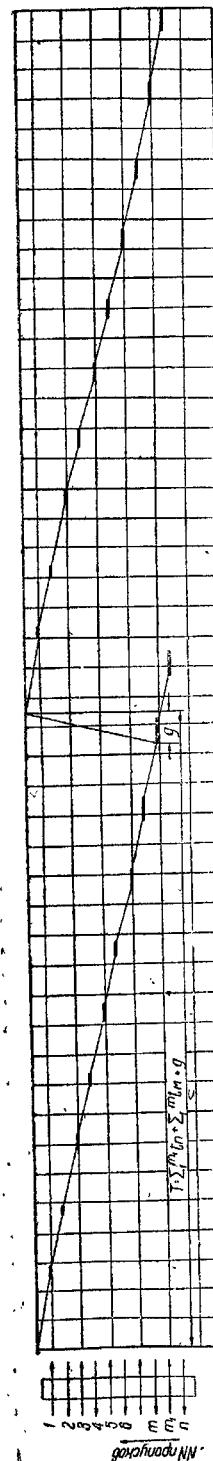
Тип A₁ (разновидность типа *A*). Из рассматриваемой группы обжимов к этому типу относится только один обжим 585 завода имени Фрунзе, график работы которого в силу конкретных условий (невозможность подачи следующего слитка на тележке к стану до конца прокатки предыдущего) отличается в отношении темпа прокатки еще большей растянутостью.

Типовой график нормальной работы этого обжима представлен на фиг. 120.

Темп прокатки по этому графику определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_{\text{п}}^n t_{\text{п}} + \sum_{\text{м}}^m t_{\text{м}}.$$

¹ Что объясняется плохой механизацией обжимов данного типа по передаче штуки из калибра в калибр (отсутствие рольгантов и кантовальных приспособлений с передней стороны).



Фиг. 118. Типовой график нормальной работы обжимов среднесортных и крупносортных станов — тип *C*.

Фиг. 119. Типовой график нормальной работы обжимов среднесортных и крупносортных станов — тип *A*.

Фиг. 120. Типовой график нормальной работы крупносортных обжимов — тип *A₁* (разновидность типа *A*).

Как видно из графика, начало задачи слитка в 1 пропуск происходит только после окончания прокатки предыдущей.

Данный тип обжима представляет собой разновидность типа А, который по своему оборудованию ничем не отличается от типа А₁, но так как выдача штуки после окончания прокатки происходит на переднюю сторону, что несколько задерживает подачу следующего слитка к 1 калибру, то график данного типа по своей структуре несколько отличается от типа А.

Данный график по своему типу следует считать самым неэффективным из всех рассмотренных выше типов.

В схему классификации этот тип не вошел, так как не является характерным для обжимов среднесортных и крупносортных станов.

По приведенному выше анализу типовых графиков работы обжимов необходимо отдать преимущество типу В, как наиболее эффективному, при равных условиях в отношении калибровки и развеса прокатываемых слитков.

Следует иметь в виду, что конкретные показатели работы обжимов (коэффициенты использования времени), не всегда совпадут с данным выводом. Это объясняется отсутствием постоянства условий при сравнении по указанным выше факторам (калибровка, развесы слитков и т. д.), которые оказывают значительное влияние на производительность и коэффициенты использования времени.

3. Анализ работы обжимов среднесортных и крупносортных станов

Краткая техническая характеристика, данные о технически возможной производительности и коэффициентам использования времени по рассматриваемым обжимам представлены в таблице 29.

Диаграмма коэффициентов использования времени, построенная на основании данных таблицы 29, представлена на фиг. 121.

Наилучшие коэффициенты использования времени дает обжим 640 завода им. Дзержинского типа А. Это достигнуто благодаря следующим факторам:

1. Хорошой работой подъемных столов (хорошая скорость подъема и опускания).

2. Значительным развесом прокатываемых заготовок (310 и 280 кг по всаду).

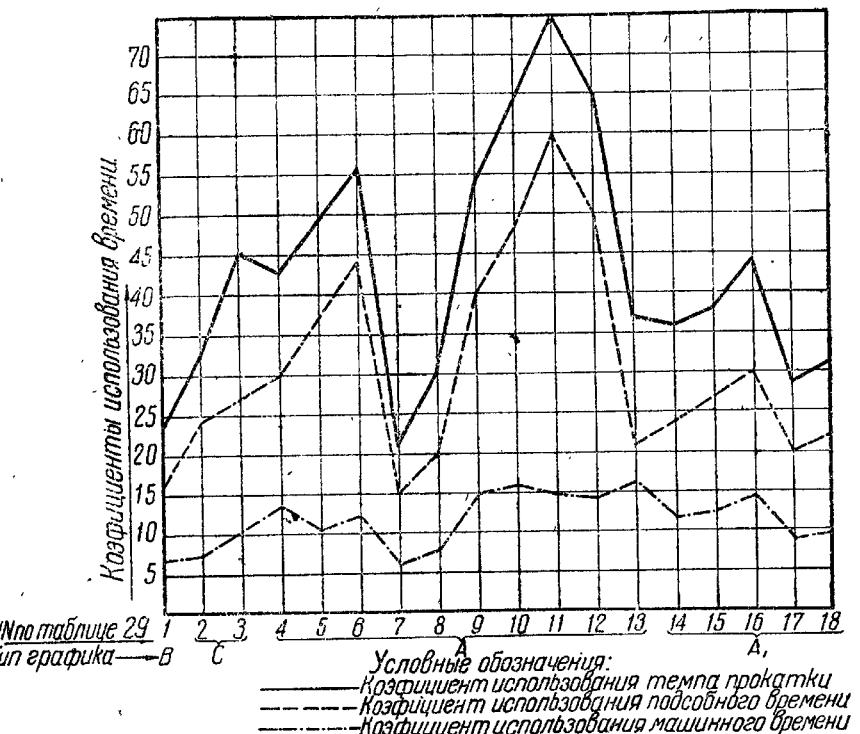
На втором месте по коэффициентам использования времени стоит обжим стана 420 (тип В) завода имени Петровского, что объясняется

1. Работой обжима с наибольшей в рассматриваемой группе интенсивностью деформации (средний коэффициент вытяжки 1,23).

2. Хорошой механизацией обжима (с передней стороны — рольганг и кантовальные доски).

Этот обжим, по типу графика (тип В) должен бы быть на

первом месте среди рассматриваемой группы обжимов крупносортных и среднесортных станов. Основным отрицательным фактором, сказавшимся на ухудшении коэффициентов использования времени, следует считать малый развес слитков (170 кг), наименьший в рассматриваемой группе обжимов. Очевидно, что при работе данного обжима по графику типа А при данных условиях коэффициент использования времени был бы значительно худшим.



Фиг. 121. Диаграмма коэффициентов использования времени

На третьем месте по коэффициентам использования времени стоит обжим 585 завода имени Фрунзе (тип А₁), при прокатке из слитков весом 450 кг. Это достигнуто только благодаря большому (наибольшему в рассматриваемой группе обжимов) развесу слитков, так как интенсивность деформации при прокатке на данном обжиме невысокая (средние коэффициенты вытяжек 1,114 и 1,102), а тип графика по своей структуре самый неблагоприятный из всех рассматриваемых выше типов.

Наихудшие коэффициенты использования темпа прокатки имеет обжим 520 Сталинского завода при прокатке из заготовок развесом 185 и 221 кг.

Здесь обращает на себя внимание высокий (наибольший в рассматриваемой группе) коэффициент использования подсоб-

Таблица 29

Технически возможная производительность и коэффициенты использования времени для обжимных клетей

Заводы и станы		Характеристика прокатывае- мого металла										
		веса (кг) на единицу рабочей поверхности	коэффициенты изменения веса									
II	B	И имени Петровского. Обжим 500 стан 420	170	140 × 140	57 × 57	9 1, 23	6,096	29,41	24,47	25,0	23,60	16,64
II	C	Орджоникидзенский. Обжим 550 стан 550	265	185 × 185	83 × 83	10 1, 14	4,96	47,2	42,7	22,34	32,49	24,88
II	A	И имени Петровского. Обжим 550 стан 550	280	180 × 180	83 × 83	10 1, 14	3,909	6,12	42,02	20,14	45,73	35,60
II	A	И имени Дзержинского. Обжим 640 стан 640	280	180 × 180	81 × 89	8 1, 104	2,196	31,89	29,94	33,66	48,69	38,06
II	A	И имени Сталина. Обжим 520 стан 400	234	150 × 150	54 × 107	11 1, 12	2,835	24,43	22,20	43,79	29,0	21,14
II	A	И имени Ворошилова. Обжим 500 стан 500	235	155 × 155	72 × 72	11 1, 168	2,717	43,09	38,97	20,42	64,40	50,51
I	A	И имени Фрунзе. Обжим 585 стан 585	330	225 × 225	90 × 108	10 1, 157	4,324	51,47	51,47	23,07	36,06	24,33
I	A	" " 585 " 585 " 585 " 585 " 585 "	330	185 × 185	90 × 115	10 1, 150	4,060	51,30	51,30	23,17	38,28	25,91
I	A	" " 585 " 585 " 585 " 585 " 585 "	330	225 × 225	90 × 135	10 1, 083	3,459	51,00	51,00	23,30	44,69	30,40
I	A	" " 585 " 585 " 585 " 585 " 585 "	450	275 × 245	84 × 153	10 1, 114	4,670	59,39	59,39	27,27	28,26	19,59
I	A	" " 585 " 585 " 585 " 585 " 585 "	450	275 × 245	84 × 170	10 1, 102	4,203	58,7	58,7	27,59	31,04	21,75

ного времени. Данное обстоятельство говорит о большой затрате подсобного времени на передачу штуки из калибра в калибр, что очевидно объясняется плохой работой подъемного стола.

Небольшие развесы заготовок (185 и 221 кг)⁴ также сказались на коэффициентах использования времени в сторону их повышения.

Выводы по обжимам

1. Из всех рассмотренных типов обжимов среднесортных и крупносортных станов наилучший график нормальной работы имеют обжимы типа *B*, работающие с перекрытиями.

2. Обжимы типов *C* и *A* по структуре своих графиков нормальной работы в сравнении с типом *B* менее эффективны:

При типе *C* — благодаря отсутствию механизмов с передней стороны для передачи штуки из калибра в калибр (рольганги и кантовальные приспособления), что ограничивает возможность перекрытий, увеличиваются с передней стороны величины подсобного времени по пропускам, а все вместе сказывается на темпе прокатки в сторону его увеличения.

Тип *A* — по структуре графика нормальной работы еще менее эффективен, чем тип *C*. Это объясняется наличием подъемных столов, не позволяющих работать с перекрытиями. Кроме того при малых скоростях работы подъемных столов (подъема и опускания), подсобное время прокатки по пропускам увеличивается. Как первое, так и второе сказывается на темпе прокатки в сторону его увеличения.

Учитывая, что подъемные столы при трио-обжимных клетях (для сортовых станов) не дают возможности работать с перекрытиями (т. е. не дают возможности прокатывать одновременно больше одного слитка или заготовки) и, таким образом, тормозят повышению производительности станов, съезд прокатчиков, состоявшийся в декабре 1936 г. в г. Харькове, принял постановление (по предложению проф. А. П. Чекмарева) приступить к опытной постройке специальных подъемных столов из двух самостоятельных секций, позволяющих одновременно прокатывать две заготовки (литка).

3. Большие колебания в показателях коэффициентов использования времени даже в пределах однородных типов обжимов (см. диаграмму фиг. 121) в основном объясняются большим разнообразием в отношении размеров и веса исходного металла прокатки и коэффициентов вытяжек, с которыми работает тот или иной обжим; последние же оказывают большое влияние на величины коэффициентов использования времени.

Это лишний раз подтверждает, что в отношении размеров и веса исходного металла прокатки (литков или заготовок) и использования возможности работы с хорошими коэффициентами вытяжек, по обследуемым обжимам прокатных станов далеко не все обстоит благополучно. Последний вывод относится также и к обжимам мелкосортных станов.

ГЛАВА XI

ОЦЕНКА РАБОТЫ ЧЕРНОВЫХ И ЧИСТОВЫХ ЛИНИЙ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ ПО КОЭФИЦИЕНТАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЕНИ

Оценку работы черновых и чистовых клетей производим, исходя из принципа расположения их и рода оборудования. Для каждой линии работающих клетей, вне зависимости от других, строим график нормальной работы, определяем тип этого графика; технически возможную производительность клетей и коэффициенты использования времени. Последний показатель и берем в основу при анализе работы черновых и чистовых линий сортопрокатных станов.

В тех случаях, когда чистовые клети расположены вместе с черновыми, строим общий график работы этих клетей. Анализ работы клетей этого типа расположения производим вместе с чистовыми линиями.

1. Черновые линии (бушеры) мелкосортных прокатных станов

Из анализируемых девятнадцати сортопрокатных станов черновые клети, расположенные в отдельные линии, имеются только на шести мелкосортных станах, которые и рассматриваются в настоящем разделе.

Классификация черновых линий мелкосортных станов

В основу приведенной ниже классификации черновых линий берем следующие факторы:

- род оборудования линии механизмами, обслуживающими передачу штуки из калибра в калибр;
- принцип распределения пропусков по клетям.

Рассматриваемые ниже черновые линии шести мелкосортных станов можно разбить на три типа: A, B, C, каждый из которых имеет характерный для него типовой график нормальной работы.

Тип A. К этому типу принадлежат черновые линии, состоящие из одной или двух клетей. Передача штуки из ручья в ручей в первых трех пропусках производится вручную при помощи подвесных крючков. В последующих — вручную или при помощи обводки.

Схемы прокатки и расстановка штата на черновых линиях данного типа представлены на фиг. 122.

Тип B. Черновые линии, состоящие из двух клетей, имеют три пропуска. В первый и второй ручьи штука задается вручную, из второго в третий — при помощи обводки. Схема прокатки и расстановка штата на черновых линиях данного типа представлены на фиг. 123.

Тип C. Черновые линии, состоящие из двух клетей, имеют три пропуска в одной клети или пять — в двух; с передней и задней стороны оборудованы автоматическими обводками „Шепфа”; передача из клети в клеть по обводке с задней стороны. Схема прокатки на черновых линиях этого типа представлена на фиг. 124.

Характеристика типовых графиков нормальной работы черновых линий

Тип C. Из всех обследованных бушеров к этому типу принадлежит бушер 450 стана 280 завода имени Дзержинского.

Типовой график нормальной работы этого бушера представлен на фиг. 125.

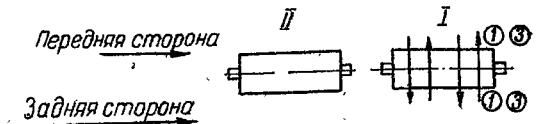
Темп прокатки (T) по этому графику определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_{n=1}^3 t_n + \sum_{m=1}^3 t_m,$$

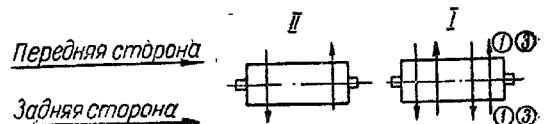
где t_n — подсобное время;

t_m — машинное время.

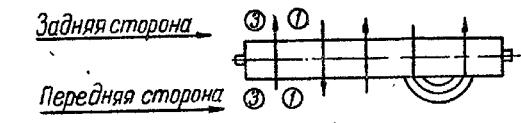
Черновая линия (бушер) стана 300 завода имени Ворошилова:
для прокатки круглого и полосового железа
исключая тонкие сорта последнего



для прокатки тонких сортов полосового железа



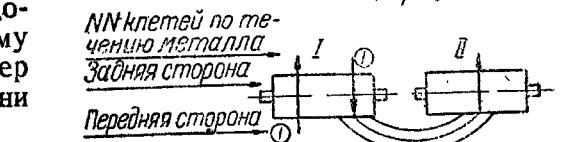
Черновая линия (бушер) стана 280 завода имени Кирова:
для прокатки всех профилей железа:



Условные обозначения: ① - вальцовщик
② - крючечник

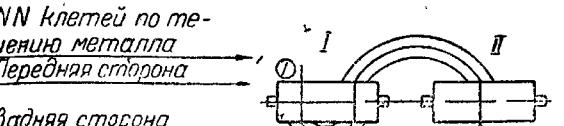
Фиг. 122. Схема прокатки и расстановка штата на черновых линиях (бушерах) типа А

Черновая линия стана 250 завода имени Петровского



Фиг. 123. Схема прокатки и расстановка штата на черновых линиях (бушерах) типа В

Черновая линия стана 280 завода имени Дзержинского



Фиг. 124. Схема прокатки и расстановка штата на черновых линиях (бушерах) типа С

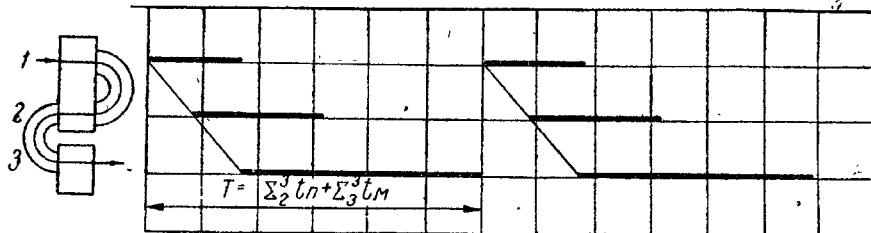
Этот тип бушера выгодно отличается от двух последующих типов (*A* и *B*), так как наличие автоматической задачи с обеих сторон дает наилучший график прокатки. Как видно из графика (фиг. 125), прокатка заданной штуки при нормальной работе черновой линии производится непрерывно, т. е. одновременно во всех трех пропусках.

