

Проф. В. ТРИНКС
Институт Карнеги, Питтсбург, США

КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Перевод с английского
инж. Ю. Казименко
под ред. А. В. Истомина

1935
ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
МОСКВА • ЛЕНИНГРАД • СВЕРДЛОВСК

Roll Pass Design

Part II

By
W. Trinks

Книга проф. Тринкса является ценным вкладом в прокатную литературу. Первая часть этой книги разбирает качественную сторону явлений при прокатке в калибрах и способы учета этих явлений при калибровке валков.

Большой и полный охват всех явлений, происходящих при прокатке, а также рассмотрение некоторых вопросов, недостаточно освещенных в нашей специальной литературе, и оригинальный подход к рассмотрению ряда явлений — делают ее особенно ценной.

В книге имеется также значительный расчетный материал и ряд сведений из американского производственного опыта. Все это делает книгу весьма полезной и интересной для инженеров и техников, работающих по практике.

ОГЛАВЛЕНИЕ	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
Г л а в а I. Прокатка квадратных и близких к квадратным сечений	5
Калибровка валков блуминга (5). Валки блумингов трио (12). Блуминги дуо tandem (19). Калибровка заготовки (24). Калибровка чистовых квадратов (39).	
Г л а в а II. Прокатка плоских сечений	44
Валки слабинга (44). Прокатка полос (45).	
Г л а в а III. Прокатка сортового железа.	59
Шестигранное железо (59). Круглое железо (59). Система расположения калибров для быстрого обжатия (65).	
Г л а в а IV. Прокатка фасонных профилей	73
Прокатка углового железа (73). Неравнобокое угловое железо (81). Швеллер (82). Двутавровые балки (91). Тавровое железо (98). Прокатка рельс (104). Перекатка старых рельс (112). Неправильные и сложные профиля (112).	
Г л а в а V. Периодическая прокатка	122
Г л а в а VI. Сопротивления в прокатном стане (расход энергии при прокатке)	129

Введение

Изложенная в первой части теория явлений, происходящих при прокатке, служит лишь одной цели — калибровке валков и их конструированию. Поэтому является целесообразным приложить эту теорию на практике и рассмотреть примеры калибровки обычных прокатных профилей, — тем самым подробнее изучив и расширив наши теоретические познания. При этом мы увидим, где кончается область теории и где начинается область практики и искусства калибровщика.

Глава первая

ПРОКАТКА КВАДРАТНЫХ И БЛИЗКИХ К КВАДРАТНЫМ СЕЧЕНИЙ

Калибровка валков блуминга

Блумы, прокатываемые на обжимных станах — по-английски блуминг — обычно имеют квадратное, или почти квадратное сечение. Эта форма наиболее обеспечивает благополучное проталкивание блумов через методические печи перед дальнейшей прокаткой на сорта, хорошее прохождение по рольгангам, безопасную укладку в штабеля в складах, и наконец квадратный профиль весьма легко прокатывается в другие профиля меньшего сечения. Действительно, квадрат является почти всегда начальным профилем для прокатки многочисленных прокатных изделий.

Имеются, конечно, исключения из этого положения, но их немного.

В течение многих лет сталеплавильные цеха выпускали слитки квадратного сечения с закругленными углами, и большинство слитков сохранило эту форму до настоящего времени. В последние годы на некоторых заводах применяются слитки волнистого и почти круглого сечения¹. В несколько пропусков сечение их превращается в квадратное с закругленными углами, а в последнее время — в восьмигранное, которое в свою очередь дальнейшей прокаткой постепенно доводится до квадратного.

Причины этого изменения формы слитка носят чисто металлургический характер и находятся вне рамок этой книги, в которой мы рассматриваем исключительно механическую сторону калибровки валков. Тем не менее калибровщик должен по возможности приспособляться к требованиям, вытекающим из современных металлургических воззрений.

Прокатка квадратных блумов из почти квадратных слитков в США достаточно стандартизована, чего нельзя сказать о прокатке из круглого сечения в промежуточный восьмигранный профиль и затем в квадрат. При нормальном методе прокатки из квадратного слитка, и слиток, и блум, и промежуточные сечения прокатываются плашмя, что очень удобно, тем более, что на одном и том же стане иногда приходится прокатывать и другие продукты, например слябы (плоскую заготовку для листов), или заготовку для двухтавровых балок. При диагональной прокатке, ролики рольгантов

¹ Главным образом для качественной стали. Прим. перев.

пришлось бы калибровать, а при этом калибры роликов не смогут всегда приходиться против калибров различных валков для различных профилей; кроме того калибровка роликов рольганга мешает поперечному передвижению прокатываемой полосы, необходимому для передачи ее из одного калибра в другой.

Прокатка слитка плашмя приводит к применению открытых калибров и как правило к прокатке на станах дуо, так как только на стане дуо можно быстро изменять расстояние между валками. Кроме того при применении открытых неглубоких калибров, валок получается наиболее прочным. Изменение расстояния между валками

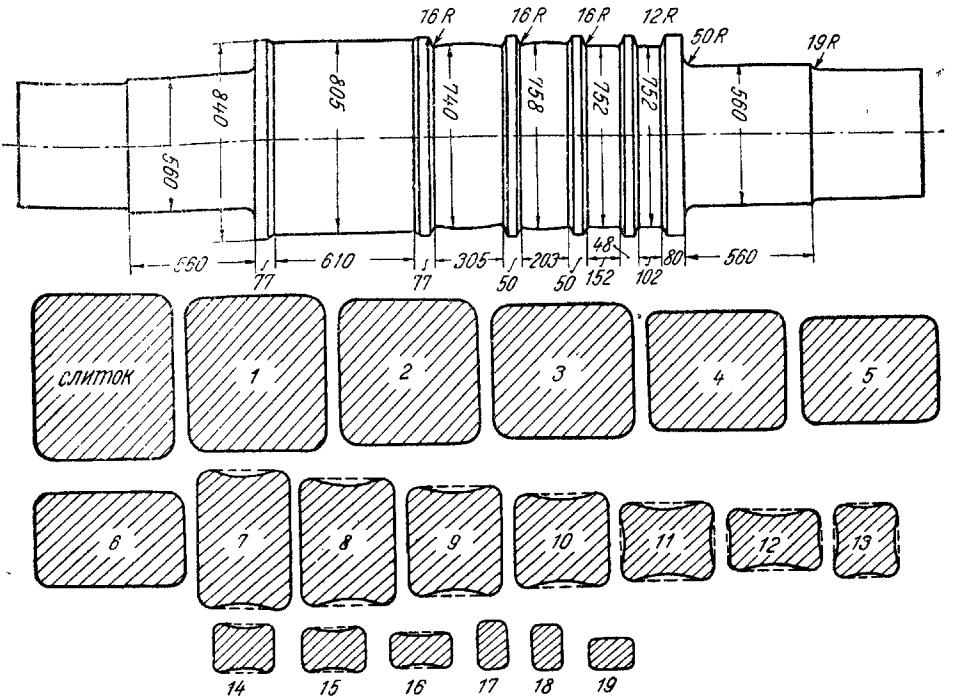


Рис. 148. Калибровка блуминга дуо (первый пример).

необходимо, если стан должен выпускать заготовку различных сечений.

Применение закрытых калибров недопустимо, ибо прокатываемые сечения велики по сравнению с диаметром валка и калибры врезались бы очень глубоко в тело валка при чрезмерно высоких буртах.

Пример калибровки блуминга показан на рис. 148 и на табл. 8. Он заимствован из книги Кемпа и Френсиса «Производство и обработка стали», и является прекрасным примером стандартного метода, применявшегося в течение многих лет, и теперь еще применяющегося на многих станах без изменений.

Обращаясь к табл. 8 замечаем, что площадь проекции поверхности соприкосновения полосы с валком получена, как было объяснено в первой части, умножением горизонтальной проекции дуги со-

КАЛИБРОВКА БЛУМИНГА (к рис. 148).

Kanigrd №	Höhenr. mm	Bildmaat mm	Dokare cm ²	Dokare %	Среднее напряжение в теле валка кг/см ²																						
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	610	482	542	2550	140	5,5	1205	40	0,94	563	324	72	23390	257	92	184	2	262	551	2140							
2	610	490	468	2290	150	6,09	122	596	40	1,03	584	348	73,5	25500	276	566	97	394	2	283	595	2340					
3	610	482	435	2100	185	8,45	148	634	40	1,28	612	430	88,5	26600	341	700	1120	240	2	349	735	3500					
4	610	490	392	191,5	185	8,62	130	665	40	1,27	620	391	78	30550	310	637	110	220	2	318	670	2810					
5	610	498	346	172,7	195	10,1	135	665	60	2,19	740	491	81	39300	388	795	137	274	2	327	760	5450					
6	610	504	302	1520	200	11,6	130	651	60	2,40	775	505	78	39300	399	818	140	280	2	409	860	5410					
7	610	312	437	1370	150	10,2	153	470	60	1,96	775	364	91,5	33300	193	395	205	410	2	426	895	4600					
8	610	318	386	1225	145	10,4	135	426	60	1,98	796	338	81	27350	179	369	177	354	2	397	760	3770					
9	610	318	343	1190	135	11,0	125	398	80	2,76	945	375	75	28100	198	408	205	410	2	440	922	5180					
10	610	322	292	942	148	13,6	135	432	80	3,38	1125	486	81	39300	257	527	264	528	2	569	1200	7220					
11	610	315	250	787	155	16,5	159	484	80	4,26	1300	652	95,5	60000	333	647	342	684	2	740	1550	11000					
12	610	322	190	113	174	22,0	145	465	100	5,85	1440	672	87,5	58500	355	726	366	732	2	790	1590	13400					
13	610	305	205	247	506	107	17,7	165	326	100	5,52	1510	495	99	48800	181	370	349	698	2	528	1110	11200				
14	610	305	214	386	120	23,7	155	324	100	6,75	1590	518	93	47900	189	888	366	732	2	552	1165	11000					
15	610	315	197	152	300	86	22,3	120	9,00	517	89,5	1725	486	83,5	40450	174	677	2	508	1070	11200						
16	610	303	207	100	1170	120	10,6	110	114	1055	120	6,85	1960	224	66,5	14850	32	65	209	418	5	126	185	4090			
17	610	302	107	174	185	22	10,6	110	111	1032	140	8,76	2165	241	61,5	14700	34	70	225	450	5	135	199	4730			
18	610	302	104	2370	1020	140	7,75	1020	86	156	155	101	57	86	3,02	6950	49	99	169	338	4	172	246	1240			

таблица 8.

прикосновения на среднюю ширину полосы. Значение интенсивности обжатия и сопротивления сжатию основывается на возрастающей от пропуска к пропуску скорости прокатки, равной в начале 40 об./мин. и в последнем пропуске — 140 об./мин. Значения крутящего момента в столбце 17 получены перемножением чисел столбцов 15 и 16 и не учитывают трения в шейках валков. Если стан оборудован обычными подшипниками, то для определения полного крутящего момента значения столбца 17 следует увеличить приблизительно на одну треть. Следует иметь в виду, что значения вертикальной силы, действующей между валком и полосой (столбец 15), и крутящего момента (столбец 17) являются лишь приближенными средними значениями и колеблются во время прохождения полосы между валками, так как температура и скорость прокатки непостоянны.

Столбы от 18 до 24 дают изгибающие напряжения в начале шейки и в теле валка у основания калибров. Во всех случаях левая колонка цифр дает теоретическое напряжение, как частное от деления изгибающего момента на момент сопротивления сечения, правая же дает вероятные действительные напряжения с учетом влияния изменения сечения, радиусов закруглений и т. д.

Следует заметить, что напряжения валка в данном примере, а также и в следующем, весьма невелики, и может показаться возможным применить более длинные, или более тонкие валки. Действительно в Германии валки обычно длиннее и сортамент, выпускаемый блумингом, шире. Но там прокатку ведут с пониженной окружной скоростью и добавочные ударные напряжения в момент входа полосы в ручей, неываемые расчетом, значительно ниже.

Значения потребной мощности и напряжения валков табл. 8 высоки и возможно, что в действительности они меньше, так как табличные данные не соответствуют последним опытам, которые дают меньшие значения сопротивления металла сжатию; кроме того плечо момента принято равным 0,6 от длины проекции площади соприкосновения и может быть во многих случаях значительно меньше.

Это относится также к табл. 9—17.

Определение напряжений в валках блуминга может показаться многим излишним, так как на практике они ломаются редко. Однако может потребоваться увеличение обжатий против общепринятых, или применение более длинных валков с большим числом калибров и тогда определение напряжений необходимо.

Конструкции валка с гладкой частью бочки будет уделено значительное внимание ниже. Как увидим, этот валок имеет 5 врезных калибров различной ширины, но почти одного и того же диаметра. Начинающий калибровщик без сомнения спросит себя, зачем нужны эти калибры и почему все калибры имеют почти одинаковый диаметр, в то время как толщина полосы разная?