Тип В. К этому типу относятся бушеры: 390 стана 280 Орджоникидзенского завода и 325 стана 250 завода имени Петровского.

Типовой график нормальной работы этих бушеров представлен на фиг. 126.

Темп прокатки по этому графику в сравнении с графиком типа *C* отличается несколько большей растянутостью, хотя и определяется теми же составляющими, что и при типе *C*, т. е.

$$T = \sum_2^3 t_n + \sum_3^3 t_m.$$



Фиг. 125. Типовой график нормальной работы черновых линий (бушеров) мелкосортных станов — тип *C*

В сравнении с типом *C* — менее эффективен, так как при прочих равных условиях дает большую величину темпа прокатки и меньшую производительность.

Тип А. К этому типу относятся бушеры — 406 стана 300 завода имени Ворошилова, 450 стана 280 завода имени Кирова, 325 стана 250 Сталинского завода¹.

Состоят они из одной или двух клетей и имеют от трех до шести пропусков. Передача штуки из ручья в ручей производится вручную.

График нормальной работы черновой линии данного типа представлен на фиг. 127. Темп прокатки по этому графику определяется следующими составляющими:

$$T = \sum_1^3 t_n + \sum_1^3 t_m + g,$$

где *g* — время на переход обслуживающего персонала для прокатки следующей штуки.

Как видно из графика (фиг. 127), применение обводок, характерное для типов *C* и *B*, здесь отсутствует, за исключением черновой линии стана 280 завода имени Кирова, где имеется

¹ В настоящее время бушер стана 250 завода имени Сталина, в связи с применением автоматического аппарата, относится по графику к типу *B*.

обводный аппарат на двух последних пропусках (от 4 к 5). На графике это показано пунктиром. Следует отметить, что с точки зрения пропускной способности клетей, согласно графика (фиг. 127), последнее обстоятельство преимуществ не дает перед бушерами этого же типа, не имеющими обводных аппаратов, так как последние два пропуска не входят в темп прокатки.

Из трех приведенных выше типов черновых линий, тип *A* наименее эффективен, так как при прочих равных условиях дает наибольшую величину темпа прокатки и наименьшую производительность.

Приведенная выше характеристика типовых графиков нормальной работы черновых линий показывает преимущество типа *C*, как наиболее эффективного при прочих равных условиях (калибровка, число пропусков, начальное и конечное сечение прокатываемых заготовок).

Анализ работы черновых линий мелкосортных станов

Краткая техническая характеристика, данные о технически возможной производительности и коэффициентах использования времени¹ по обследуемым черновым линиям представлены:

- в таблице 30 — для черновых линий типа *C*;
- в таблице 31 — для черновых линий типа *B*;
- в таблице 32 — для черновых линий типа *A*;

¹ Коэффициенты использования времени подсчитаны, исходя из nominalного веса заготовки (по данным IV кв. 1935 г.). Это же относится и к чистовым клетям.

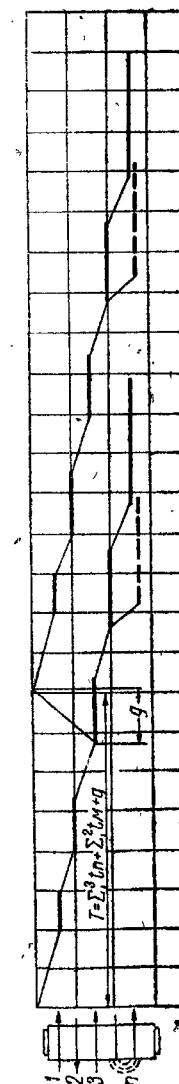
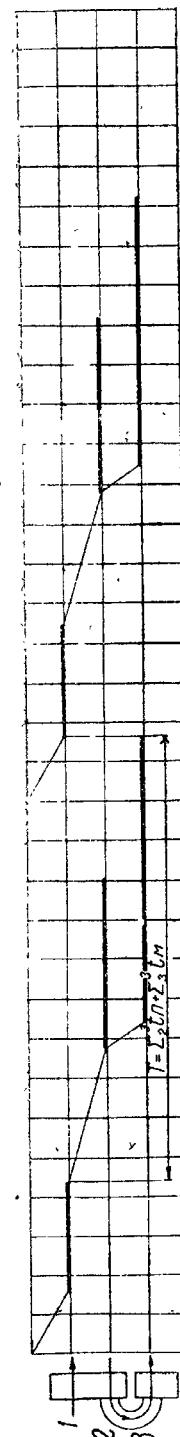


Таблица 30

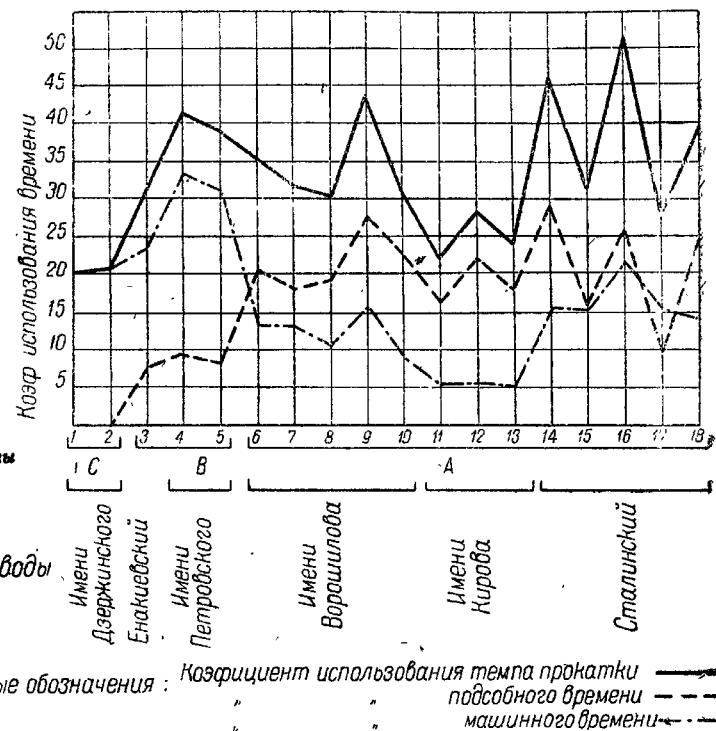
Черновые клети мелкосортных станов, работающие по графикам типа С

Завод имени Дзержинского	
Диаметр валков черновой линии и обороты в минутах	
Черновая линия стана 280 $D = 450 \text{ мм}, n = 145 \text{ об/мин}$	
92	61,5
Овал 16×52	Овал 16×52
3	3
5,08	5,08
1,72	1,72
9,56	6,65
31,2	30,0
20,4	21,3
0,0	0,0
20,4	21,3
1	2

Таблица 31

Черновые клети мелкосортных станов, работающие по графикам типа В

Орджоникидзевский завод		Завод имени Петровского	
Диаметр и обороты валков черновой линии			
Черновая линия стана 280 $D = 390 \text{ мм}, n = 215 \text{ об/мин}$		Черновая линия стана 250 $D = 325 \text{ мм}, n = 292 \text{ об/мин}$	
190	160	160	160
Сеч. овал $36 \times 11,98$	Ромб 21×37	Ромб $21,0 \times 36$	Ромб $21,0 \times 36$
3	3	3	3
4,36	2,62	3,06	3,06
1,59	1,38	1,45	1,45
26,6	17,58	19,27	19,27
23,1	29,5	26,8	26,8
31,6	42,00	39,3	39,3
8	9,00	8,2	8,2
23,6	33,00	31,1	31,1
3	4	5	5



Фиг. 128.5 Диаграмма коэффициентов использования времени для черновых линий (бушеров) мелкосортных станов

непрерывность прокатки при нормальной работе черновой линии, благодаря чему коэффициент использования подсобного времени равен нулю, т. е.

$$K_p = 0$$

$$K_t = K_m,$$

где K_p — коэффициент использования подсобного времени;

K_t — " темпа прокатки;

K_m — " машинного времени.

б) Работой черновой линии с наибольшей интенсивностью прокатки (средний коэффициент вытяжки — 1,72).

На втором месте по коэффициентам использования времени стоит черновая линия 450 стана 280 завода имени Кирова, что

Таблица 32

Черновые клети мелкосортных станов, работающие по графикам типа А

	Черновая линия стане 300 $D = 406 \text{ мм}, n = 110 \text{ об./мин}$		Диаметр и обороты валков черновой линии		Черновая линия стана 250 $D = 375 \text{ мм}, n = 225 \text{ об./мин}$	
	Завод имени Ворошилова	Завод имени Кирова	Черновая линия стана 280 $D = 450 \text{ мм}, n = 130 \text{ об./мин}$	Черновая линия стана 250 $D = 375 \text{ мм}, n = 225 \text{ об./мин}$	Черновая линия стана 250 $D = 375 \text{ мм}, n = 225 \text{ об./мин}$	Черновая линия стана 250 $D = 375 \text{ мм}, n = 225 \text{ об./мин}$
Номинальный вес одной штуки в кг (без учета отходов)	118	118	86	76	56	67,5
Конечное сечение	квадрат 44,5×41,3	квадрат 40×41	квадрат 36,5×36,5	квадрат 41,3×41,3	квадрат 31,8×31,8	квадрат 19,5×19,5
Количество пропусков	4	4	4	4	5	7
Общая вытяжка	3,85	4,42	5,72	4,48	7,50	6,90
Средний коэффициент вытяжки	1,40	1,40	1,55	1,45	1,40	1,43
Темп прокатки в секундах	15,58	16,48	14,88	14,6	13,36	10,21
Технически возможная производительность в час на голдного (при существующих условиях) металла	24,5	23,2	18,7	17,1	13,6	21,9
Коэффициент использования темпа прокатки	34,3	31,6	30,30	43,3	31,8	21,5
Коэффициент использования подсобного времени	20,9	18,2	19,3	28,2	22,6	16,1
Коэффициент использования машинного времени	13,4	13,4	11,0	15,1	9,2	5,4
Номера на диаграмме ковриффициентов использования времени (фиг. 128)	6	7	8	9	10	11

достигнуто за счет низких (наименьших в рассматриваемой группе) коэффициентов использования подсобного времени.

Наихудшие коэффициенты использования темпа прокатки дает черновая линия стана 250 Сталинского завода при малых развесах заготовок.

В данном случае для нахождения причин плохих показателей по коэффициентам использования времени следует обратить внимание на количество пропусков при прокатке по графику данного типа.

Исходя из графиков нормальной работы на черновых линиях типа А, темп прокатки при числе пропусков от трех и более определяется следующими составляющими:

$$T = \sum t_n + \sum t_m + g.$$

Ясно, что при работе бушеров данного типа с большим числом пропусков производительность и темп прокатки, независимо от числа их (в указанных выше пределах), не изменится при условий, если первые три пропуска имеют одинаковую калибровку и одинаковые начальные размеры заготовок.

Отсюда можно сделать вывод, что черновые линии типа А при разном числе пропусков, но при одинаковых вытяжках в первых трех пропусках и одинаковых начальных размерах заготовок лучшие коэффициенты использования времени дадут при большем числе пропусков.

Объясняется это тем, что большее число пропусков даст большую вытяжку, которая, входя в знаменатель равенства, определяющего коэффициент использования темпа прокатки, отразится на коэффициентах использования времени в сторону их уменьшения (см. главу 10).

2. Чистовые линии крупносортных, среднесортных и мелкосортных прокатных станов

До сего времени при классификации чистовых клетей сортопрокатных станов различали:

а) в зависимости от конечного сечения прокатываемого профиля (крупносортные, среднесортные и мелкосортные);

б) в зависимости от расположения клетей: 1) расположенные в одну линию с подготовительными клетями (расположение, характерное для крупносортных и среднесортных станов), 2) расположенные отдельно от подготовительных клетей (расположение, характерное для мелкосортных станов).

При анализе работы чистовых клетей прокатных станов мы классифицируем их в зависимости от схемы прокатки, причем последняя для чистовой линии может изменяться в зависимости от прокатываемого профиля. Тип графика нормальной работы чистовых линий прокатных станов будет зависеть от трех основных факторов:

а) от степени механизации чистовых линий;

- б) от системы распределения пропусков по клетям;
- в) от способа расстановки рабочей силы.

Следует заметить, что при построении графиков нормальной работы анализируемых нами черновых и чистовых линий по указанным выше трем факторам, мы брали условия, существующие в период первого квартала 1936 г. и поэтому установленную нами технически возможную производительность по линиям клетей называем „технически возможной производительностью при существующих условиях“.

На чистовых клетях сортопрокатных станов, где штука при прокатке проходит до семи клетей (мелкосортные станы), основное влияние на структуру графика нормальной работы клетей оказывает система распределения пропусков по клетям.

На мелкосортных станах наилучшим видом распределения пропусков с точки зрения производительности является прокатка по одному пропуску в каждой клети. В этом случае темп прокатки определяется последним пропуском, что при хорошей организации работы на стане и хорошем захвате металла валками обеспечивает почти непрерывную прокатку в последнем отделочном пропуске.

Расположение черновых клетей на одной линии с чистовыми обычно приводит к тому, что темп прокатки определяется клетью, имеющей наибольшее число пропусков, что при нормальной работе клетей нарушает непрерывность последнего пропуска и снижает производительность линии.

Что же касается крупносортных и среднесортных станов, где нередко мы имеем только одну линию и где наличие клетей не позволяет иметь по одному пропуску на каждую из них,— здесь темп прокатки определяется клетью, имеющей наибольшее время прокатки (машинное и подсобное). Эта клеть обычно имеет наибольшее число пропусков.

В расчетах калибровки при наличии определенного числа пропусков, которое необходимо распределить по клетям, наилучшим распределением будет такое, когда суммы времени (машинного и подсобного), затрачиваемые на прокатку, в каждой из клетей будут равны между собой или же разница в них будет минимальная.

Фактически, при распределении пропусков по клетям, имеющихся возможностях не всегда придерживаются этого правила, что приводит к снижению производительности прокатных станов. В этом мы убедимся при анализе работы чистовых линий прокатных станов.

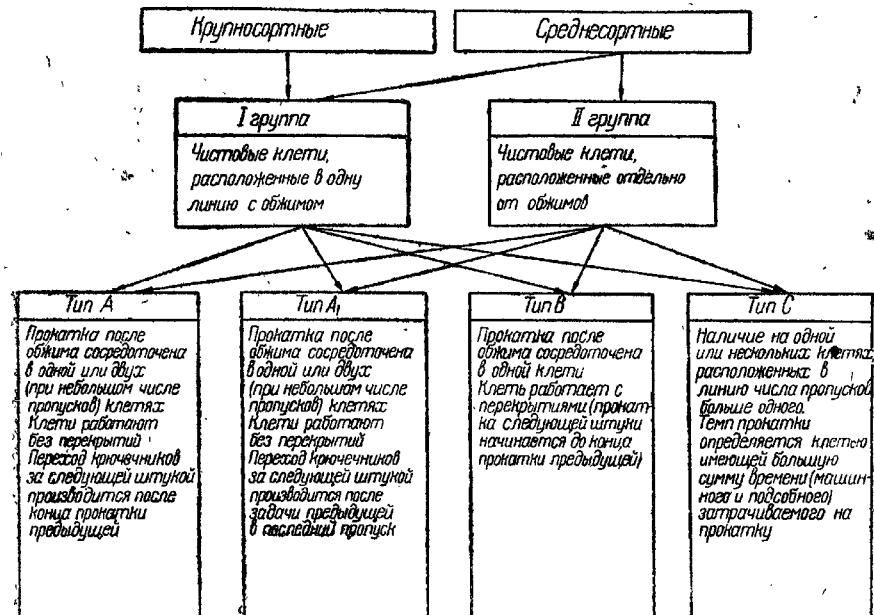
Классификация чистовых линий и характеристика типовых графиков работы чистовых линий

Материалы, полученные в результате обследования чистовых клетей сортопрокатных станов, дают возможность установить пять основных типов графиков нормальной работы чистовых клетей.

Схемы классификации графиков нормальной работы чистовых линий крупносортных, среднесортных и мелкосортных станов представлены на фиг. 129 и 130.

Типы A и A₁—характерны для крупносортных и встречаются на среднесортных станах при прокатке круглого, полосового и квадратного железа.

Особенностью их является то, что прокатка после обжима осуществляется в одной или двух клетях, работающих без пере-



Фиг. 129. Схема классификации чистовых клетей крупносортных и среднесортных станов

крытий, т. е. прокатка следующей штуки не начинается до конца прокатки предыдущей. Примерные графики нормальной работы типов A и A₁ представлены на фиг. 131 и 132.

На фиг. 131 представлен график типа A работы чистовой линии стана 550 завода имени Петровского при прокатке квадрата 60×60. Заготовка после обжима с задней стороны поступает на II чистовую клеть, где за 4 пропуска прокатывается до необходимого размера.