Отвечая на эти вопросы, заметим прежде всего, что действительно блум можно было бы прокатать и между короткими параллельными друг другу цилиндрическими валками без врезных калибров, но это опасно, так как при этом может получиться какое угодно сечение, но не квадратное. В первом пропуске полоса имеет одинаковую температуру внутри и снаружи и следовательно уши-

ряется больше вверху и внизу, чем в середине. После же некоторого охлаждения с поверхности, уширение становится равномерным, вертикальные стороны становятся плоскими и после кантовки полоса плотно ложится на ролльганг. Дальнейшее охлаждение вызывает большое уширение посередине полосы, стороны ее становятся выпуклыми и здесь начинаются неприятности. После кантовки полоса ложится на ролльганг выпуклой стороной (рис. 149 слева), в то время как для придания полосе устойчивости стороны ее должны быть прямолинейными и даже несколько вогнутыми, как показано справа. Таким образом, мы приходим к необходимости пропускать полосу, когда она достигла той стадии охлаждения, при которой начинает преобладать уширение средней части, через калибр с вогнутыми стенками.

В какой именно момент прокатки разница температур на периферии и в центре полосы достигает такой величины, что средняя часть начинает выпучиваться, предсказать трудно, и поэтому момент, когда надо начать противодействовать выпучиванию путем применения калибров с вогнутым дном, остается неопределенным точно. Отсюда наличие разнообразных калибровок валков блуминга. Некоторые калибровщики делают бочку и первые два калибра плоскими, а следующие — вогнутыми; другие делают плоскими только бочку и один калибр.

Слишком осторожные калибровщики делают вогнутыми все калибры, начиная с первого, но этому нет никакого оправдания кроме смягчения ударов при входе полосы в валки.

Далее может быть задан такой вопрос: пусть вогнутость калибров необходима, но зачем нужны бурты между ними? Ответ прост. Поливка водой валков и ее испарение ухудшают видимость на стане и машинисту, находящемуся на площадке управления, очень трудно было бы определить точно место, куда нужно подать полосу, если бы не было буртов; кроме того последние предупреждают образование трещин на полосе.¹ С задней стороны стана, противоположной той, на которой расположена платформа управления, полосу трудно задавать, из-за чего нельзя делать кантовку после каждого пропуска. Кроме того, благодаря выпуклости валков на дне и наверху калибров, деформирующие силы направлены не отвесно, но имеют горизонтальные составляющие, стремящиеся выпустить боковые стороны, члену и противодействуют бурты. Отсюда ясна их необходимость. Конечно бурты сжимают полосу лишь за счет недопущения уширения без абсолютного бокового

¹ Предупреждение трещин в металле благодаря буртам имеет место только при первых пропусках в данном калибре; после кантовки полоса часто становится уже калибра и уширяется свободно. Прим. ред.

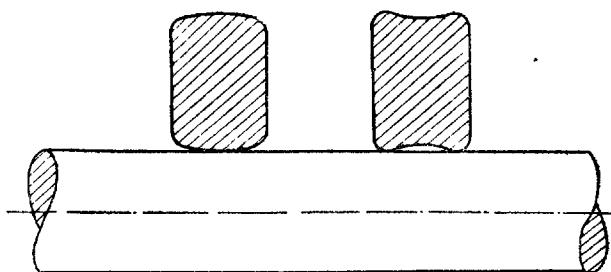


Рис. 149. Неустойчивое и устойчивое положение полосы на ролльганге.

давления; на это было указано в первой части. Там же говорилось о том, что недопущение уширения создает боковые давления, составляющие для квадрата около 30% основной вертикальной силы. Поэтому бурты валков блуминга весьма быстро изнашиваются. Это видно при прокатке по непрерывному потоку искр, испускаемому буртами валков.

Все это объясняет общую форму валков блуминга за исключением того, что диаметры валка по калибрам почти постоянны. Для объяснения последнего обстоятельства необходимо изучить взаимоотношения между полузаконченной штукой, нижним валком и рольгангом.

Из рис. 150 видно, что диаметр валка на дне калибра должен быть таким, чтобы дно калибра находилось выше рольганга на высоту, составляющую примерно половину обжатия. Так как обжатия в большинстве калибров близки друг к другу, то и диаметры

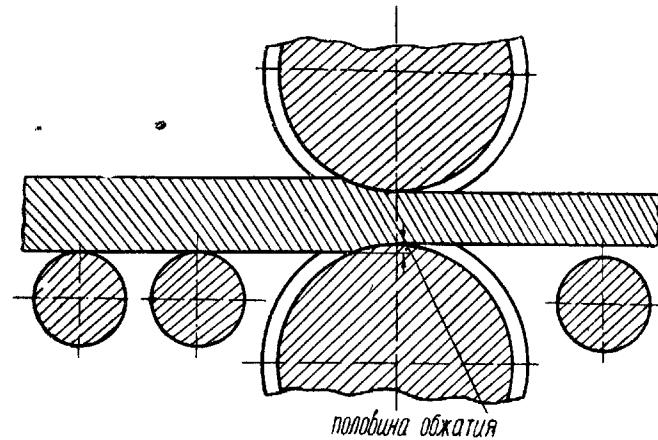


Рис. 150. Расположение валков относительно рольганга.

валка по дну калибров должны быть почти постоянны. Только в последнем калибре диаметр валков несколько уменьшается с целью получения возможно более высоких буртов для хорошего направления полосы, ибо применение для этой цели боковых линеек кантователя очень неудобно.

Возвращаясь к табл. 8 видим, что абсолютные обжатия, умеренные в первых пропусках, затем быстро возрастают, колеблясь по своей величине, и к концу прокатки сильно падают. Такое распределение обжатий характерно для осторожной прокатки. Первые пропуски служат для уничтожения конусности слитка и для закрытия подкорковых пузырей и их заварки. После этого обжатия возрастают, насколько позволяют прочность валка и мощность двигателя. Впрочем обжатие не должно быть настолько значительным, чтобы вызвать чрезмерные напряжения буртов. В конце прокатки, если желают получить точный профиль с хорошо выполненными углами, обжатия сильно уменьшают.¹

¹ При прокатке блум точных размеров, после предпоследнего пропуска и кантовки полосы на 90° не меняют положения валков и в последнем пропуске полоса обжимается только на величину уширения в предыдущем пропуске. Прим. ред.

Калибровщик должен быть знаком с методом прокатки настолько, чтобы быть в состоянии определить число калибров в валках блуминга и их размеры. Прежде всего это зависит от размеров исходного и конечного сечения. Рассматривая сперва гладкую бочку валка мы видим, что ширина ее должна быть по меньшей мере равна ширине слитка плюс уширение. Число пропусков на бочке ограничивается величиной давления, которое можно дать слитку до кантовки. Одно обстоятельство, вызывающее необходимость кантовки, упомянуто в первой части, а именно чрезмерное обжатие без укрепления боковых сторон калибра буртами вызывает образование трещин. Кроме того, когда поверхность слитка достаточно охлаждается, уширение в средней части станет больше, чем в верхней и нижней и прежде чем это наступит, боковым сторонам должна быть придана вогнутость. Для этого необходима кантовка и пропуск через калибр с вогнутым дном и верхом.

Так определяется толщина слитка в момент окончания прокатки на гладкой части бочки; перед подачей в первый врезной калибр полоса кантуется и то, что раньше было высотой полосы, становится ее шириной.

В первом врезном калибре боковые стороны и углы полосы не требуют защиты от трещин, так как они только что подвергались прямому обжатию при прокатке на бочке. Поэтому допустимо некоторое уширение, и ширина калибра может быть немного больше, чем ширина полосы. Допустимые в этом калибре обжатия определяются теми же соображениями, которые приводились выше, и отсюда получается число проходов в нем.

Ширина калибра должна быть такова, чтобы после первого пропуска углы полосы были плотно прижаты к буртам во избежание появления трещин. Это значит, что ширина калибра должна быть почти равной ширине полосы до входа в калибр плюс уширение за первый пропуск. Таким образом ширина калибра определяется довольно точно; также определяется и ширина следующего калибра по толщине полосы после последнего пропуска в предыдущем калибре.

При конструировании промежуточных калибров необходимо учесть размеры могущих потребоваться заводу промежуточных блумов и соответственно скорректировать размеры калибров, полученные теоретическими соображениями.

Вообще говоря, можно прокатать слиток сечением 500×500 мм в блум 200×200 мм в трех калибрах или в блум 100×100 мм в пяти калибрах, но при этом трудно получить промежуточные блумы стандартных размеров.

Следует отметить, что по мере уменьшения размеров калибров, они становятся более вогнутыми, так как прокатанный в недостаточно вогнутом калибре блум, легче случайно подать косо (по диагонали) в следующий плоский, широкий калибр, что даст ромбический профиль.

Высота буртов редко превышает 75 мм, так как это достаточно для хорошего направления полосы и для укрепления углов даже при блуме в 200 мм. Ширина бурта у его основания принимается

равной высоте по соображениям, приведенным в первой части книги. Уклон стенок бурта доходит до 10° .

Этим исчерпываются сведения, необходимые для проектирования валков блуминга. Остается остановиться лишь на том, насколько часто применяется описанная осторожная калибровка. Оказывается, к сожалению, что описанным правилам следуют очень редко. Примером нецелесообразной калибровки является табл. 9, составленная для валков из рис. 151, заимствованная также из книги Кемпа и Френсиса.

Таблица составлена аналогично предыдущей и из нее видно, что обжатие в первом пропуске слишком велико, что опасно, так

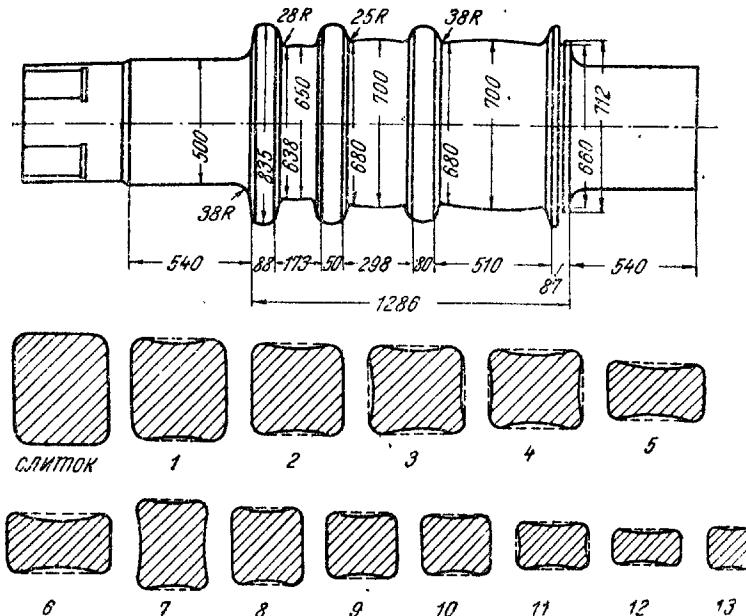


Рис. 151. Калибровка блуминга дуо (второй пример).

как в слитке могут появиться трещины, если только сталь не обладает исключительно хорошим качеством.

Отсюда ясно, что успешная работа дуо-реверсивного блуминга зависит как от прокатчика, так и от калибровщика. И при квадратном слитке, если обращаться с ним осторожно, поверхностные пороки в блоках могут быть сведены до ничтожного процента. Этому препятствует погоня за высокой производительностью. Однако на обжиме трио мы имеем дело с другими условиями.

Валки блумингов трио

Обжимные станы или блуминги-трио, в отличие от блумингов-дво, не допускают прокатки нескольких размеров заготовки из одного слитка в данном комплекте валков, но весьма пригодны для выпуска заготовки одного размера на раз поставленных валках. При умеренных обжатиях, производительность обжима много

Таблица 9.

Номера калибровки блуминга (к рис. 151).	Средние напряжения в теле валка kg/cm^2													Средняя (расчетная) мощность, $\text{c}\ \text{j}\text{kg}\text{ton}\ \text{tph}\ \text{mm}^2\ \text{m}^2$
	левая шайка	правая шайка	Максимальное напряжение в бочке валка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	2670
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	2210	
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	3160		
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	454	2500	
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	454
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	451
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	340
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	308
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	348
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	308
11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	308
12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
13	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25

выше, чем реверсивного дуо, но зато, вследствие больших обжатий и высоких скоростей прокатки в первых пропусках, прокатка на трио является для стали тяжелым испытанием. Некоторые плавки стали содержат газовые пузыри под поверхностью слитка, которые при быстрой прокатке и сильном обжатии разрываются и дают на-чало поверхностным порокам всех видов. Это неизбежно увеличивает расходы на вырубку пороков.

Тем не менее калибровка валков обжима трио представляет значительный интерес, а число этих станов еще весьма велико. Поэтому мы уделим ей здесь некоторое внимание.