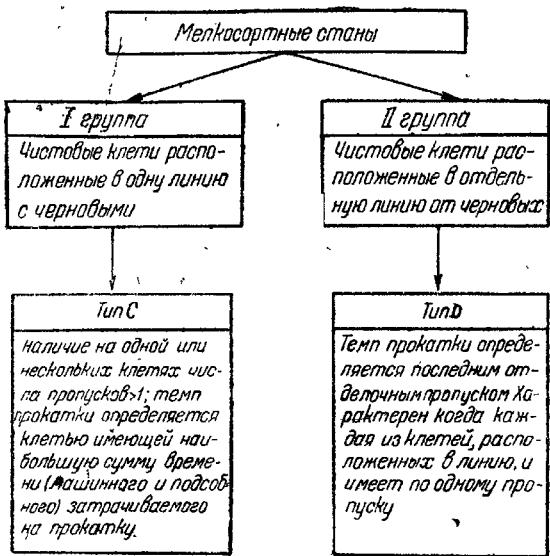
Темп прокатки по данному графику определяется:

$$T = \sum_1^4 t_n + \sum_1^4 t_m + g.$$

На фиг. 132 представлен график типа A₁ работы чистовой линии клети стана 400 Сталинского завода при прокатке квадрата со стороной в 60 мм. Как видно из схемы прокатки, заготовки с обжимом, расположенным отдельно от чистовой линии, поступают на четвертую клеть, где за семь пропусков прокатываются

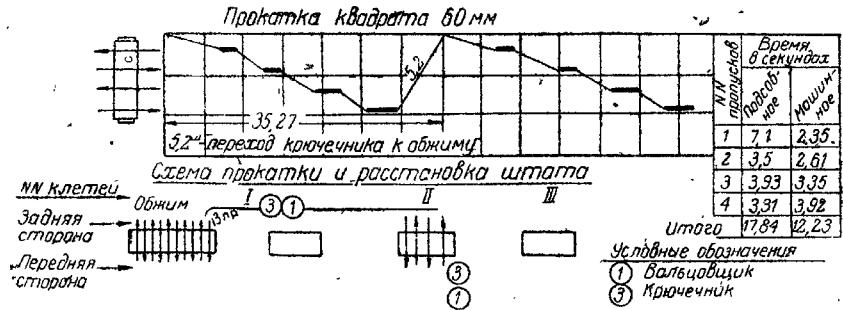
до необходимого профиля. Темп прокатки по данному графику определяется:

$$T = \sum t_n + \sum_{i=1}^6 t_m + g.$$



Фиг. 130. Схема классификации чистовых клетей мелкосортных станов

числа пропусков и размеров прокатываемых заготовок.
г). Графики типа A и A_1 очевидно характерны при небольших длинах прокатываемых штук, когда значительные скорости про-



Фиг. 131. График нормальной работы чистовых клетей стана 550 завода имени Петровского — тип А, группа I

- Период прокатки в секундах 30,07.
- Тип прокатки в секундах 35,27.
- Технически возможная производительность в час t 25,9.
- Коэффициент использования темпа прокатки 70,8.
- Коэффициент использования подсобного времени 46,3.
- Коэффициент использования машинного времени 24,5.

катки и отсутствие места возле клетей не позволяют работать с перекрытиями.

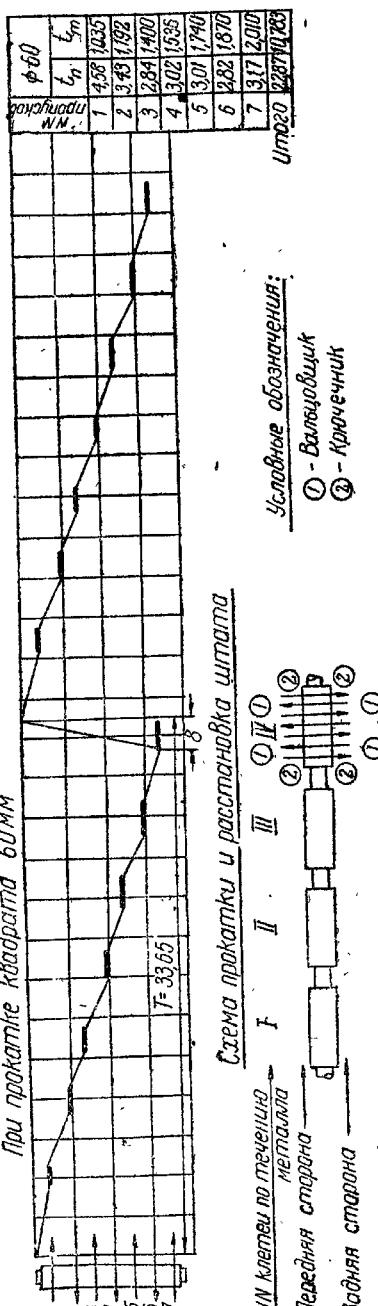
Тип В — характерен для крупносортных и среднесортных станов, при небольших скоростях прокатки и значительных длинах про-

Сравнение графиков фиг. фиг. 131 и 132 позволяет сделать следующие выводы:

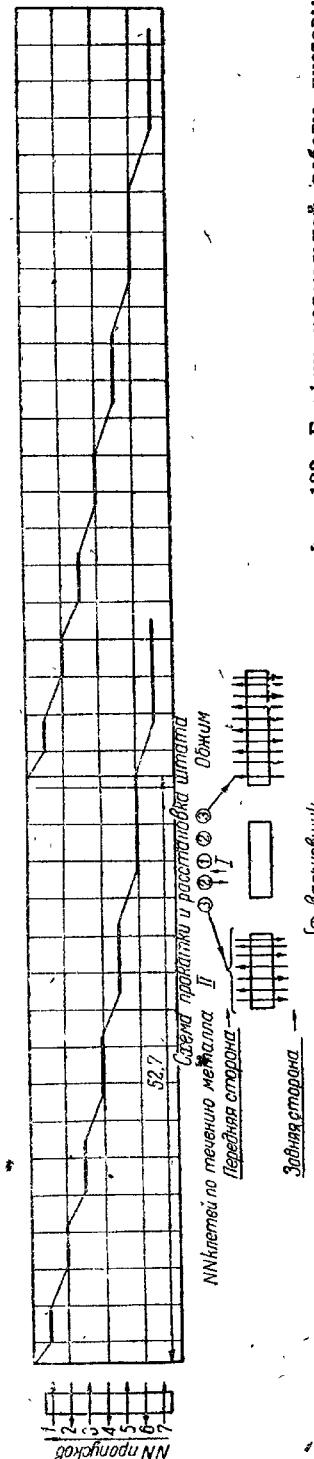
а) По обоим графикам прокатка производится без перекрытий.

б) Различие в структурах графиков типа A и A_1 объясняется способом расстановки рабочей силы, так что тип A_1 является разновидностью типа A .

в) Работа по графику типа A_1 (фиг. 132) дает больший эффект в сравнении с графиком типа A (фиг. 131) при равных условиях в отношении скорости прокатки, калибровки,



Фиг. 132. График нормальной работы чистовых клетей стана 400 Сталинского завода, тип А₁, группа II
1. Период прокатки в секундах 33,65. 2. Тип прокатки в секундах 35,27. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 25,9. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 70,8. 5. Коэффициент использования подсобного времени 46,3. 6. Коэффициент использования машинного времени 24,5.



Фиг. 133. График нормальной работы чистовых клетей стана 385 завода имени Фрунзе — тип В, группа I
1. Период прокатки в секундах 33,65. 2. Тип прокатки в секундах 35,27. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 25,9. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 70,8. 5. Коэффициент использования подсобного времени 46,3. 6. Коэффициент использования машинного времени 24,5.

катываемой штуки. Особенностью этого типа является то, что прокатка заготовки после обжима сосредоточена в одной клети, работающей с перекрытиями.

График данного типа представлен на фиг. 133. Это — график нормальной работы чистовой клети стана 585 завода имени Фрунзе при прокатке полосового железа 160×20 мм.

Темп прокатки по данному графику определяется следующими, составляющими:

$$T = \sum_1^6 t_n + \sum_1^6 t_m.$$

Тип С — характерен для среднесортных станов и встречается на мелкосортных станах, когда черновые клети последних рас-



Фиг. 134. График нормальной работы чистовых клетей стана 420 завода имени Петровского — тип С, группа II

1. Период прокатки в секундах 51,59. 2. Темп прокатки в секундах 22,08. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 25,4. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 33,8. 5. Коэффициент использования подсобного времени 27,5. 6. Коэффициент использования машинного времени 6,3.

положены в одну линию. Графики данного типа представлены на фиг. фиг. 134 и 135. Фиг. 134 представляет график нормальной работы чистовой линии среднесортного стана 420 завода имени Петровского при прокатке полосы 70×12 . Темп прокатки по этому графику определяется второй клетью, имеющей наибольшее число пропусков, т. е.

$$T = \sum_1^3 t_n + \sum_1^2 t_m + g.$$

На фиг. 135 представлен график работы чистовой линии мелкосортного стана 330 завода имени Кирова при прокатке круглого железа $\varnothing 25$ мм.

Темп прокатки по этому графику определяется первой клетью, имеющей наибольшее количество пропусков

$$T = \sum_2^4 t_n + \sum_1^3 t_m + g.$$

Тип D — характерен для чистовых линий мелкосортных станов при наличии в каждой из клетей по одному пропуску. На фиг. 136 и 137 представлены графики нормальной работы чистовых клетей

данного типа: фиг. 136 представляет график работы чистовой линии стана 250 завода имени Петровского при прокатке круглого железа $\varnothing 14$ мм.

Фиг. 137 — график работы чистовой линии стана 300 завода имени Ворошилова при прокатке круглого железа $\varnothing 19$ мм и полосового железа 35×8 .

Прокатка на обоих линиях производится в пяти клетях по одному пропуску в каждой. Темп прокатки по всем трем профилям определяется последней отделочной клетью, когда прокатываемая штука имеет наибольшую длину, т. е.

$$T = \sum_5^6 t_m + p,$$

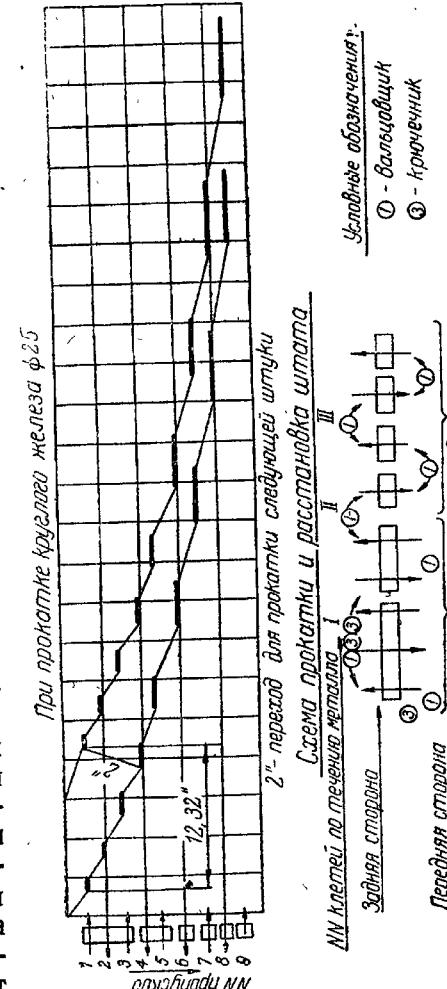
где p — интервал между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей штуки в последнем отделочном пропуске.

Этот интервал тем больше, чем труднее задача в отделочный ручей. При прокатке мелкосортного квадратного и полосового железа нормальные величины p составляют 1,5—2,5", в зависимости от конкретных условий работы клетей.

При прокатке круглого железа величина p , благодаря трудности задачи овала в круг, составляет 4—5 секунд¹, но нередки случаи, когда достигает 8—10 секунд и более.

¹ В наших расчетах эти величины также, как и величины подсобного времени, определялись по "моде" из минимальных величин хронометражного ряда.

Время в секундах	Масса	Номер
1	1,19	0,91
2	2,1	1,35
3	2,0	1,86
4	2,1	2,24
5	2,7	2,78
6	4,0	3,67
7	5,8	4,63
8	5,5	5,93
9	7,6	6,29
		Итого 33,7 29,66

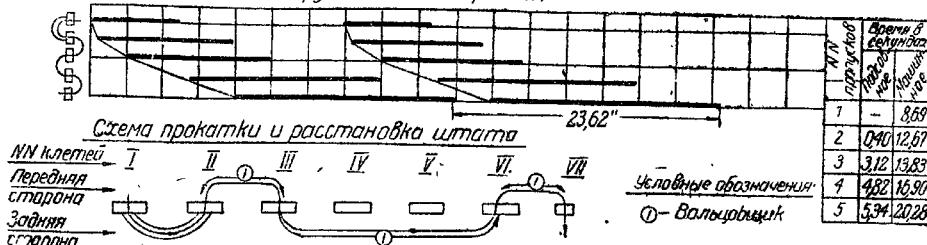


Фиг. 135. График нормальной работы чистовой линии стана 330 завода имени Кирова. —

1. Период прокатки в секундах 63,36. 2. Темп прокатки в секундах 12,32. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 23,14. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 15,6. 5. Коэффициент использования подсобного времени 10,4. 6. Коэффициент использования машинного времени 5,2.

Устранение задержек при задаче овала в круг имеет большое значение для производительности прокатных станов, так как при

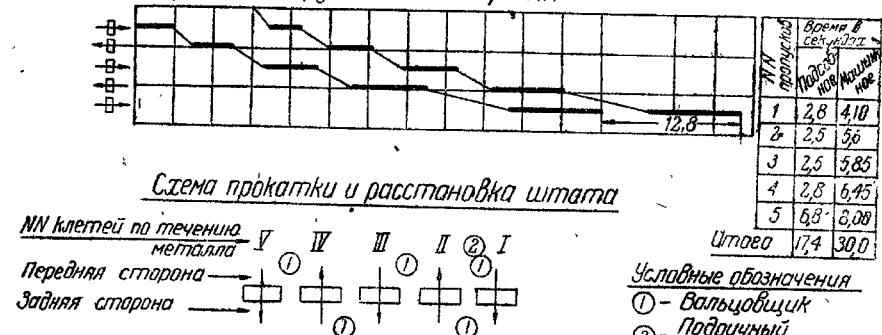
При прокатке круглого железа $\phi 14$ мм



Фиг. 136. График нормальной работы чистовой линии стана 250 завода имени Петровского — тип D, группа II

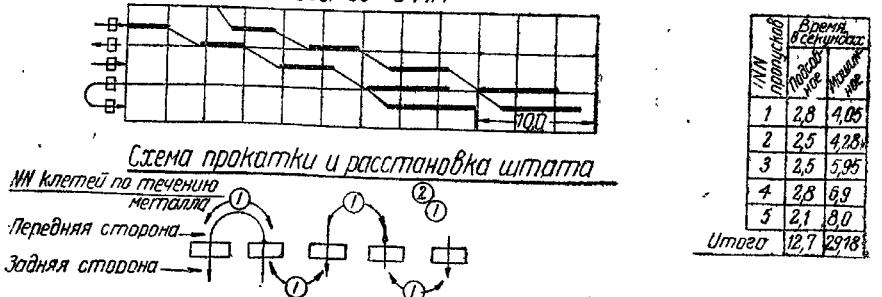
1. Период прокатки в секундах 33,96. 2. Темп прокатки в секундах 23,62. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 23,56. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 47,0. 5. Коэффициент использования подсобного времени 1,5. 6. Коэффициент использования машинного времени 45,5.

Прокатка круглого железа $\phi 19$ мм



1. Период прокатки в секундах 47,4. 2. Темп прокатки в секундах 12,8. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 21,7. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 65,0. 5. Коэффициент использования подсобного времени 24,4. 6. Коэффициент использования машинного времени 40,6.

Прокатка палосы 35×8 мм



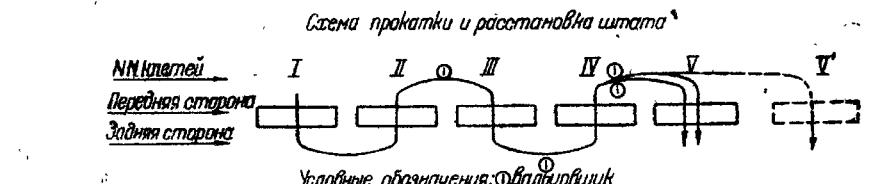
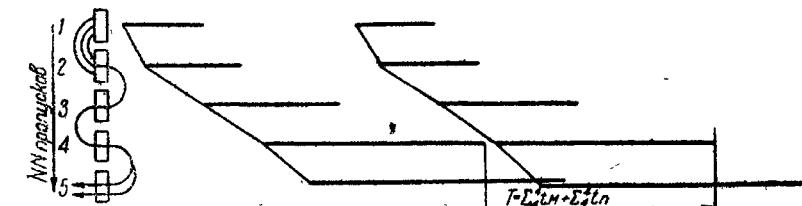
Фиг. 137. График нормальной работы чистовой линии стана 300 завода имени Ворошилова — тип D, группа II

1. Период прокатки в секундах 34,98. 2. Темп прокатки в секундах 10,0. 3. Технически возможная производительность в час t годного металла 22,3. 4. Коэффициент использования темпа прокатки 47,4. 5. Коэффициент использования подсобного времени 9,5. 6. Коэффициент использования машинного времени 37,9

величинах машинного времени в последнем пропуске в 10—15 секунд, большие величины p нарушают непрерывность прокатки в последнем пропуске и снижают производительность чистовой линии.

Одним из мероприятий, значительно уменьшающих величину p , следует считать применение конструкции коробки с раздвигающимися при задаче пропусками, которая приведена в главе VIII „Калибровка круглого и квадратного железа“.

Для чистовой линии мелкосортных станов, работающих по трафику типа D, основным мероприятием для увеличения пропускной способности клетей следует считать прокатку в две



Фиг. 138. Примерный график нормальной работы чистовой линии при прокатке в две нитки в отделочной клети

нитки в отделочной клети. Примерный график нормальной работы линии при данном мероприятии представлен на фиг. 138. Преимущества этого графика перед трафиками типа D (фиг. 136 и 137) видны без пояснений.

Выводы

1. Из рассмотренных выше пяти графиков, наилучшими по своей структуре следует считать графики типа D, при которых темп прокатки определяется последним пропуском. Последнее обстоятельство является основным признаком данного типа.

Общая формула для определения темпа прокатки для графиков типа D:

$$T = \sum^n t_m + p,$$

где n — последний пропуск.

2. Тип С менее эффективен в сравнении с типом D, так как при прочих равных условиях дает большую величину темпа прокатки и меньшую производительность.

Основными признаками типа С являются — наличие на одной или нескольких клетях чистовой линии количества пропусков

больше одного (2—4 пропуска), когда темп прокатки определяется не последним отделочным ручьем, а клетью с наибольшей суммой времени (машинного и подсобного), затрачиваемого на прокатку.

3. Общей формулы для определения темпа прокатки графиком типа С вывести невозможно, так как сочетание пропусков, определяющих темп прокатки при том или ином профиле, зависит от способа распределения пропусков по клетям и определяется конкретными условиями работы чистовой линии.

4. Тип *B* менее эффективен в сравнении с типами *C* и *D*.
Основные признаки типа *B*:

а) Прокатка заготовки после обжима сосредоточена в одной клети.

б) Работа в этой клети производится с перекрытиями.

5. Самыми эффективными по своей структуре следует считать типы A и A_1 . Сравнение последних приведено выше.

Анализ работы чистовых линий крупносортных и среднесортных станов

Краткая характеристика чистовых клетей анализируемых крупносортных и среднесортных станов, данные о технически возможной производительности и коэффициенты использования времени при прокатке квадратного, круглого и полосового железа представлены:

в таблице 33 при работе чистовых клетей по графикам типа A и A_1

Диаграмма коэффициентов использования времени общая для указанных трех типов по всем обследуемым профилям представлена на фиг. 139.

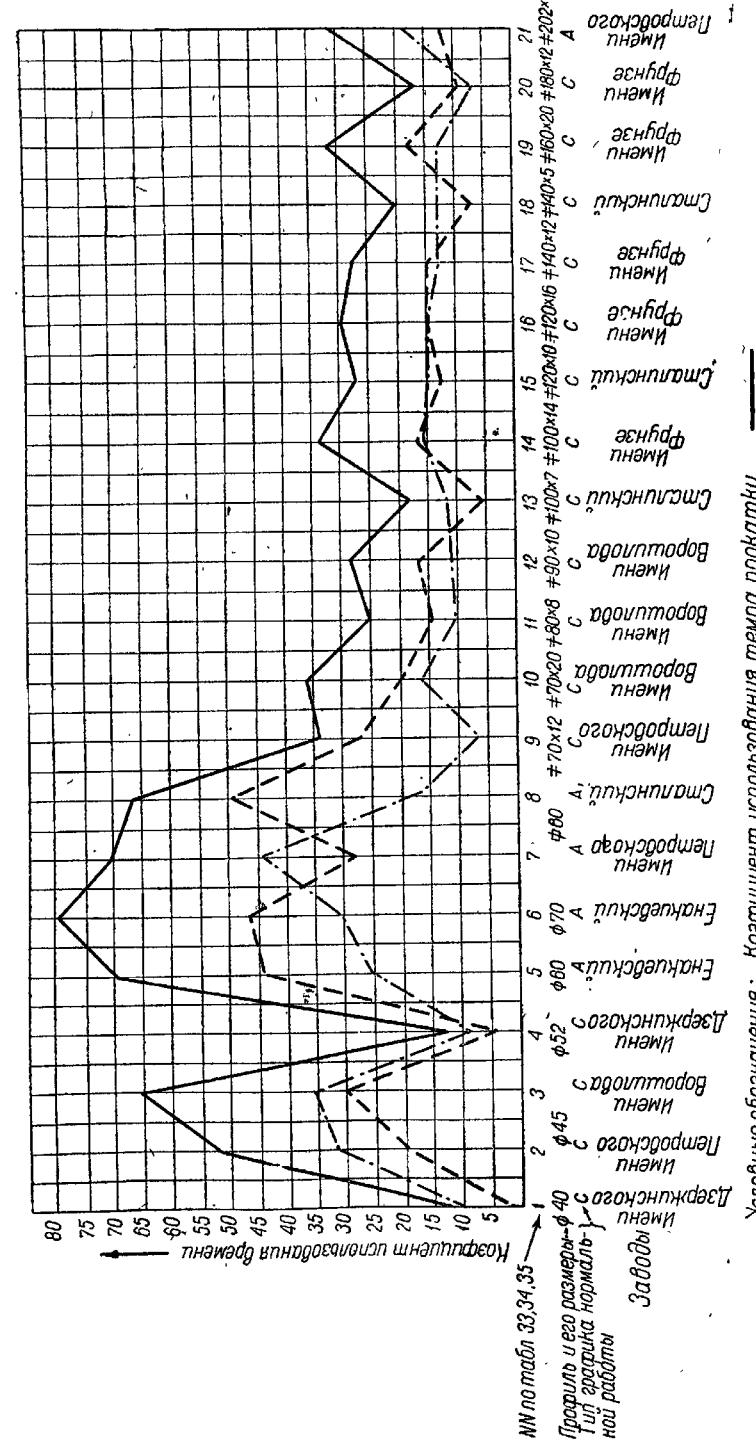
Круглое железо 40—70 м.м. Наилучшие показатели по коэффициентам использования времени для указанных размеров круглого железа имеет стан 500 завода имени Дзержинского при прокатке круглого железа диаметром 40 и 52 м.м. График нормальной работы чистовой линии будет типа С.

Хорошие коэффициенты использования времени по чистовой линии этого става объясняются следующими факторами:

- а) равномерным распределением пропусков по клетям;
 б) хорошей скоростью прокатки ($3,67 \text{ м/сек}$);
 в) значительным развесом прокатываемой заготовки (310 кг
 по всаду).

Отрицательным в работе клетей этого стана следует считать малую интенсивность деформации (средний коэффициент вытяжки—1,17).

Плохие коэффициенты использования времени имеет чистовая линия стана 500 завода имени Ворошилова (расположена на одной линии с обжимом) при прокатке круглого железа 45 м.м., что объясняется:



Фиг. 139. Диаграмма коэффициентов использования времени на чистовых клетях крупносортных и среднесортных станов при прокатке квадратного, круглого и полосового железа

Таблица 33

Крупносортные и среднесортные стани
Графики типа А и А₁

а) неравномерным распределением пропусков по клетям. (Первая клеть имеет шесть пропусков, а остальные две только по одному);

б) малой интенсивностью деформации при прокатке круглого железа $\varnothing 45 \text{ мм}$ (средний коэффициент вытяжки 1,15);

в) малой скоростью прокатки ($2,90 \text{ м/сек}$).

По стану 500 завода имени Ворошилова следует отметить маломощность приводного двигателя (паровая машина номинальной мощности 650 ЛС), благодаря чему работа с большими перекрытиями на данном стане ограничивается.

Наихудшие показатели по коэффициентам использования времени дают чистовые клети стана 550 Орджоникидзенского завода при прокатке круглого железа $\varnothing 60$ и 70 мм , что объясняется:

а) плохим типом графика работы клетей (тип А);

б) малой скоростью прокатки ($2,7 \text{ м/сек}$);

в) малой интенсивностью деформации (средний коэффициент вытяжки при прокатке круглого железа $\varnothing 70 \text{ мм}$ составляет 1,13).

Квадрат 60 мм — имеем на двух станах: на стане 400 Сталинского завода (чистовые клети расположены отдельно от обжимной), на стане 550 завода имени Петровского (чистовые клети на одной линии с обжимной).

На обоих станах прокатка на чистовых линиях сосредоточена в одной клети и производится без перекрытий. Графики нормальной работы этих клетей: типа А₁ (Сталинский завод), типа А (завод имени Петровского).

Коэффициенты использования темпа прокатки на чистовых клетях обоих станов плохие, что объясняется:

а) низкими коэффициентами вытяжек (1,12 и 1,15);

б) плохими типами графиков работы этих клетей.

Как видно из диаграммы (фиг. 139) коэффициент использования темпа прокатки на Сталинском заводе лучше, чем на заводе имени Петровского.

Это объясняется следующими обстоятельствами:

а) чистовая линия стана 400 Сталинского завода имеет скорость прокатки ($4,40 \text{ м/сек}$) — большую, чем чистовая линия стана 550 завода имени Петровского ($2,50 \text{ м/сек}$);

б) стан 400 Сталинского завода имеет тип графика (тип А₁) несколько лучший в сравнении с графиком типа А завода имени Петровского.

Полосовое железо шириной от 70 до 100 мм. Наилучший показатель по коэффициенту использования темпа прокатки дает стан 400 Сталинского завода при прокатке полосы 100×7 .

Это объясняется следующими факторами:

а) равномерным распределением пропусков по клетям;

б) хорошей скоростью прокатки ($4,4 \text{ м/сек}$).

Наихудший коэффициент использования темпа прокатки имеют чистовые клети стана 500 завода имени Ворошилова при прокатке полосы 70×20 , что объясняется:

а) неравномерным распределением пропусков по клетям:

Завод имени Петровского, график типа А	Орджоникидзенский завод, график типа А	Сталинский завод, график типа А ₁
Диаметр и обороты валков		
Чистовая линия стана 550 $D = 550 \text{ мм}$, $n = 90 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 550 $D = 550 \text{ мм}$, $n = 95 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 400 $D = 400 \text{ мм}$, $n = 210 \text{ об/мин}$

Моментальный вес одной штуки в кг (без учета отходов)

280	280	260	230	221
$\pm 202 \times 18$	$\square 60$	$\varnothing 70$	$\varnothing 60$	$\square 60$
5	4	5	5	7
4,03	1,78	1,92	2,34	2,27
1,32	1,15	1,13	1,18	1,12
36,3	35,27	39,38	37,51	33,65

Технически возможная производительность в час t годного металла (при существующих условиях)

25,0	25,9	21,49	19,86	21,2
31,2	70,8	78,8	69,7	67,0
12,5	46,3	47,4	44,6	45,4
18,7	24,5	31,4	25,1	21,6
21	7	6	5	8

Коэффициент использования темпа прокатки

Коэффициент использования подсобного времени

Коэффициент использования машинного времени

№ на диаграмме коэффициентов использования времени

Таблица 34

Крупносортные и среднесортные стани
Графики типа В

Завод имени Фрунзе				
Диаметр и обороты валков				
Чистовая линия стана 585, $n = 68 \text{ об/мин}$				
Номинальный вес одной штуки в кг (без учета отходов)				
450	450	330	330	330
$\pm 160 \times 20$	$\pm 180 \times 10$	$\pm 100 \times 14$	$\pm 120 \times 14$	$\pm 140 \times 10$
7	7	7	7	7
2	2	2	2	2
Чем определяется темп прокатки				
$\sum_1^6 t_n + \sum_1^6 t_m + g$				
3,66	7,57	5,59	6,15	6,9
1,12	1,33	1,28	1,31	1,30
52,7	54,8	62,45	60,28	57,46
Общая вытяжка				
28,97	26,85	17,10	17,70	18,61
32	16,3	33,7	29,7	28,0
18,5	9,6	17,5	14,9	14,6
18,5	6,7	16,2	14,8	13,4
19	20	14	16	17

Таблица 35

Крупносортные и среднесортные станы,

Завод имени Петровского		Завод имени Ворошилова			
Диаметры и обороты валков					
Стан 420 $D = 420 \text{ мм}; n = 215 \text{ об/мин}$		Стан 500 $D = 460 \text{ мм}; n = 120 \text{ об/мин}$			
Конечный профиль	$\#70 \times 12$	$\varnothing 45$	$\varnothing 45$	$\#90 \times 10$	$\#80 \times 8$
Номинальный вес штуки в кг (без учета отходов)	175	175	235	235	235
Количество пропусков и распределение их по клетям:					
Количество пропусков	7	5	8	8	8
Всего клетей на линии	4	4	3	3	3
Распределение пропусков по клетям	{ I 4 II 2 III 1 IV 1	{ I 3 II 1 III 1	{ I 6 II 1 III 1	{ I 3 II 4 III 1	{ I 3 II 4 III 1
Чем определяется темп прокатки	$\sum_1^3 t_n + \sum_1^2 t_m + g$	$\sum_1^2 t_n + \sum_1^3 t_m + g$	$\sum_1^5 t_n + \sum_1^4 t_m + g$	$\sum_1^4 t_n + \sum_1^6 t_m + g$	$\sum_1^7 t_n + \sum_1^4 t_m + g$
Общая вытяжка	3,75	1,97	3,00	6,75	7,78
Средний коэффициент вытяжек	1,21	1,14	1,15	1,27	1,23
Темп прокатки	22,08	18,06	46,44	45,46	46,9
Технически возможная производительность в час t горячего металла (при существующих условиях)	25,4	31,09	16,08	16,38	15,87
Коэффициент использования темпа прокатки	33,8	52,5	65,8	28,6	25,7
Коэффициент использования подсобного времени	27,5	20,1	30,6	17,00	14,7
Коэффициент использования машинного времени	6,3	32,4	35,2	11,6	11
Лф на диаграмме коэффициентов использования времени	9	2	3	12	11
					10

первая (по ходу прокатки) клеть имеет число пропусков меньшее (3 пропуска), чем вторая (4 пропуска);

б) малой скоростью прокатки (2,90 м/сек);

в) слишком малой интенсивностью деформации (средний коэффициент вытяжки 1,14).

Полосовое железо шириной 120—200 мм. Наилучший коэффициент использования темпа прокатки имеет чистовая клеть стана 585 завода имени Фрунзе при прокатке полосового железа 180×12 ; это объясняется:

а) наибольшим в рассматриваемой группе развесом заготовки (450 кг по всаду);

б) хорошей интенсивностью деформации. Средний коэффициент вытяжки — 1,33, наибольший в рассматриваемой группе.

Следует отметить, что тип графика работы чистовой клети стана 585 (тип В), имеющий семь пропусков, не благоприятен с точки зрения производительности, так как перекрытия при работе этой клети незначительны (фиг. 133). Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при наличии на стане 585 двух клетей (подготовительной и чистовой), прокатка после обжима производится на одной чистовой, а подготовительная клеть не используется.

работающие по графикам типа С

Сталинский завод			Завод имени Дзержинского		
Диаметры и обороты валков					
Стан 400 $D = 400 \text{ мм}, n = 210 \text{ об/мин}$			Стан 500 $D = 500 \text{ мм}, n = 140 \text{ об/мин}$		
$\#100 \times 7$	$\#120 \times 10$	$\#140 \times 5$	$\varnothing 52$	$\varnothing 48$	
234	221	185	310	310	
13	7	9	9	11	
4	4	4	3	3	
клети пропуски	клети пропуски	клети пропуски	клети пропуски	клети пропуски	клети пропуски
I 4	I 3	I 6	I 4	I 6	II 3
II 2	II 1	II 1	II 4	II 3	III 2
III 1	III 1	III 1	III 1	III 2	III 2
$\sum_9^{13} t_n + \sum_8^{12} t_m + g$	$\sum_5^7 t_n + \sum_4^6 t_m + g$	$\sum_7^9 t_n + \sum_6^8 t_m + g$	$\sum_9^9 t_n + \sum_8^9 t_m + g$	$\sum_{11}^{11} t_n + \sum_{11}^{11} t_m + g$	
11,77	4,79	9,40	4,23	5,65	
1,20	1,25	1,29	1,17	1,17	
48,74	29,53	35,22	15,2	23,20	
15,74	25,64	17,00	66,7	49,4	
17,7	27,8	20,3	11,5	13,3	
6	12,7	7,00	3,6	2,3	
11,7	15,1	13,3	7,9	10,5	
13	15	18	4	1	

Для равномерного распределения пропусков по клетям следовало бы рекомендовать часть пропусков с обжимной и чистовой клетей перенести на подготовительную клеть, что, разгрузив обжимную и чистовую клети, увеличит пропускную способность последних.

Наихудшие показатели по коэффициентам использования времени для рассматриваемой группы профилей, имеют: 1) чистовую клеть стана 550 завода имени Петровского при прокатке полосы 202×18 , 2) чистовую клеть стана 585 завода имени Фрунзе при прокатке полосы 160×20 .

Это объясняется:

а) по стану 550 завода имени Петровского:

1) Слишком малыми коэффициентами вытяжек. Средний коэффициент вытяжки 1,12, наименьший в рассматриваемой группе профилей.

2) Плохим графиком нормальной работы клети (тип А).

3) Малой скоростью прокатки (2,50 м/сек).

б) По стану 585 завода имени Фрунзе — малой интенсивностью деформации, средняя вытяжка 1,12, вместо 1,33 при прокатке $\#180 \times 10$.

По стану 550 завода имени Петровского обращают на себя внимание следующие обстоятельства:

При прокатке полосы 202×18 прокатка заготовки после обжима при наличии трех клетей (не считая обжимной) сосредоточена в одной клети, имеющей пять пропусков. Работа этой клети производится без перекрытия, так как существующая расстановка рабочей силы и отсутствие места возле клети не позволяют работать с перекрытиями.