Для уменьшения длины валка, один пропуск располагается над другим, и ручей среднего валка является общим для верхнего и нижнего калибров. Кантовка и переход в другой калибр допустимы только с той стороны стана, где расположен пульт управления и следовательно пропуск «на ребро» возможен только в нижних калибрах. Как дальнейшее следствие такого размещения калибров, обжатия в нижних калибрах больше, так как большое обжатие скантованной полосы не допускает значительной глубины врезов среднего валка.

При таком способе прокатки кантовка происходит после каждого двух пропусков. В первых двух пропусках уменьшается толщина слитка, затем происходит кантовка, и в следующие два пропуска обжимается то, что раньше было шириной слитка, за кантовой опять два пропуска и т. д.

Обжатия должны быть весьма значительными. Каждая пара калибров (верхний и нижний) проходит полосой только по одному разу, и валок умеренной длины можно получить, только применяя большие обжатия. Действительно, уменьшение обжатий потребовало бы большего числа калибров, которые, в силу ограниченной, по соображениям прочности, длины валка, пришлось бы разместить в двух клетях. Предположение, что при легких обжатиях и меньших усилиях в стане длину валка можно было бы увеличить, неверно, так как поверхность соприкосновения металла с валком, а следовательно и напряжение валков, уменьшаются гораздо медленнее, чем обжатие.

Для уменьшения поверхности соприкосновения металла с валком вдвое необходимо уменьшить обжатие в 4 раза. И поскольку сила, действующая на валки, почти пропорциональна площади соприкосновения, она уменьшается меньше, чем уменьшается обжатие, а изгибающий момент, пропорциональный произведению силы на длину валка, увеличивается при малых обжатиях.¹

Поэтому применяемые в данном случае обжатия настолько велики, насколько это допустимо условиями захвата металла валками, а также металлургическими соображениями. Последними впрочем часто пренебрегают и обжатия определяют, исходя только из возможности захвата полосы, с поправкой иногда на мощность двигателя.

Рассмотрим два примера калибровки обжима трио. Первый заимствован из книги Кемпа и Френсиса. Рассмотрение рис. 152 показывает, что калибровка имеет 9 пропусков, что бурты имеют не-

большой уклон, что уширение полосы не допускается и что обжатие в нижних калибрах больше, чем в верхних.

Эти валки служат для прокатки слитка сечением $535 \times 585 \text{ мм}$ в блум $230 \times 255 \text{ мм}$, т. е. обжатие на одну сторону составляет 305 мм, на другую — 330 мм, или всего 635 мм. Поскольку имеется 5 нижних и 4 верхних пропуска, и конструктор решил дать большее обжатие в нижних пропусках, обжатие в них принято по 75 мм, а в верхних — по 65 мм, что в сумме и составляет 635 мм.

Табл. 10 дает размеры калибров, площади их, обжатия, углы захвата, площади соприкосновения металла с валком, сжимающие силы и произведение силы, действующей на валки, на плечо, т. е. момент. Последний во всех калибрах значителен и имеет наибольшее значение в нижних калибрах. Верхний, средний и нижний валки могут быть одинаковыми, но расстояния между центрами верхней

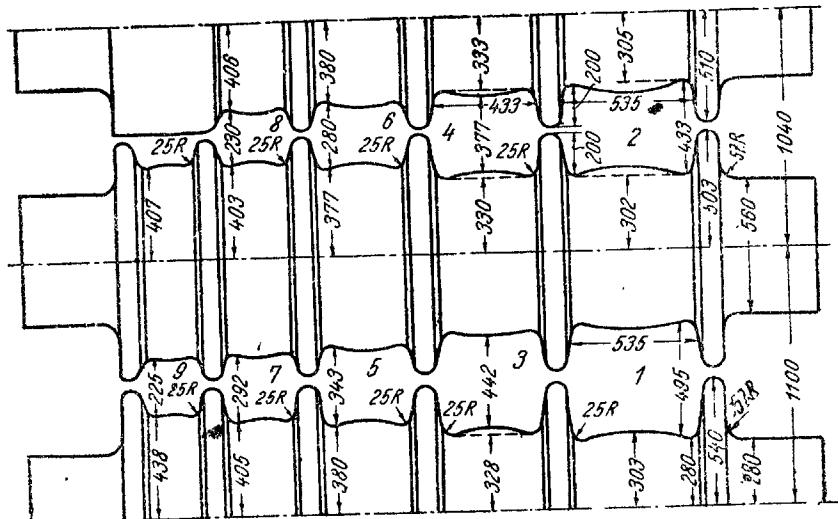


Рис. 152. Калибровка блуминга трио (первый пример).

пары при этом должны быть меньше чем нижней, чтобы получить меньшую высоту калибров и меньшие обжатия вверху. В рассматриваемом же примере верхний валок немного толще среднего, а последний толще нижнего. В первой части книги упоминалось о том, что это явление весьма необычно для обжимных станов, так как при большем диаметре верхнего валка тяжелая полоса стремится загнуться книзу и бьет своим концом о ролики рольганга.

Так как при определении ширины калибра уширение не принято, или почти не принято во внимание, то бурты испытывают боковое давление, равное 25—30% от вертикального. Поэтому износ их значителен и валки служат недолго. Новые валки изготавливаются на 20 мм толще номинального размера и выбрасываются, когда станут на 20 мм тоньше его. Срок службы валка определяется стойкостью буртов.

Во всех калибрах рис. 152 валки имеют выпуклость. Считается, что в блумингах-трио это способствует смягчению ударов при за-

¹ В случае увеличения длины бочки валка. Прим. ред.

(Krusc 152).

При мечани е. Число оборотов валков — 54 в минуту.

хвата полосы валками. После третьего или четвертого пропуска вогнутость калибров служит для предупреждения уширения средней части сечения полосы.

Другой пример калибровки валков блуминга трио дан на рис. 153 и на табл. 11. Здесь мы так же имеем 9 пропусков; разница по сравнению с предыдущим примером заключается в большем уклоне буртов и в возможности уширения полосы. За исключением калибров 1, 3 и 5 нижнего валка, все они имеют вогнутость. Как и ранее, обжатия в нижних калибрах больше чем в верхних.