Если бы прокатку после обжима производить в двух клетях: 4 пропуска во второй клети и 1 пропуск в третьей клети (барaban), то при хорошей работе обжима можно увеличить пропускную способность чистовых клетей.

В результате проведенного анализа работы чистовых клетей крупносортных и среднесортных станов, мы можем сделать следующие выводы:

1. Наилучшие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки дают чистовые клети, работающие по графику типа С с равномерным распределением пропусков по клетям (стан 500 завода имени Дзержинского), имеющие хорошие скорости прокатки (стан 400 Сталинского завода) и хорошие коэффициенты вытяжек.

2. Наихудшие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки дают чистовые клети, работающие по графикам типа А и А₁.

Анализ работы чистовых линий мелкосортных станов

Краткая характеристика чистовых линий, данные о технически возможной производительности и коэффициенте использования времени при прокатке квадратного, круглого и полосового железа представлены:

В таблице 36 при работе чистовой линии по графику типа С.

В таблице 37 при работе чистовых линий по графику типа D.

Диаграмма коэффициентов использования времени, общая для обоих типов, представлена на фиг. 140.

Круглое железо $\varnothing 38-30$ мм. Хорошие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки имеют:

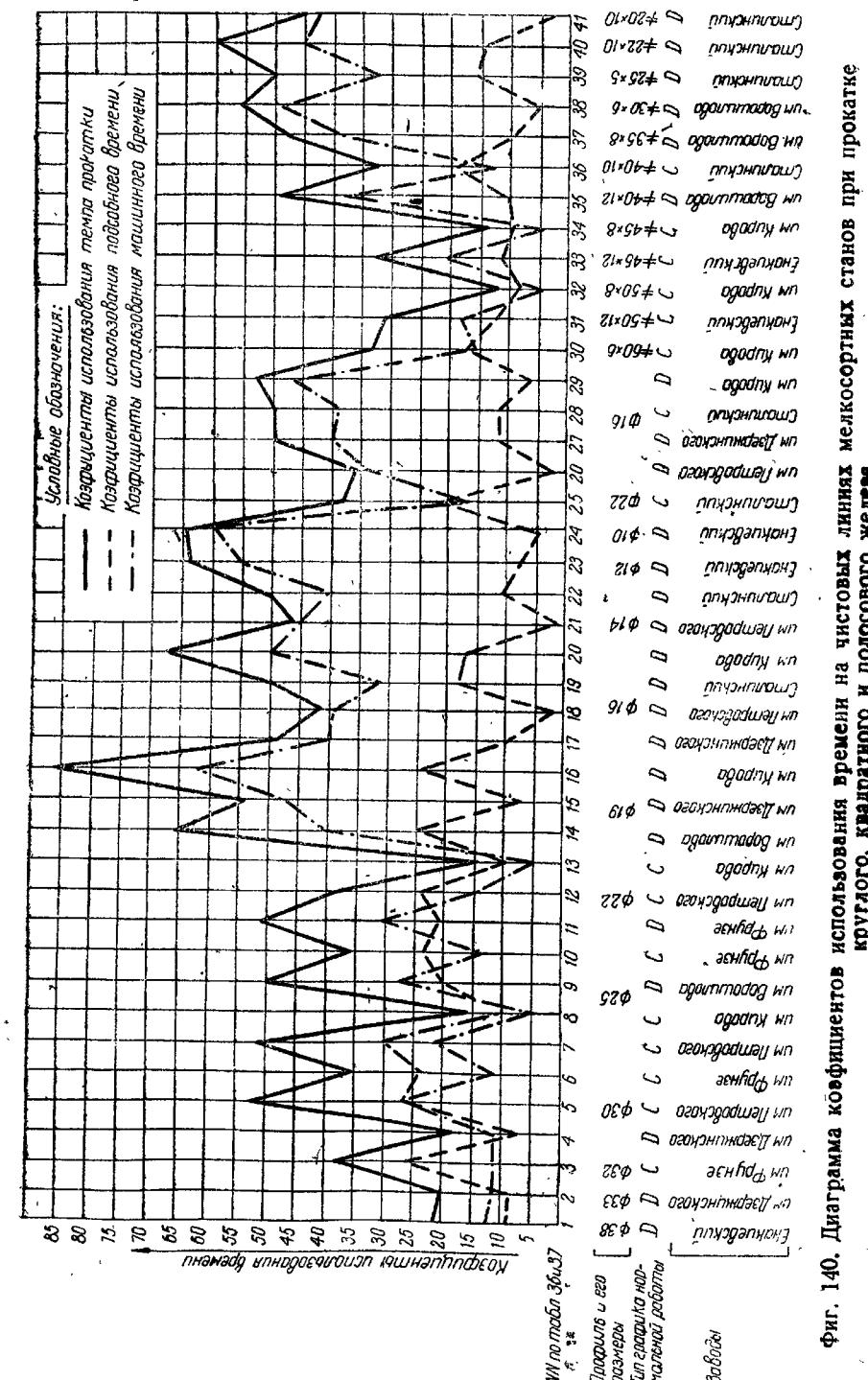
а) чистовая линия стана 330 завода имени Дзержинского при прокатке круглого железа $\varnothing 30$ и 33 мм;

б) чистовая линия стана 360 Орджоникидзенского завода при прокатке круглого железа $\varnothing 38$ мм.

Это объясняется: 1) лучшим типом графика работы клетей (тип D); 2) большими развесами прокатываемых заготовок 265 и 226 кг (наибольшими в рассматриваемой группе).

Наихудшие коэффициенты использования темпа прокатки дают чистовая линия стана 330 завода имени Петровского при прокатке круглого железа $\varnothing 30$ мм, что объясняется: 1) плохим (для чистовых клетей мелкосортных станов) типом графика — тип С; 2) малой интенсивностью деформации — средний коэффициент вытяжки 1,16, наименьший в рассматриваемой группе клетей.

Круглое железо $\varnothing 25-22$ мм. Наилучшие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки имеет стан 330



Фиг. 140. Диаграмма коэффициентов использования времени на чистовых линиях мелкосортных станов при прокатке круглого, квадратного и полосового железа

Таблица 36

Чистовые линии мелкосортных станов,

	Завод имени Петровского			Завод имени Фрунзе		
	Диаметры и обо					
	Стан 330 $D=330 \text{ мм}, n=285 \text{ об/мин}$			Стан 305 $D=305 \text{ мм}, n=260 \text{ об/мин}$		
Номинальный вес штуки в кг (без учета отходов)						
Конечный профиль	$\varnothing 22$	$\varnothing 25$	$\varnothing 30$	$\varnothing 25$	$\varnothing 30$	$\varnothing 32$
Количество пропусков и распределение их по клетям: 2	7 5	5 5	5 5	7 5	7 5	7 5
Количество пропусков . Всего клетей на линии .	I III—IV, V и VI по одному	I II и III по одному	I III и IV по одному	I II, III, IV и V по одному	I II, III, IV и V по одному	I II, III, IV и V по одному
Распределение пропусков по клетям	$\sum_2^3 t_n + \sum_2^3 t_m + g$	$\sum_2^4 t_n + \sum_1^3 t_m + g$				
Чем определяется темп прокатки						
Общая вытяжка	3,675	2,86	2,036	4,970	4,822	4,24
Средний коэффициент вытяжки	1,20	1,23	1,16	1,27	1,25	1,23
Темп прокатки в секундах	23,41	25,06	17,95	16,8	16,07	15,41
Технически возможная производительность в час t годного металла (при существующих условиях)	23,84	22,26	31,00	18,67	19,52	20,32
Коэффициент использования темпа прокатки	37,4	51,5	52,0	35,7	35,0	38,2
коэффициент использования подсобного времени	23,4	30,0	26,1	23,00	23,7	26,8
коэффициент использования машинного времени	14,00	21,5	25,9	12,7	11,3	11,4
№ на диаграмме коэффициентов использования времени	12	7	5	10	6	3

завода имени Кирова при прокатке круглого железа диаметром 25 и 22 мм. Это объясняется:

- 1) неплохой интенсивностью деформации — средний коэффициент вытяжки 1,28;
- 2) черновые клети стана 330 расположены на одной линии с чистовой (2 черновых клети).

Первая черновая клеть имеет три пропуска, вторая — 2 пропуска, чистовые — по одному пропуску в каждой клети (фиг. 135). Хотя темп прокатки и определяется первой клетью, но то обстоятельство, что чистовая линия имеет 9 пропусков, дает значительную длину прокатываемой штуки в последнем отделочном калибре, благодаря чему разница во времени на прокатку в последней (отделочной) и первой (черновой) клетях — незначительна.

Указанное выше обстоятельство приближает тип графика нормальной работы клетей к типу D, так как незначительное сокращение времени на прокатку в первой (черновой) клети приводит к тому, что темп прокатки будет определяться последней отделочной клетью, что является характерным для графика типа D.

работающие по графикам типа С

Сталинский завод			Орджоникидзевский завод			Завод имени Кирова		
роты валков								
Стан 350 $D=350 \text{ мм}, n=295 \text{ об/мин}$			Стан 360 $D=360 \text{ мм}, n=200 \text{ об/мин}$			Стан 330 $D=330 \text{ мм}, n=340 \text{ об/мин}$		
$\varnothing 22$	$\varnothing 25$	$\varnothing 30$	$\varnothing 25$	$\varnothing 30$	$\varnothing 32$	$\varnothing 25$	$\varnothing 22$	$\varnothing 25$
$\pm 40 \times 10$	$\pm 60 \times 6$	$\pm 50 \times 12$	$\pm 50 \times 12$	45×12	265	$36,1$	$74,3$	$86,1$
7 4	7 4	7 4	7 5	7 5	9 5	9 6	9 6	9 6
клети пропуски I II III и IV по одному	клети пропуски I II III и IV по одному	клети пропуски I II III и IV по одному	клети пропуски I II III и IV по одному	клети пропуски I II III и IV по одному	клети пропуски I II III, IV, V и VI по одному	клети пропуски I II III, IV, V и VI по одному	клети пропуски I II III, IV, V и VI по одному	клети пропуски I II III, IV, V и VI по одному
$\sum_2^6 t_n + \sum_3^5 t_m + g$			$\sum_3^6 t_n + \sum_2^4 t_m + g$		$\sum_3^6 t_n + \sum_2^4 t_m + g$	$\sum_2^4 t_n + \sum_1^3 t_m + g$		
4,24	5,16	5,69	3,77	4,10	9,141	11,78	11,49	12,77
1,23 36,21	1,26 29,47	1,28 30,14	1,21 31,00	1,22 35,58	1,28 12,32	1,31 12,22	1,31 12,24	1,33 11,86
20,26	19,48	16,63	27,1	24,2	23,14	20,14	23,3	18,94
37,1	32,1	33,5	31,00	32,8	15,6	13,9	12,4	13,6
21,5	19,2	17,8	12,0	11,3	10,8	19,4	8,4	9,5
15,6	12,9	15,7	19	21,5	4,8	4,5	4,00	4,1
25	36	30	31	33	8	13	32	34

Наихудшие показатели по коэффициентам использования времени в рассматриваемой группе профилей имеем:

а) по чистовой линии стана 300 завода имени Ворошилова при прокатке железа $\varnothing 25 \text{ мм}$. График нормальной работы относится к типу С. Это объясняется слишком малой интенсивностью деформации при прокатке данного профиля (средний коэффициент вытяжки 1,14);

б) по чистовой линии стана 305 завода имени Фрунзе при прокатке круглого железа $\varnothing 25 \text{ мм}$. (График нормальной работы типа С), что объясняется:

- 1) плохим типом графика нормальной работы;
- 2) небольшим развесом прокатываемой заготовки (95 кг).

Круглое железо $\varnothing 19—16 \text{ мм}$. Наилучшие показатели коэффициентов использования времени дает чистовая линия стана 250 завода имени Петровского при прокатке круглого железа $\varnothing 16 \text{ мм}$, что объясняется:

- 1) хорошим типом графика нормальной работы чистовой линии — тип D.

Таблица 37

Чистовые линии мелкосортных станов,

	Завод имени Петровского	Орджоник. завод	Имени Кирова	Сталинский		
	Диаметр и обороты					
	Чистовая линия стана 250 $D = 250 \text{ мм.}$, $n = 492 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 280 $D = 280 \text{ мм.}$, $n = 400 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 280 $D = 280 \text{ мм.}$, $n = 320 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 250		
Номинальный вес одной штуки в кг (без учета отходов)	160	160	160	190	190	69,2 55,4 69,2 67,50 110,50 76,5 135,0
Конечный профиль	$\varnothing 16$	$\varnothing 16$	$\varnothing 14$	$\varnothing 12$	$\varnothing 10$	$\varnothing 19$ $\varnothing 16$ $\varnothing 16$ $\varnothing 14$ $\varnothing 16$ $\varnothing 14$ $\varnothing 16$
Количество пропусков	5	5	5	5	7	5 5 5 5 5 5 5
Общая вытяжка	2,32	3,18	3,14	2,28	3,27	1,8 3,18 2,52 2,99 3,12 3,66 2,35
Средний коэффициент вытяжки	1,19	1,26	1,26	1,18	1,19	1,12 1,27 1,20 1,25 1,26 1,30 1,19
Темп прокатки в секундах	13,14	21,11	23,62	27,67	39,46	10,63 11,90 9,14 10,08 17,43 13,81 14,5
Технически возможная производительность в час т годного металла (при существующих условиях)	39,4	26,35	23,56	22,2	15,6	21,58 16,38 24,50 21,70 20,54 17,94 30,20
Коэффициент использования темпа прокатки	35,5	41,5	47,00	63,7	63,2	86,3 67,8 52,3 49,8 50,7 49,30 45,70
Коэффициент использования подсобного времени	1,4	2,1	1,5	7,5	4,5	24,00 17,1 5,9 17,8 10,2 15,8 3,5
Коэффициент использования машинного времени	34,1	34,4	45,5	56,2	58,7	62,3 50,7 46,4 32,0 40,5 33,5 42,4
МЛ по диаграмме использования времени	26	18	21	23	24	16 20 29 19,00 22 39 41

2) значительным развесом прокатываемой штуки (160 кг по всаду);

3) хорошей (наибольшей в рассматриваемой группе чистовых линий) скоростью прокатки 6,45 м/сек.

Наихудший коэффициент использования темпа прокатки дает чистовая линия стана 280 завода имени Кирова при прокатке круглого железа $\varnothing 19 \text{ мм.}$, что объясняется низкой интенсивностью деформации при прокатке данного профиля. Средний коэффициент вытяжки 1,12 наихудший в рассматриваемой группе.

Круглое железо $\varnothing 14-10 \text{ мм.}$ Наилучшие показатели по коэффициентам использования времени дает чистовая линия стана 250 завода имени Петровского при прокатке круглого железа $\varnothing 14 \text{ мм.}$, что объясняется теми же факторами, уже отмеченными при анализе работы этой линии при прокатке круглого железа $\varnothing 16 \text{ мм.}$

работающие по графикам типа D

завод	Завод имени Ворошилова	Орджоник. завод	Завод имени Дзержинск.	Завод имени Дзержинского
валков чистовой линии				
$D = 250 \text{ мм.}$, $n = 425 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 300 $D = 300 \text{ мм.}$, $n = 270 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 360 $D = 360 \text{ мм.}$, $n = 200 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 330 $D = 330 \text{ мм.}$, $n = 250 \text{ об/мин}$	Чистовая линия стана 280 $D = 280 \text{ мм.}$, $n = 300 \text{ об/мин}$

Наихудший коэффициент использования темпа прокатки дает чистовая линия стана 280 Орджоникидзенского завода при прокатке круглого железа $\varnothing 12-10 \text{ мм.}$, что в основном объясняется работой чистовой линии этого стана на невысоких коэффициентах вытяжек. Средний коэффициент вытяжки при прокатке этих профилей составляет 1,18 и 1,19.

Квадратное железо $\varnothing 22$ и 16 мм. Наилучшие коэффициенты использования темпа прокатки дает чистовая линия стана 250 завода имени Петровского при прокатке квадрата 16 мм, что объясняется факторами, уже отмеченными при анализе работы этой линии на круглое железо $\varnothing 16$ и 14 мм.

Полосовое железо шириной 60—20 мм. Наилучшие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки дает чистовая линия стана 330 завода имени Кирова при прокатке полосового

железа 50×8 и 45×8 мм, что объясняется хорошей интенсивностью деформации при прокатке этих профилей (средний коэффициент вытяжки 1,31 и 1,33). Кроме того, здесь следует учесть соображения относительно типа графика, высказанные при анализе работы чистовой линии этого стана на круглое железо $\varnothing 25-22$ мм, так как эти соображения в такой же мере относятся и к полосовому железу.

Наихудший коэффициент использования темпа прокатки дает чистовая линия стана 250 Сталинского завода при прокатке полосового железа 22×10 мм, что в основном объясняется малой интенсивностью деформации при прокатке данного профиля (средний коэффициент вытяжки 1,15).

В результате проведенного анализа работы чистовых линий мелкосортных станов можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшие показатели по коэффициентам использования темпа прокатки дают чистовые линии типа D или типа C при хорошем распределении пропусков по клетям, имеющие хорошие скорости прокатки и хорошие коэффициенты вытяжек.

2. Расположение черновых клетей¹ в одну линию с чистовыми при большом числе пропусков (9—11 пропусков) и при правильном распределении этих пропусков по клетям может дать хороший график работы клетей (тип D). Это может быть при условиях, когда время, необходимое на прокатку в клети, имеющей наибольшее число пропусков (обычно первая черновая клеть), окажется меньшим времени, затрачиваемого на прокатку в последнем отделочном калибре.

Отрицательным в расположении черновых клетей в одну линию с чистовыми является то, что при этом не имеется возможности сочетать скорости прокатки в подготовительных и чистовых клетях.

ГЛАВА XII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ИСХОДНОГО МЕТАЛЛА ПРОКАТКИ (СЛИТКОВ ИЛИ ЗАГОТОВОВОК) НА СОРТОПРОКАТНЫХ СТАНАХ

1. Общие положения

Одним из основных факторов хорошей работы прокатных станов является калибровка, обеспечивающая интенсивную деформацию и высокое качество продукции, а при правильном распределении пропусков и соответствующем подборе размера и веса слитков или заготовок — максимальную пропускную способность клетей.

Работа прокатных станов и их оборудование на всех ступенях технологического процесса тесно связана с размерами обрабатываемого металла, а потому определение оптимальных весов исходного металла сводится к определению оптимальных размеров по поперечному сечению и длине.

Рациональный подбор размеров исходного металла (слитков или заготовок) обусловливается конкретными особенностями работы прокатных станов и неразрывно связан с калибровкой.

Работы по анализу и рационализации калибровок на основных заводах metallurgии Юга выявили, что на большинстве наших прокатных станов размеры исходного металла не являются оптимальными.

Некоторые наши заводы (завод имени Петровского, имени Дзержинского, имени Сталина), путем "нащупывания" на ряде станов пересмотрели и изменили размеры исходного металла и добились повышения производительности станов.

Общей методики определения оптимальных размеров слитков (или заготовок) для всех сортовых станов до сих пор не существует.

Трудность решения этого вопроса вытекает из характерного для прокатного производства большого разнообразия тесно переплетающихся между собой факторов (технологических и трудовых); каждый из этих факторов оказывает различное влияние на производительность прокатных станов, причем общей закономерности влияния для многих из этих факторов до сего времени не установлено.

Конкретные условия работы прокатных станов, с которыми связано установление оптимальных размеров исходного металла —

¹ Имеется в виду, что каждая из черновых клетей будет иметь число пропусков больше одного.

это состояние нагревательных устройств, расстояния между линиями клетей, температурный режим прокатки, мощность приводного двигателя, состояние уборочных средств и т. д., причем пропускная способность их может изменяться в зависимости от прокатываемого профиля и марки стали.

Учитывая это для решения поставленного вопроса в общем виде, может быть применен аналитический метод исследования, заключающийся в следующем:— рассматривая каждый из участков прокатного стана (печь, стан, пресс, стеллажи, отделка и т. п.) абстрактно, выводятся общие закономерности влияния размеров исходного металла на пропускную способность данного участка. Из полученных результатов, учитывая конкретные особенности каждого прокатного стана, устанавливают оптимальные размеры исходного металла.

Всю работу можно разбить на следующие четыре этапа:

а) изучение и выбор сортамента прокатки и установление пределов длин по группам прокатываемых профилей;

б) определение для каждого производственного участка прокатного стана таких размеров исходного металла прокатки, которые обеспечивают максимальную пропускную способность данного участка при наименьшем количестве отходов;

в) увязка и корректирование полученных размеров с работой сталеплавильных цехов (для слитков) и блюмингов (для блюмов);

г) из полученных материалов устанавливают оптимальные размеры слитков или заготовок по стану при трех вариантах:

1) при неизменном оборудовании;

2) при незначительных затратах на переоборудование (устройство карманов, перестановка прессов, ножниц и т. д.);

3) при капитальных затратах на переоборудование (перестройка печей, замена приводных двигателей, выделение бушеров на отдельные линии и т. д.).

Таким образом, для решения вопроса в общем виде в первую очередь необходимо установить:

а) влияние размеров исходного металла прокатки на пропускную способность клетей сортопрокатных станов;

б) трио-обжимных клетей;

в) подготовительных и чистовых клетей.

Влияние размеров исходного металла прокатки на пропускную способность нагревательных устройств, прессов, стеллажей и складов здесь не рассматривается, поскольку эти вопросы не относятся к области калибровки.

2. Основные предпосылки для расчетов.

Между пропускной способностью клетей в единицу времени (M), весом прокатываемой штуки (P) и темпом прокатки (T) существует следующая зависимость:

$$M = \frac{P}{T}.$$

Таким образом, часовая пропускная способность клетей в единицу времени определяется из равенства:

$$M = \frac{P \cdot 3600}{T}, \quad (1)$$

где M — часовая пропускная способность клетей в тоннах;

P — вес прокатываемой штуки в тоннах;

T — темп прокатки в секундах.

Темп прокатки определяется из графиков нормальной работы клетей (графиков Адамецкого); последние дают наглядное представление о протекании процесса прокатки во времени и характеризуют режим работы клетей, т. е. последовательность течения элементов машинного времени прокатки и времени ручных операций, а также и начало нового цикла этих же операций над следующей штукой при нормальной работе клетей.

Обозначив условно сумму машинного времени, входящего в темп прокатки через b и соответствующую сумму подсобного времени через a , получим выражение для темпа прокатки для случая работы клетей без перекрытий¹:

$$T = \sum_m^n t_m + \sum_p^q t_p = b + a.$$

При работе с перекрытиями темп прокатки в общем виде определяется:

$$T = \sum_c^m t_m + \sum_c^p t_p + g = b' + a',$$

где

$$b' = \sum_c^m t_m; a' = \sum_c^p t_p + g,$$

где c — начальный пропуск в интервале, определяющем темп прокатки;

m — конечный пропуск в том же интервале.

Заменяя в равенстве (1) T его составляющими, получим:

$$M = \frac{P \cdot 3600}{a + b}. \quad (2)$$

Обозначив относительное изменение пропускной способности клетей в связи с изменением развесов или размеров прокатываемых штук через X , получим:

$$X = \frac{M_2}{M_1},$$

где M_1 — пропускная способность клети (или линии клетей) до изменения развеса прокатываемой штуки;

M_2 — пропускная способность клети или линии клетей после изменения развеса прокатываемой штуки.

Выражая M_1 и M_2 через их значение (см. равенство 2), получим:

$$X = \frac{P_2(a_1 + b_1)}{P_1(a_2 + b_2)}. \quad (3)$$

¹ См. главу X, § 2 формула для темпа прокатки по графику типа A.

для обжимов или линий станов, работающих без перекрытий, и

$$X = \frac{P_2(a'_1 + b'_1)}{P_1(a'_2 + b'_2)} \quad (4)$$

для обжимов или линий станов, работающих с перекрытиями.

3. Трио-обжимные клети

Предположим, что трио-обжимная клеть работает на заготовке (или слитке) A_1 и мы желаем узнать, как изменится пропускная способность клети, если вести прокатку из заготовки A_2 , начальные размеры (поперечное сечение и длина) которой в сравнении с A_1 изменились, причем в зависимости от коэффициентов вытяжек изменения этих размеров могут повлечь к сокращению или увеличению числа пропусков.

Следовательно мы имеем три переменные величины — L , F и n . Различные сочетания из этих трех переменных дают шесть вариантов:

1) Изменяется длина штуки — L при постоянных размерах поперечного сечения — F и числе пропусков — n .

2) Изменяются размеры поперечного сечения при неизменных длине и числе пропусков.

3) Изменяется число пропусков при неизменных размерах штуки (поперечном сечении и длине).

4) Изменяются число пропусков и размеры поперечного сечения при постоянной длине штуки.

5) Изменяются число пропусков и длина штуки при неизменных размерах поперечного сечения.

6) Изменяются число пропусков, размеры поперечного сечения и длина штуки.

Для удобства наших расчетов все графики нормальной работы трио-обжимных клетей разбиваем на две группы:

В первую группу войдут обжимы, в которых прокатка производится без перекрытий, т. е. прокатка следующей штуки не начинается до конца прокатки предыдущей. Типовый график работы таких обжимов представлен на фиг. 119 и 120.

Во вторую группу войдут обжимы, в которых прокатка производится с перекрытиями, т. е. прокатка следующей штуки начинается до конца прокатки предыдущей.

Типовый график работы таких обжимов представлен на фиг. 116 и 118.

В аналитических выводах по всем шести вариантам принимаем следующие условные обозначения:

L_1 — начальная длина слитка или заготовки A_1 , в метрах;

L_2 — начальная длина слитка или заготовки A_2 , в метрах;

F_1 и F_2 — начальные сечения A_1 и A_2 , в квадратных метрах;

F_n — конечные сечения заготовок по условию одинаковы;

n_1 и n_2 — общее количество пропусков при прокатке слитков A_1 и A_2 при работе без перекрытий;

μ_1 и μ_2 — средние коэффициенты вытяжек при прокатке A_1 и A_2 ;

q_1 и q_2 — общие коэффициенты вытяжек при прокатке A_1 и A_2 ;

v — скорость прокатки в м/сек, постоянная при слитках или заготовках A_1 и A_2 ;

k — увеличение веса прокатываемой штуки; $k = \frac{P_2}{P_1}$;

n_1 и n_2 — количество пропусков в интервалах, определяющих темп прокатки для слитков A_1 и A_2 при работе с перекрытиями.

I вариант предусматривает увеличение пропускной способности трио-обжимных клетей за счет увеличения исходной длины слитков или заготовок при постоянных размерах поперечного сечения, числе пропусков и схеме прокатки, т. е. имеем:

$$\begin{aligned} L_1 &< L_2 \\ F_1 &= F_2 \\ n_1 &= n_2. \end{aligned}$$

Так как число пропусков и начальные и конечные сечения слитков A_1 и A_2 одинаковы, то

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_2, \\ q_1 &= q_2. \end{aligned}$$

Вывод формулы для первой группы клетей (работающих без перекрытий)¹

Общее машинное время при прокатке на обжиме будет определяться из выражения

$$b = \frac{L_1}{v} + \frac{L_2}{v} + \frac{L_3}{v} + \dots + \frac{L_n}{v},$$

где v — (скорость прокатки), величина постоянная,

$L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ — длины прокатываемых штук после первого, второго, третьего... и последнего пропусков.

Для определения длины прокатываемых штук после каждого пропуска необходимо знать коэффициенты вытяжек при каждом пропуске и начальную длину слитка — L . Тогда $L_1 = L\mu_1$, $L_2 = L_1\mu_2 = L\mu_1\mu_2$; $L_3 = L_2\mu_3 = L\mu_1\mu_2\mu_3$ и т. д., тогда общее машинное время

$$b = \frac{L\mu_1}{v} + \frac{L\mu_1\mu_2}{v} + \frac{L\mu_1\mu_2\mu_3}{v} + \dots + \frac{L\mu_1\mu_2\mu_3\dots\mu_n}{v}.$$

Ошибка в общем машинном времени будет незначительная — до 5%, если мы вместо коэффициентов вытяжек по пропускам, для определения которых необходимо знать калибровку, воспользуемся средним коэффициентом вытяжки. Тогда вышеупомянутое выражение напишется так:

$$b = \frac{L\mu}{v} + \frac{L\mu^2}{v} + \frac{L\mu^3}{v} + \dots + \frac{L\mu^n}{v}$$

¹ Н. Лашко и С. Богатырев. „Советская металлургия“, № 1, 1937 г.

или

$$b = \frac{L}{v} \mu (1 + \mu + \mu^2 + \dots + \mu^{n-1}) = \frac{L}{v} \mu \frac{(\mu^n - 1)}{(\mu - 1)}, \quad (5)$$

или

$$b = \frac{L}{v} \mu \cdot \frac{(q-1)}{(\mu-1)}, \quad (5a)$$

где $v = \frac{\pi D n}{60}$;

D — средний диаметр валков;

n — число оборотов валков.

Следует отметить, что формула Йоффе, принятая нами для определения машинного времени, имеет неточности, заключающиеся в том, что коэффициенты вытяжек по пропускам принимаются одинаковыми.

Однако это не окажет значительного влияния на точность наших расчетов благодаря следующим обстоятельствам:

а) величины вытяжек при прокатке имеют отклонения от средних как в большую, так и в меньшую сторону, что дает сумму машинного времени по пропускам, ориентированную по среднему коэффициенту вытяжки;

б) получающиеся неточности сводятся почти к нулю тем, что при расчетах по всем вариантам мы оперируем всегда с отношением $\frac{b_2}{b_1}$.

Относительное увеличение машинного времени на одну штуку A_2 составит:

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{\frac{L_2}{v} \mu_2 \left(\frac{q_2 - 1}{\mu_2 - 1} \right)}{\frac{L_1}{v} \mu_1 \left(\frac{q_1 - 1}{\mu_1 - 1} \right)} = \frac{L_2}{L_1}.$$

Но вес штуки пропорционален объему, т. е.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{L_2 \cdot F_2}{L_1 \cdot F_1} = \frac{L_2}{L_1} = k,$$

следовательно

$$k = \frac{b_2}{b_1}$$

или $b_2 = b_1 \cdot k$,

т. е. увеличение машинного времени пропорционально увеличению веса прокатываемой штуки.

Заменяя в равенстве (3) P_2 через P_1 и b_2 через b_1 и имея ввиду, что изменение длины слитка или заготовки не изменяет подсобного времени, т. е. $a_1 = a_2$ **, получим формулу для под-

счета относительного увеличения производительности обжимной клети при увеличении длины слитка (или заготовки)

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1}{a_1} \right)}{1 + \frac{b_1}{a_1} \cdot k}. \quad (6)$$

Таким образом для подсчета увеличения производительности при увеличении длины необходимо знать только суммы машинного и подсобного времени до изменения длины и увеличения веса слитка в связи с увеличением длины.

Вывод формулы для второй группы клетей (работающих с перекрытиями)

Определяя сумму машинного времени по формуле (5) для второй группы клетей, имеем:

$$b'_1 = \frac{L_1 \mu_1^c}{v} \cdot \mu_1 \left(\frac{\mu_1^{m-c} - 1}{\mu_1 - 1} \right),$$

$$b'_2 = \frac{L_2 \mu_2^c}{v} \cdot \mu_2 \left(\frac{\mu_2^{m-c} - 1}{\mu_2 - 1} \right),$$

откуда

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \frac{L_2 \mu_2^{c+1} (\mu_2^{m-c} - 1)}{v (\mu_2 - 1)} : \frac{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}{v (\mu_1 - 1)} = \frac{L_2}{L_1},$$

но

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{P_2}{P_1} = k,$$

откуда

$$b'_2 = b'_1 \cdot k,$$

т. е. увеличение машинного времени прокатки, как и в первой группе клетей, пропорционально увеличению веса слитка или заготовки.

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 и b'_2 через b'_1 , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1} \right)}{1 + \frac{b'_1}{a'_1} \cdot k}, \quad (7)$$

т. е. для второй группы обжимных клетей формула получается такого же вида, как и для первой.

II вариант предусматривает увеличение производительности за счет увеличения сечения слитков или заготовок при постоянных длинах, числе пропусков и схеме прокатки, т. е.

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2, \\ n_1 &= n_2, \\ F_1 &< F_2. \end{aligned}$$

* Йоффе „Техническое нормирование прокатки“. Ленинград, 1932 г.

** На практике подтверждается, что изменения развесов слитков в пределах 25% не оказывают значительного влияния на величины подсобного времени по пропускам.

Так как при прокатке из штук A_1 и A_2 число пропусков не изменяется, то при прокатке штуки A_2 очевидно повысятся коэффициенты вытяжек, т. е. будем иметь:

$$\begin{aligned}\mu_1 &< \mu_2, \\ q_1 &< q_2.\end{aligned}$$

Вывод формулы для I группы клетей

Применяя равенство (5) к условиям второго варианта после преобразований, получим:

$$b_2 = b_1 \frac{\mu_2 (q_2 - 1)(\mu_1 - 1)}{\mu_1 (q_1 - 1)(\mu_2 - 1)}. \quad (8)$$

Вес слитка или заготовки увеличится пропорционально увеличению поперечного сечения, т. е.

$$k = \frac{F_2}{F_1}.$$

Принимая, что конечные сечения заготовок для A_1 и A_2 одинаковы, имеем:

$$k = \frac{F_2}{F_n} : \frac{F_1}{F_n} = \frac{q_2}{q_1},$$

откуда

$$q_2 = k \cdot q_1,$$

т. е. общая вытяжка увеличивается пропорционально увеличению веса слитка.

Если допустить, что добавочная вытяжка распределится по пропускам равномерно, то получим следующую зависимость между увеличением среднего коэффициента вытяжки и увеличением размеров поперечного сечения штуки:

$$\frac{q_2}{q_1} = \sqrt[n]{k}. \quad (10)$$

Заменяя в равенстве (8) $\frac{q_2}{q_1}$ через $\sqrt[n]{k}$ и q_2 через kq_1 , получим:

$$b_2 = b_1 \sqrt[n]{k} \frac{(kq_1 - 1)(\mu_1 - 1)}{(q_1 - 1)(\mu_1 \sqrt[n]{k} - 1)}. \quad (11)$$

Заменив в равенстве (3) P_2 через P_1 и b_2 через b_1 , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1}{a_1}\right)}{1 + \frac{b_1}{a_1} \frac{\sqrt[n]{k}(kq_1 - 1)(\mu_1 - 1)}{(q_1 - 1)(\mu_1 \sqrt[n]{k} - 1)}}. \quad (12)$$

Вывод формулы для II группы клетей

Применяя равенство (5) к условиям данного варианта, имеем:

$$b'_1 = \frac{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}{v (\mu_1 - 1)};$$

$$b'_2 = \frac{L_2 \mu_2^{c+1} (\mu_2^{m-c} - 1)}{v (\mu_2 - 1)};$$

откуда

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{c+1} \frac{(\mu_2^{m-c} - 1)(\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1)(\mu_2 - 1)}.$$

Выражая $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[n]{k}$ (10), получим:

$$b'_2 = b'_1 \sqrt[n]{k^{c+1}} \frac{(\mu_1 \sqrt[n]{k^{m-c} - 1})(\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1)(\mu_1 \sqrt[n]{k} - 1)}. \quad (13)$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 и b'_2 через b'_1 , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a_1}\right)}{1 + \frac{b'_1}{a_1} \frac{\sqrt[n]{k^{c+1}} (\mu_1 \sqrt[n]{k^{m-c} - 1})(\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1)(\mu_1 \sqrt[n]{k} - 1)}}. \quad (14)$$

III вариант предусматривает увеличение производительности за счет изменения числа пропусков при неизменных начальных и конечных размерах прокатываемых штук (A_1 и A_2).