Сравнение между валками блумингов дуо и трио показывает, что напряжения в последних выше; удар в момент входа полосы

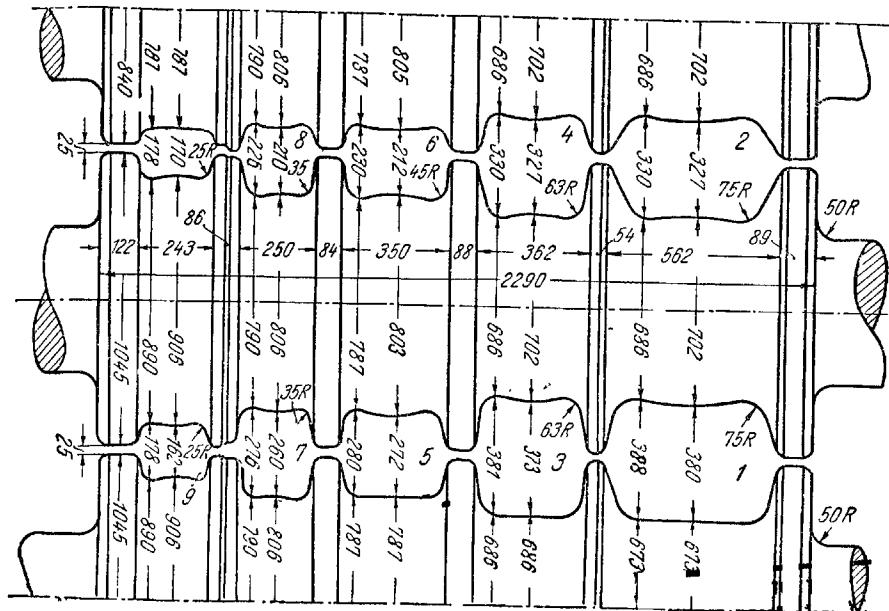


Рис. 153. Калибровка блуминга трио (второй пример)

в валки сильнее; застревание полосы в валках случается редко, так как холодная полоса,ющая остановить реверсивную паровую машину или электродвигатель, не сможет затормозить большой маховик. Процесс деформации весьма прост и легко понятен.

Все возрастающее производство специальных сталей приводит к желанию прокатывать мягкую и специальную сталь на одном и том же стане, на одних и тех же валках. Как правило такая попытка не удается. Сопротивление большинства специальных сталей сжатию настолько значительно по сравнению с мягкой сталью, что валки ломаются. Так как свойства специальных сталей варьируют в широких пределах, то для всех сталей общего правила дать нельзя. Где возможно, обжатия (давление) должны быть уменьшены до 70% от тех, которые применяются для мягкой стали, где это возможно, валки могут быть сделаны из кованой никелевой стали и уширение должно сдерживаться буртами, но немного, так как трение между полосой и буртами требует энергии и увеличивает силы

Таблица 11 (к рис. 153)

Krangle №	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Flächengewicht kg/m ²	Средние напряжения в теле валка кг/см ²									
					левая шейка	правая шейка	максимальные напряжения в бочке валка	рекомендованное						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	457	457	2025	195	12,3	26,9	152	716	1220	2,1	634	454	92	41900
1	1	564	475	384	1830	245	13,0	23,7	139	671	1220	2,3	669	450
2	2	564	488	326	1595	377	1305	290	18,0	33,0	188	632	1210	2,5
3	3	361	345	348	225	955	275	345	135	10,4	20,6	122	426	1210
4	4	361	358	348	225	955	275	345	1170	135	10,4	20,6	177	594
5	5	348	345	348	225	784	171	17,9	20,8	141	490	1200	3,2	831
6	6	348	348	348	225	655	129	16,3	26,0	175	410	1195	3,1	860
7	7	246	244	246	217	539	116	17,9	20,7	141	346	1190	3,2	880
8	8	246	246	246	217	539	116	17,9	20,7	141	414	1180	4,6	1005
9	9	241	236	236	170	403	136	25,3	24,0	182	414	1180	4,6	1005

Примечание. Число оборотов валков — 58 в минуту.

н — нижний валок, с — средний валок.

действующие на валки. По этой же причине разница в диаметрах верхнего и нижнего валков должна быть небольшой.

Наконец в некоторых случаях при прокатке специальной стали приходится давать большие обжатия в первых пропусках и меньшие в последних, так как некоторые сорта стали, будучи мягкими при высокой температуре, подобно обыкновенной стали приобретают высокую твердость при низкой температуре.

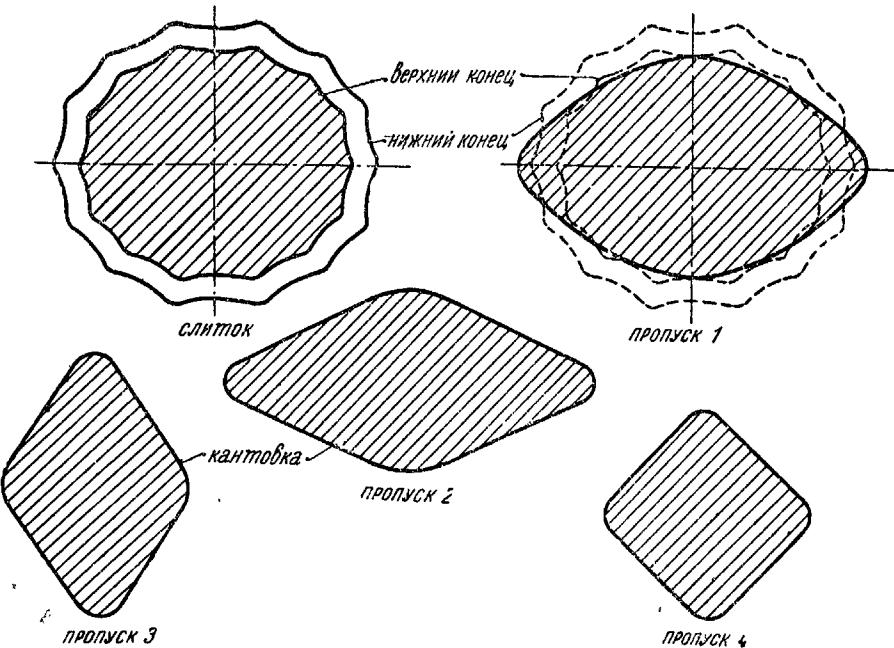


Рис. 154. Схема калибровки для прокатки многогранного слитка в блум 165 × 165 мм

Блуминги дуо tandem

Выше указывалось, что прокатку на реверсивных станах дуо с изменяемым положением верхнего валка, а тем более на станах трио, сталь выдерживает с трудом. Во-первых интенсивность обжатия слишком велика, а во-вторых, открытые калибры недостаточно защищают от растрескивания боковые стороны полосы. Применение открытых прямоугольных калибров на стане дуо вызывается тем, что этот стан имеет широкую программу прокатки. На стане трио открытые калибры хотя и не являются единственными возможными, но при них облегчается переход из одного калибра в другой.