По условиям III варианта, имеем:

$$F_1 = F_2;$$

$$L_1 = L_2;$$

$$n_1 \neq n_2.$$

Ясно, что при условии равенства начальных и конечных сечений и неравенстве числа пропусков для прокатываемых штук A_1 и A_2 , будем иметь:

$$\mu_1 \neq \mu_2;$$

$$q_1 \neq q_2.$$

Кроме того в расчетах по данному варианту, принимаем:

а) изменение числа пропусков для II группы клетей происходит полностью за счет пропусков, входящих в темп прокатки;

б) подсобное время, необходимое на прокатку одного слитка при изменении числа пропусков, изменится прямопропорционально изменению числа пропусков, т. е. будет иметь место следующее соотношение:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad a_2 = a_1 \frac{n_2}{n_1},$$

где a_1 — сумма подсобного времени на один слиток при числе пропусков $= n_1$ (до сокращения);
 a_2 — сумма подсобного времени на один слиток при числе пропусков $= n_2$ (после сокращения).

Вывод формулы для I группы клетей

Согласно равенства (8), имеем:

$$b_2 = b_1 \frac{\mu_2 (q_2 - 1) (\mu_1 - 1)}{\mu_1 (q_1 - 1) (\mu_2 - 1)},$$

выражая q через μ по условиям III варианта, имеем:

$$\mu_2^{n_2} = \mu_1^{n_1},$$

откуда

$$\mu_2 = \sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1}},$$

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \sqrt[n_2]{\frac{\mu_1^{n_1}}{\mu_1^{n_1} - n_2}}.$$

Подставляя значение $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ в равенство (8), получим:

$$b_2 = \frac{b_1 \sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1} - n_2} (\mu_1 - 1)}{\sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1} - 1}}.$$

Заменяя в равенстве (3) P_2 через P_1 , b_2 через b_1 и a_2 через a_1 , после преобразований получим в окончательном виде формулу для расчетов по I группе клетей:

$$X = \frac{1 + \frac{b_1}{a_1}}{\frac{n_2}{n_1} + \frac{b_1}{a_1} \frac{\sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1} - n_2} (\mu_1 - 1)}{\sqrt[n_2]{q_1 - 1}}}. \quad (16)$$

Вывод формулы для II группы клетей

Принимая, что общая вытяжка в интервалах пропусков, определяющих темп прокатки до и после сокращения пропусков, не изменится, получим:

$$\mu_1^{m-c} = \mu_2^{m-c-\varphi},$$

откуда

$$\mu_2 = \sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^{m-c}},$$

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^{\varphi}},$$

где φ — число сокращаемых пропусков.

Применяя равенство (5) к условиям данного варианта, имеем:

$$b'_1 = \frac{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}{v (\mu_1 - 1)};$$

$$b'_2 = \frac{L_2 \mu_2^{c+1} (\mu_2^{m-c-\varphi} - 1)}{v (\mu_2 - 1)};$$

откуда

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} \right)^{c+1} \cdot \frac{(\mu_2^{m-c-\varphi} - 1) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) (\mu_2 - 1)}; \quad (18)$$

заменив $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^{\varphi}}$, получим:

$$b'_2 = b'_1 \frac{\mu_1^{m-c-\varphi} (\mu_1 - 1)}{\left(\sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^{m-c} - 1} \right)^{c+1}}.$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a'_2 через a'_1 , получим:

$$X = \frac{1 + \frac{b'_1}{a'_1}}{\frac{n_2}{n_1} + \frac{b'_1}{a'_1} \frac{\mu_1^{m-c-\varphi} (\mu_1 - 1)}{\left(\sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^{m-c} - 1} \right)^{c+1}}}. \quad (20)$$

IV вариант предусматривает изменения в производительности за счет изменений в числе пропусков и поперечном сечении прокатываемой штуки при условии, что длина последней не изменяется.

Согласно условий данного варианта, имеем:

$$L_1 = L_2;$$

$$F_1 \neq F_2;$$

$$n_1 \neq n_2,$$

так как $F_1 \neq F_2$ и $n_1 \neq n_2$, то, очевидно, будем иметь:

$$q_1 \neq q_2;$$

$$\mu_1 \neq \mu_2.$$

Вывод формулы для I группы клетей

На основании равенства (9), имеем:

$$k = \frac{q_2}{q_1} = \frac{\mu_2^{n_2}}{\mu_1^{n_1}}.$$

Откуда

$$\mu_2 = \sqrt[n_2]{k \mu_1^{n_1}},$$

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \sqrt[n_2]{k \mu_1^{n_1 - n_2}}.$$

$$(21)$$

Заменяя в равенстве (8) μ_2 через μ_1 и q_2 через kq_1 , получим:

$$b_2 = b_1 \sqrt[n_2]{k\mu_1^{n_1-n_2}} \frac{(kq_1-1)(\mu_1-1)}{(q_1-1)(\sqrt[n_2]{kq_1}-1)}. \quad (22)$$

Заменяя в равенстве (3) P_2 через P_1 , b_2 через b_1 и a_2 через a_1 , получим формулу для расчетов по данному варианту:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1}{a_1}\right)}{\frac{n_2}{n_1} + \frac{b_1}{a_1} \sqrt[n_2]{k\mu_1^{n_1-n_2}} \frac{(kq_1-1)(\mu_1-1)}{(q_1-1)(\sqrt[n_2]{kq_1}-1)}}. \quad (23)$$

Вывод формулы для II группы клетей

Применяя равенство (18) к условиям данного варианта, имеем:

$$b_2' = b_1 \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{c+1} \cdot \frac{(\mu_2^{m-c-\varphi}-1)(\mu_1-1)}{(\mu_1^{m-c}-1)(\mu_2-1)}.$$

Применяя равенство (21) к условиям данного варианта, имеем:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^\varphi}; \mu_2 = \sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^{m-c}}.$$

Заменяя $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^\varphi}$, а μ_2 через $\sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^{m-c}}$, получим:

$$b_2' = b_1 \cdot k^{\frac{c+1}{m-c-\varphi}} \cdot \mu_1^{\frac{\varphi+c+1}{m-c-\varphi}} \cdot \frac{(k\mu_1^{m-c}-1)(\mu_1-1)}{(\mu_1^{m-c}-1)\left(\sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^{m-c}}-1\right)}.$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b_2' через b_1' и a_2' через a_1' , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1'}{a_1'}\right)}{\frac{n_2}{n_1} + \frac{b_1'}{a_1'} \cdot k^{\frac{c+1}{m-c-\varphi}} \cdot \mu_1^{\frac{\varphi+c+1}{m-c-\varphi}} \frac{(k\mu_1^{m-c}-1)(\mu_1-1)}{(\mu_1^{m-c}-1)\left(\sqrt[m-c-\varphi]{k\mu_1^{m-c}}-1\right)}}. \quad (23a)$$

V вариант предусматривает изменения в производительности за счет изменений числа пропусков и изменения длины заготовки A_2 . Размеры поперечного сечения не изменяются.

Вывод формулы для I группы клетей

По условиям пятого варианта, имеем:

$$\begin{aligned} L_2 &\neq L_1; \\ F_1 &= F_2; \\ n_1 &\neq n_2, \end{aligned}$$

так как, по условию, начальные и конечные сечения штук A_1 и A_2 одинаковы, то:

$$q_1 = q_2,$$

но неравенство в пропусках ($n_1 \neq n_2$) приведет к неравенству средних коэффициентов вытяжек:

$$\mu_1 \neq \mu_2.$$

Согласно равенства (15), имеем:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}}.$$

По условиям данного варианта, имеем:

$$k = \frac{P_2}{P_1} = \frac{L_2}{L_1};$$

применяя равенство (8) к условиям данного варианта, имеем:

$$b_2 = b_1 \frac{L_2}{L_1} \frac{\mu_2(q_2-1)(\mu_1-1)}{\mu_1(q_1-1)(\mu_2-1)}. \quad (24)$$

Заменяя в равенстве (24) $\frac{L_2}{L_1}$ через k , $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}}$ и μ_2 через μ_1 , получим:

$$b_2 = b_1 k \sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}} \cdot \frac{(\mu_1-1)}{\left(\sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}}-1\right)}. \quad (25)$$

Заменяя в равенстве (3) P_2 через P_1 , b_2 через b_1 и a_2 через a_1 , получим формулу для расчётов по данному варианту

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1}{a_1}\right)}{\frac{n_2}{n_1} + \frac{b_1}{a_1} \cdot k \sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}} \frac{(\mu_1-1)}{\left(\sqrt[n_2]{\mu_1^{n_1-n_2}}-1\right)}}. \quad (26)$$

Вывод формулы для II группы клетей

Применяя равенство (18) к условиям данного варианта, получим:

$$b_2' = b_1 \cdot k \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{c+1} \cdot \frac{(\mu_2^{m-c-\varphi}-1)(\mu_1-1)}{(\mu_1^{m-c}-1)(\mu_2-1)}, \quad (27)$$

выражая $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[m-c-\varphi]{\mu_1^\varphi}$ [на основании равенства (17)] и подставляя последнее в формулу (27) после преобразований, получим:

$$b_2 = b_1' k \mu_1^{\frac{\varphi(c+1)}{m-c-\varphi}} \cdot \frac{(\mu_1-1)}{\left(\frac{\mu_1^{m-c-\varphi}}{\mu_1^\varphi}-1\right)}. \quad (28)$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b_2 через b_1 и a'_2 через a'_1 , получим формулу для расчетов:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1}\right)}{\frac{n'_2 + b'_1 \gamma \frac{\varphi(c-1)}{k \mu_1^{m-c-\varphi}} \frac{(\mu_1 - 1)}{\left(\mu_1^{\frac{m-c}{\varphi}} - 1\right)}}{n'_1 + a'_1}}. \quad (29)$$

VI вариант предусматривает изменения в производительности за счет изменения числа пропусков, поперечного сечения и длины заготовок одновременно, т. е. изменяются все три фактора.

По условиям данного варианта, имеем:

$$\begin{aligned} L_2 &\neq L_1; \\ F_2 &\neq F_1; \\ n_2 &\neq n_1. \end{aligned}$$

Неравенство в пропусках и начальных сечениях дает неравенство в средних коэффициентах вытяжек и в общих вытяжках, т. е.

$$\begin{aligned} q_1 &\neq q_2, \\ \mu_1 &\neq \mu_2. \end{aligned}$$

Исходя из условий данного варианта, имеем:

$$k = \frac{P_2}{P_1} = \frac{F_2 L_2}{F_1 L_1} = \frac{q_2 L_2}{q_1 L_1} = \frac{\mu_2^{n_2} L_2}{\mu_1^{n_1} L_1}. \quad (30)$$

Обозначив $\frac{L_2}{L_1}$ через γ , получим:

$$k = \frac{\mu_2^{n_2}}{\mu_1^{n_1}} \gamma; \quad \mu_2 = \sqrt[n_2]{\left(\frac{k}{\gamma}\right)} \mu_1^{n_1 - n_2}.$$

Применяя равенство (18) к условиям данного варианта, получим:

$$b_2 = b_1 \frac{L_2 \mu_2 (\mu_2^{n_2} - 1) (\mu_1 - 1)}{L_1 \mu_1 (\mu_1^{n_1} - 1) (\mu_2 - 1)}, \quad (31)$$

заменяя $\frac{L_2}{L_1}$ через γ и $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma}} \mu_1^{n_1 - n_2}$, получим:

$$b_2 = b_1 \gamma \sqrt[n_2]{\left(\frac{k}{\gamma}\right)} \mu_1^{n_1 - n_2} \frac{\left(\frac{k}{\gamma} \mu_1^{n_1} - 1\right) (\mu_1 - 1)}{(q_1 - 1) \left(\sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma}} \mu_1^{n_1} - 1\right)}. \quad (32)$$

Заменяя в равенстве (3) P_2 через P_1 , b_2 через b_1 и a'_2 через a'_1 , получим формулу для расчетов:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b_1}{a'_1}\right)}{\frac{n'_2 + b_1 \gamma \sqrt[n_2]{\left(\frac{k}{\gamma}\right)} \mu_1^{n_1 - n_2} \frac{\left(\frac{k}{\gamma} \mu_1^{n_1} - 1\right) (\mu_1 - 1)}{(q_1 - 1) \left(\sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma}} \mu_1^{n_1} - 1\right)}}{n'_1 + a'_1}. \quad (33)$$

Вывод формулы для II группы клетей

Применяя равенство (32) к условиям данного варианта, получим:

$$b'_2 = b'_1 \gamma \sqrt[n_2]{\frac{k \mu_1^\varphi}{\gamma}} \frac{\left(\frac{k}{\gamma} \mu_1^{m-c} - 1\right) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) \left(\sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma} \mu_1^{m-c} - 1}\right)}. \quad (34)$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a'_2 через a'_1 , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1}\right)}{\frac{n'_2 + b'_1 \gamma \sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma} \mu_1^\varphi} \frac{\left(\frac{k}{\gamma} \mu_1^{m-c} - 1\right) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) \left(\sqrt[n_2]{\frac{k}{\gamma} \mu_1^{m-c} - 1}\right)}}{n'_1 + a'_1}. \quad (35)$$

Результаты приведенных выше аналитических выводов представлены графически для вариантов I, II, IV и V в виде номограммы (фиг. 141) для I группы обжимных клетей.

При построении номограммы, приняты:

1. Соотношение между подсобным и машинным временем 1:1 для всех вариантов.

2. Для IV и V вариантов, связанных с сокращением числа пропусков, число пропусков до сокращения принято 9, после сокращения — 7. Средний коэффициент вытяжки при 9 пропусках (для слитка A_1) — 1,30.

По оси абсцисс отложены изменения (уменьшение или увеличение) развесов слитков или заготовок (k), где за единицу принят величина первоначального веса исходного металла прокатки.

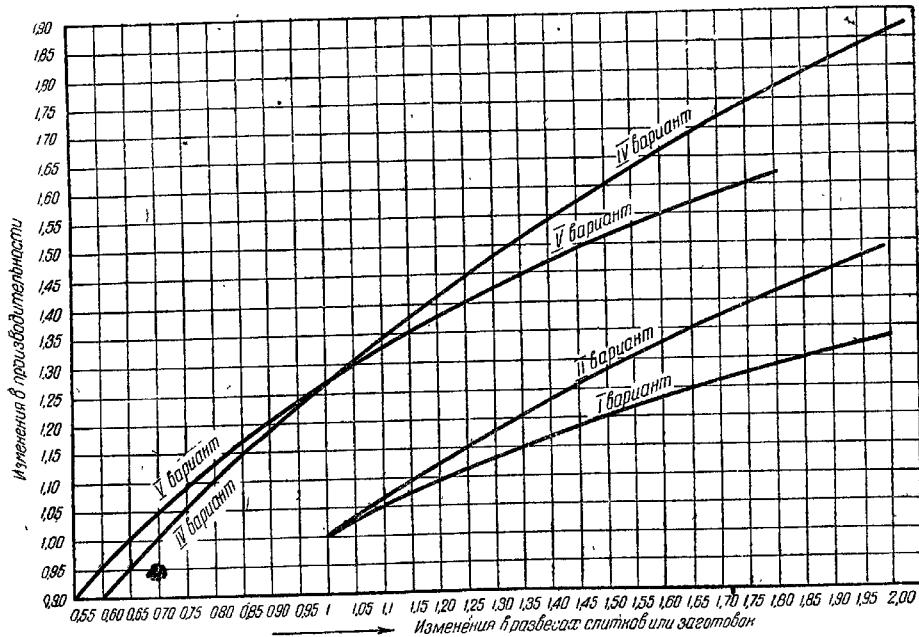
По оси ординат отложены соответственные изменения в производительности (x). Единице здесь соответствует производительность, существующая до применения того или другого варианта.

Для вариантов IV и V, связанных с сокращением числа пропусков, неизменный развес слитков также дает увеличение производительности, что и видно из номограммы. Например, при сокращении пропусков с 9 до 7 и при неизменных размерах и весах заготовок производительность возрастает на 27%.

Сравнение кривых I и II вариантов подтверждает большую эффективность II варианта, при котором увеличение развеса слитка происходит за счет увеличения размеров поперечного сечения.

Чем больше увеличивается развес слитка, тем больше оказывается преимущество II варианта.

Из сравнения кривых IV и V вариантов видно, что при увеличении развесов слитков увеличение производительности больше при IV варианте, когда развес слитка увеличивается за счет увеличения размеров поперечного сечения. При уменьшении же развесов слитков имеем обратное явление.



Фиг. 141. Номограмма изменения пропускной способности обжимных клетей I группы при изменении размеров слитков или заготовок

4. Черновые и чистовые линии

Предположим, что клеть или линия клетей работает с заготовкой A_1 и мы желаем узнать как изменится пропускная способность клетей, если вести прокатку из заготовки, размеры которой в сравнении с заготовкой A_1 изменились, причем в зависимости от коэффициентов вытяжки, допускаемых при прокатке, изменение этих размеров может повлечь к изменению числа пропусков.

Эти изменения дадут те же шесть вариантов, что и для обжимных клетей.

В расчетах по всем шести вариантам необходимо исходить из графиков работы клетей.

Для удобства расчетов все графики нормальной работы черновых и чистовых клетей или линий разбиваются на три группы.

В первую группу войдут линии или клети, на которых прокатка производится без перекрытий, т. е. прокатка следующей штукой не начинается до конца прокатки предыдущей.

К данной группе в основном относятся клети среднесортных и крупносортных станов, прокатка в которых, после обжима сосредоточена в одной или двух (при небольшом числе пропусков) клетях.

График работы клетей, характерный для этой группы, представлен на фиг. 131.

Темп прокатки по этому графику определяется:

$$T = \sum_m^n t_m + \sum_n t_n + g.$$

Во вторую группу войдут клети или линии клетей, работающие с перекрытиями. К этой группе относятся:

а) черновые клети или черновые линии, работающие с перекрытиями, темп прокатки которых определяется клетью, имеющей наибольшую сумму машинного и подсобного времени;

б) чистовые линии при наличии на одной или нескольких клетях числа пропусков > 1 , что характерно для чистовых линий мелкосортных станов, расположенных в одну линию с подготовительными клетями. Типовый график такой работы представлен на фиг. 135.

Темп прокатки по этой группе клетей можно выразить в общем виде:

$$T = \sum_c^m t_m + \sum_c^n t_n + g,$$

где c и m — начальный и конечный пропуски, входящие в темп прокатки.

В третью группу войдут линии клетей, работающие с перекрытиями, при условии, что темп прокатки определяется последним отделочным пропуском.

Это характерно для чистовых линий мелкосортных станов, имеющих по одному пропуску в каждой клети.

На фиг. 136 представлен график работы чистовой линии стана 250 завода имени Петровского при прокатке круглого железа $\varnothing 14$ мм.

Темп прокатки по данному графику в общем виде определяется:

$$T = \sum_n t_m + p,$$

где $\sum_n t_m$ — машинное время в последнем пропуске;

p — интервал между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей штуки в последнем отделочном пропуске.

Для первой группы черновых и чистовых линий или клетей расчеты по всем шести вариантам дадут те же формулы для изменения производительности, что и соответствующие варианты для обжимных клетей.

Для второй группы первые два варианта также дают аналогичные обжимным клетям формулы:

Для остальных четырех вариантов расчеты по второй группе клетей следует производить, рассматривая два случая:

Первый случай. Когда произошедшие изменения в числе пропусков и размерах заготовок не изменяют существующего порядка прокатки и узкого места, т. е. клеть наиболее нагруженная до изменения, после изменения числа пропусков остается также более нагруженной, чем остальные клети. Например, на фиг. 142 представлен график нормальной работы чистовой линии стана 500 завода имени Ворошилова при прокатке круглого железа $\varnothing 45 \text{ mm}$. Прокатка после обжима проводится в трех клетях: — первая клеть имеет шесть пропусков, вторая и третья клети — по одному пропуску.

Темп прокатки определяется первой клетью:

$$T = \sum_1^4 t_m + \sum_1^5 t_n + g.$$

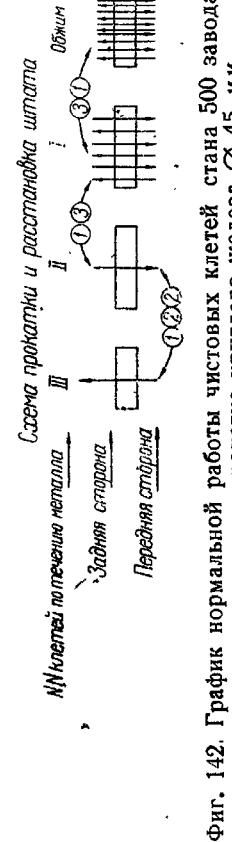
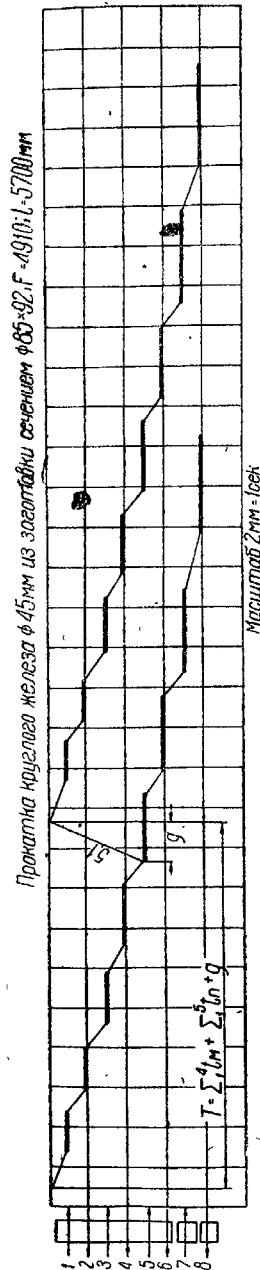
Если на первой клети сократить два пропуска и вести прокатку за четырехпропускную, то темп прокатки в этом случае будет определяться той же клетью и составит:

$$T = \sum_1^2 t_m + \sum_1^3 t_n + g.$$

Для этого случая формулы для подсчета изменения производительности по остальным четырем вариантам будут такими же, как и для II группы обжимных клетей.

Второй случай. Когда в результате сокращения числа пропусков меняется узкое место линии, т. е. сумма времени, затрачиваемого на прокатку в интервале пропусков, определяющем темп прокатки до изменения,

становится после изменения меньше, чем время на прокатку в последнем пропуске.



Фиг. 142. График нормальной работы чистовых клетей стана 500 завода имени Ворошилова при прокатке круглого железа $\varnothing 45 \text{ mm}$.

В этом случае темп прокатки после сокращения числа пропусков будет определяться последним пропуском, т. е. рассматриваемая линия из второй группы переходит в третью группу клетей.

Для третьей группы клетей изменения в числе пропусков при неизменных размерах штук не дают эффекта в изменении производительности.

Принимая те же обозначения, что и при выводах формул для обжимных клетей, выведем для примера несколько формул для расчета изменения производительности.

Первый пример. Возьмем первый вариант для третьей группы клетей. Этот вариант предусматривает увеличение производительности за счет увеличения длины прокатываемой штуки.

Машинное время для последнего пропуска:

$$b'_1 = \frac{F_1 L_1}{F_n v} = \frac{L_1 q_1}{v},$$

$$b'_2 = \frac{F_2 L_2}{F_n v} = \frac{L_2 q_2}{v}.$$

Отношение их (так как F_n, v, F_1 и F_2 равны между собой), составит:

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{P_2}{P_1} = k$$

и тогда заменяя P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a'_2 через a'_1 в формуле (4), имеем:

$$X = \frac{k(a'_1 + b'_1)}{a'_1 + b'_1 k} = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1}\right)^*}{1 + \frac{b'_1}{a'_1} \cdot k}.$$

Эта формула одинаковая с формулой для обжимных клетей по первому варианту, применима и для первых двух групп черновых и чистовых клетей по первому варианту.

Таким образом, по первому варианту для всех трех групп клетей получается одна и та же формула.

Анализируя эту формулу мы приходим к выводу, что увеличение развеса штук увеличением длины эффективно только при большом удельном весе подсобного времени в темпе прокатки, т. е. для плохо механизированных клетей, работающих без перекрытий.

Второй пример. Возьмем III вариант для второй группы клетей, для второго случая.

Машинное время до изменения:

$$b_1 = \frac{L_1 \mu_1 c^{1/(m-c)} - 1}{v(\mu_1 - 1)}.$$

* При выводе этой формулы опережением пренебрегаем, но ввиду того, что оперируем отношением $\frac{b'_2}{b'_1}$, ошибка будет незначительна.

По условию темп прокатки после уменьшения числа пропусков будет определяться последним отделочным пропуском.

Машинное время в этом пропуске будет:

$$b'_2 = \frac{L_2 \mu_2^{n-\varphi}}{v} = \frac{L_2 q_2}{v};$$

откуда

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \frac{L_2 q_2 (\mu_1 - 1)}{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)},$$

так как $L_1 = L_2$ и $q_2 = q_1$, а конечные сечения для A_1 и A_2 одинаковы, то

$$b'_2 = b'_1 \frac{q_1 (\mu_1 - 1)}{\mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}.$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a_2 через p , получим:

$$X = \frac{1 + \frac{b'_1}{a'_1}}{p + b'_1 \frac{q_1 (\mu_1 - 1)}{\mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}},$$

где φ — число сокращаемых пропусков, p — подсобное время перед последним пропуском, постоянное до изменения и после изменения.

Третий пример. Четвертый вариант предусматривает изменение в производительности путем сокращения числа пропусков и увеличения размеров поперечного сечения при постоянной длине заготовок.

Вывод формулы для II группы клетей

Первый случай. Применяя равенство (5) к условиям данного варианта, имеем:

$$b'_1 = \frac{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}{v (\mu_1 - 1)};$$

$$b' = \frac{L_2 \mu_2^{c+1} (\mu_2^{m-c-\varphi} - 1)}{u (\mu_2 - 1)},$$

откуда

$$b_2 = b_1 \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} \right)^{c+1} \cdot \frac{(\mu_2^{m-c-\varphi} - 1) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) (\mu_2 - 1)},$$

заменив $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[k]{k \mu_1^{\varphi}}$, а μ_2 через $\sqrt[k]{k \mu_1^{m-c}}$, получим

$$b_2 = b_1 \sqrt[k]{k \mu_1^{\varphi}} \frac{(\mu_1^{m-c} - 1) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) (\sqrt[k]{k \mu_1^{m-c}} - 1)}.$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a'_2 через a'_1 , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1} \right)}{\frac{n'_2}{n'_1} + \frac{b'_1^{m-c-\varphi}}{\sqrt[k]{k \mu_1^{\varphi}}} - \frac{(k \mu_1^{m-c} - 1) (\mu_1 - 1)}{(\mu_1^{m-c} - 1) (\sqrt[k]{k \mu_1^{m-c}} - 1)}}.$$

Второй случай. Применяя равенство (5) к условиям данного варианта, имеем:

$$b'_1 = \frac{L_1 \mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}{v (\mu_1 - 1)},$$

$$b'_2 = \frac{L_2 \mu_2^{n-\varphi}}{v},$$

откуда

$$\frac{b'_2}{b'_1} = \frac{\mu_2^{n-\varphi} (\mu_1 - 1)}{\mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}.$$

Заменяя $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ через $\sqrt[k]{k \mu_1^{(m-c)-(n-\varphi)}}$, а μ_2 через $\sqrt[k]{k \mu_1^{m-c}}$, получим:

$$b'_2 = \frac{b'_1 \sqrt[k]{k \mu_1^{(m-c)-(n-\varphi)} (\mu_1 - 1)}}{\mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}.$$

Заменяя в равенстве (4) P_2 через P_1 , b'_2 через b'_1 и a_2 через p , получим:

$$X = \frac{k \left(1 + \frac{b'_1}{a'_1} \right)}{p + b'_1 \frac{\sqrt[k]{k \mu_1^{(m-c)-(n-\varphi)} (\mu_1 - 1)}}{\mu_1^{c+1} (\mu_1^{m-c} - 1)}}.$$

Следует отметить, что выведенные выше формулы для определения пропускной способности клетей прокатных станов при изменении размеров слитков или заготовок не являются абсолютно точными, но вполне пригодны для практических расчетов.

Некоторая сложность выведенных формул объясняется тем, что они здесь представлены в общем виде. В частных случаях, при расчете изменений производительности конкретных станов, указанные зависимости значительно упрощаются.

Имеющиеся в технической литературе работы по этому вопросу инж. Н. Н. Шадрина¹ и инж. Г. М. Гильмана², работа которого является развитием первой работы, далеко не исчерпывают сущности вопроса, ограничиваясь разбором II—III вариантов.

Практически на заводах, при установлении размеров исходного металла для прокатки, часто упрощают эту задачу и далеко не исчерпывают всех возможностей, приоравливаясь в большинстве случаев к существующему оборудованию. Установленные при этом размеры слитков или заготовок не являются оптимальными.

Удобство предлагаемого метода расчетов заключается в том, что для определения изменения в пропускной способности клетей при изменении размеров слитка или заготовок требуется весьма немного данных, а именно: график нормальной работы клети или линий клетей и средние и общие коэффициенты вытяжек при существующих размерах исходного металла.

В заключение необходимо отметить, что подбор оптимальных размеров исходного металла для прокатки не должен ограничиваться установлением индивидуальных размеров для каждого стана. Наоборот, после установления оптимальных размеров слитков или заготовок по одному стану необходима увязка этих размеров и по другому стану. После окончания подобной работы на всех заводах возможна унификация и стандартизация размеров слитков и заготовок для всех заводов СССР.

Большое разнообразие в размерах и весах слитков и заготовок создает большие трудности для нашей металлургии как в смысле изготовления изложниц, так и в отношении переброски слитков или заготовок для прокатки с одних заводов на другие.

Установление некоторого минимума оптимальных размеров облегчает вопрос снабжения обжатой заготовкой сортовых станов.

Унификация и стандартизация размеров слитков и заготовок в конечном счете должны явиться основной предпосылкой для типизации оборудования прокатных станов (размер валков, соединительных деталей, муфт и т. д.) и унификации калибровок валков.

¹ ЖРМО № 3, 1925 г.
² ЖРМО, 1926 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Обжимные клети сортовых станов	
1. Классификация трио-обжимных клетей сортопрокатных станов	6
2. Техническая характеристика обжимных клетей	7
3. Основные требования к рациональной калибровке валков	11
Глава II. Обжатия, вытяжки и верхние давления на обжимных трио-стенах	
1. Значение качества исходного металла прокатки и два способа обжатия в ящичных калибрах	12
Величины обжатий, вытяжек и углов захвата	16
Верхние давления и секундные растяжения	23
Верхние давления на существующих трио-обжимных станах	28
Глава III. Построение калибров, применение насечек и наварок на обжимных трио-стенах	
1. Элементы построения прямоугольных калибров	46
Насечки и наварки валков	52
Переход от прямоугольных калибров к вытяжным и вытяжные калибры	56
Некоторые примеры калибровки трио-обжимных клетей	62
Глава IV. Рационализация калибровок подготовительных или черновых клетей сортовых прокатных станов	
1. Выбор системы калибровки	70
Определение минимального числа пропусков	72
О распределении вытяжек при прокатке	73
Уширение металла при прокатке	75
Глава V. Калибровка подготовительных (черновых) клетей крупносортных станов	
1. Система „квадрат - квадрат“	82
2. Система „ромб-квадрат“	87
	89
Глава VI. Калибровка полосового железа	
1. Два способа прокатки полосового железа	92
2. О распределении вытяжек при прокатке полосового железа	95
3. Калибровка полосового железа, прокатываемого в закрытых калибрах	98
4. Прокатка полосового железа в гладких валках	109
Глава VII. Калибровка черновых линий и черновых (подготовительных) клетей (бушеров) мелкосортных станов	
1. Система „овал-квадрат“	114
2. Система „ромб-квадрат“	134
	141

Стр.

3. Система „ромб-ромб“	146
4. Система „овал-круг-oval“	147
5. Сравнение системы калибров „овал-круг-oval“ с другими системами	154

Глава VIII. Калибровка круглого и квадратного железа

1. Калибровка круглого железа	159
2. Чистовые калибры при прокатке мелкосортного круглого железа	159
3. Предчистовые круглые калибры при прокатке круглого железа по системе „круг-овал-круг“	168
4. Чистовые калибры при прокатке крупносортного круглого железа	171
5. Применение ребровых калибров при прокатке круглого железа крупных размеров	175
6. Калибровка квадратного железа	179

*Глава IX. Графический способ для проверки и расчетов калибровок**Глава X. Оценка работы обжимных клетей прокатных станов по коэффициентам использования времени*

1. Коэффициенты использования времени	189
2. Обжимные клети мелкосортных станов	194
3. Анализ работы обжимов среднесортных и крупносортных станов	202

Глава XI. Оценка работы черновых и чистовых линий прокатных станов по коэффициентам использования времени

1. Черновые линии (бушеры) мелкосортных прокатных станов	206
2. Чистовые линии крупносортных, среднесортных и мелкосортных прокатных станов	213

Глава XII. Определение оптимальных размеров исходного металла прокатки (слитков или заготовок) на сортопрокатных станах

1. Общие положения	235
2. Основные предпосылки для расчетов	236
3. Трио-обжимные клети	238
4. Черновые и чистовые линии	250

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
7	Фиг. 1	На схеме фиг. 1 пропущена связь 2 й группы обжимных клетей с типом А	Ов. 15 × 43
123	7 графа	Ов. 25 × 43	Тр. 18 × 48
123	*	Тр. 18 × 18	18%
145	1 св.	36%	55 × 75
178	Табл., 10 графа	55,75	

1415,1563