Для устранения этого недостатка описанных станов, пытались применить непрерывный обжим с несколькими клетями дуо и с пониженным числом оборотов. Расстояние между клетями берется больше, чем длина полосы. В каждой паре валков делается по одному пропуску и поперечное перемещение штуки из калибра в калибр отсутствует. Размер и форма выпускаемой заготовки постоянны до смены валков. На таком стане возможно применение прямоугольных, а также овальных и ромбических калибров. Последние

Таблица 12 (к пис. 15г).

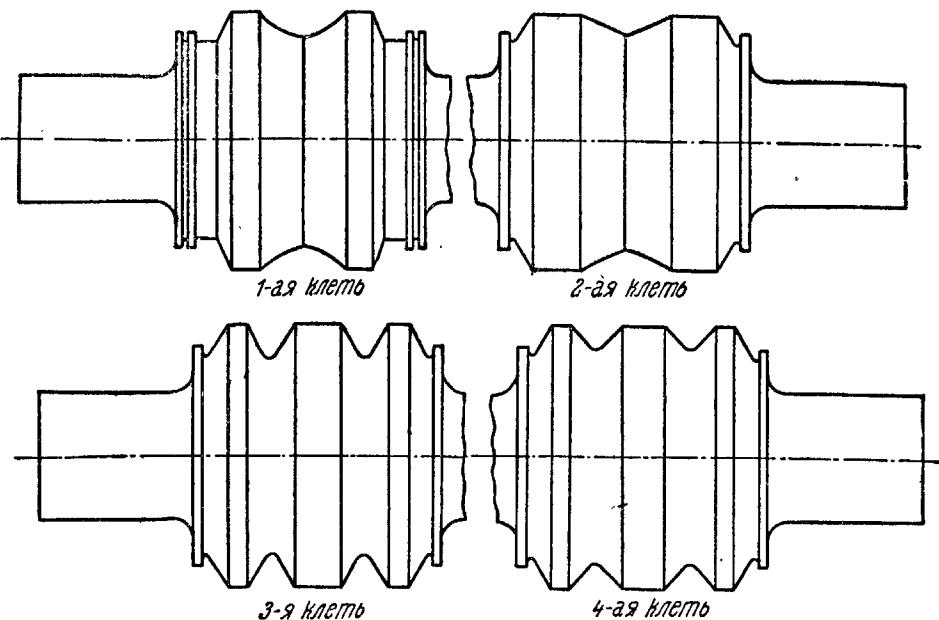


Рис. 155. Валки четырехклетьевого блуминга.

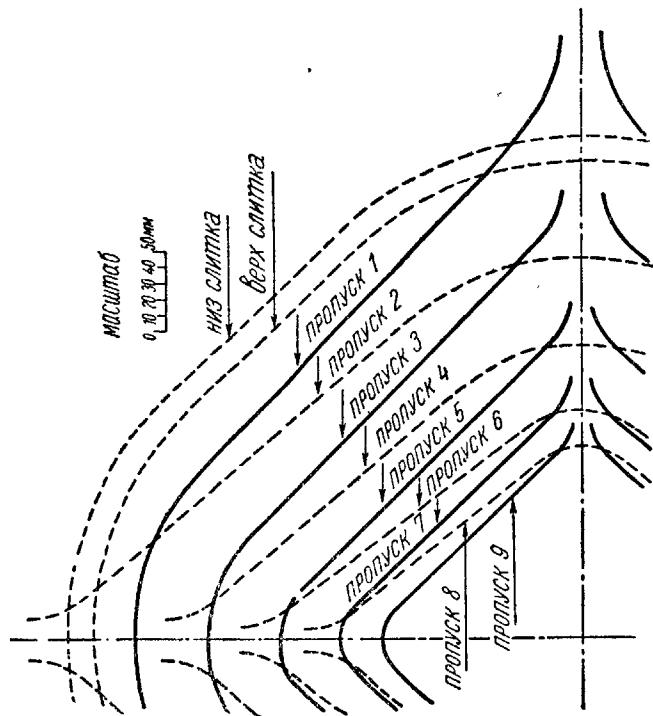


Рис. 156. Схема прокатки слитка 590×560 мм в блум 190×190 мм.

Таблица 13 (к рис. 156)

Размеры сечения полосы		Вытяжка																		
Thickness of strip mm		Thickness of strip mm		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		Width of strip cm ²		
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
Верх сплошная Низ сплошная		546	Сред- няя 2520																	
1	690	491	2270	250	7,8	1,39	30,6	177	1070	7,1	0,138	1205	493	526	106	55900	1828			
2	643	445	1860	410	18,2	1,22	42,1	186	986	7,1	0,327	1205	507	499	112	55700	1820			
3	514	381	1420	440	23,6	1,31	2,23	33,2	155	740	11,3	0,835	1205	563	406	93	38700	2020		
4	481	338	1110	310	21,9	1,28	3,35	33,2	182	841	11,3	0,680	1200	563	472	110	52000	2710		
5	400	292	860	250	24,4	1,33	3,77	39,0	140	533	40,2	2,46	1195	740	386	84	32900	6080		
6	398	257	659	201	21,6	1,28	4,81	34,4	115	432	40,2	2,78	1190	832	351	69	24650	4570		
7	310	229	516	143	21,6	1,28	6,12	32,7	120	352	40,2	2,57	1180	845	290	72	21200	3930		
8	309	210	430	86	16,8	1,20	7,38	26,6	89	260	40,2	2,40	1170	845	216	51	12200	2175		
9	256	191	357	73	16,9	1,20	8,89	25,6	102	252	50,7	3,15	1150	1050	260	61	16400	3820		

Лаборатория 14 (к рис. 15/)

Приложение к столбам 25 и 26. Максимальное напряжение бочки валка во всех случаях имеет место в третьем калиbre нижнего валка, за исключением момента одновременной прокатки в 1-5-7 руцьях, когда максимальное напряжение сосредоточено в пятом калиbre нижнего валка.

два типа калибров часто применяются в непрерывных заготовочных станах, идея же применения их для прокатки слитков сравнительно недавнего происхождения.

На рис. 154 дана калибровка для прокатки слитка 255×255 мм в блумы 165×165 мм. Так как она подобна калибровке заготовочных станов, то здесь мы ее подробно рассматривать не будем. Отметим только, что вследствие равномерной по сечению температуры слитка и блума, уширение невелико.

Для данной калибровки составлена табл. 12. Медленная прокатка в соединении с обжатием со всех сторон дает прекрасные результаты. Валки данного стана, состоящего из 4 клетей, изображены на рис. 155.

На рис. 156 дан комплект 9 пропусков для обжатия квадратных слитков 560×560 мм в блумы 190×190 мм. После каждого пропуска полоса кантуется. Рисунок дает только четвертую часть сечения слитка; каждый четный профиль показан пунктиром, нечетный — сплошной линией. Данные этой калибровки приведены в табл. 13. Эта калибровка применена в полуунпрерывном стане, который, как и предыдущий, работает с очень малым числом оборотов. Как показывает таблица, крутящий момент и требуемая мощность очень невелики.

Форма калибров рассматривается ниже, в главе о заготовочных станах.

Калибровка заготовки

Заготовкой (бillet) в отличие от блумов называется полупродукт обычно квадратного сечения, размером от 38×38 мм до 125×125 мм. Профиль заготовки обычно не обладает хорошо выполненным и острыми углами; при производстве ее обращают главное внимание на прямизну выпущенной и охлажденной заготовки, а также на отсутствие плен и трещин. Заготовка прокатывается на станах трио, подобных блумингам трио, а также в черновых клетях сортовых станов и на специальных непрерывных заготовочных станах; особенно интересны для нас последние, так как здесь заготовка является продуктом массового производства, и в процессе прокатки на них полоса обжимается сразу с четырех сторон (это спра-ведливо и для подготовительных непрерывных групп сортовых станов) путем применения ромбических калибров. Конечно прокатку по диагонали можно применять и в станах трио, но это затрудни-тельно, так как в этом случае рольганг должен иметь калиброванные ролики, пригодные только для одного комплекта прокатных валков. При прокатке же плашмя в прямоугольных калибрах, ролики рольганга цилиндричны независимо от размера прокатываемой заготовки. В черновых клетях трио перед сортовыми станами правда применяются диагональные (ромбические) калибры, но в этих слу-чаих прокатка идет вручную и является подготовительной для даль-нейшей обработки в отделочных клетях.

В заготовочных станах трио заготовка как правило прокатывается в калибрах, расположенных не один над другим, но по диагонали, как изображено на рис. 138 (см. первую часть книги). Расположение калибров друг над другом допускается иногда только для первой

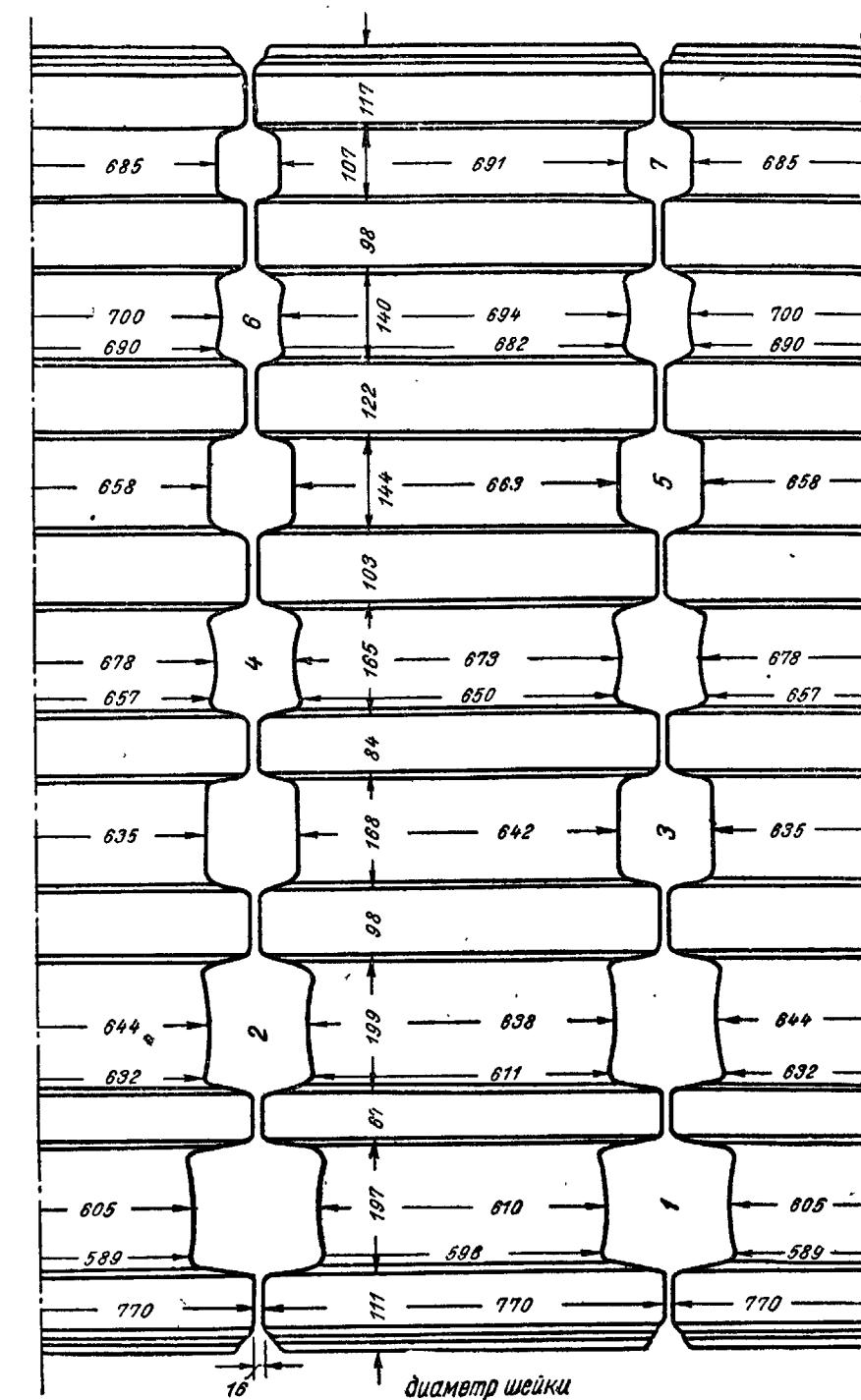


Рис. 157. Валки заготовочного стана трио (первый пример).

пары пропусков, или очень редко для двух пар, и то только тогда, когда прокатка начинается с очень большого сечения блума. Различное размещение калибров в блумингах трио и заготовочных станах объясняется следующим образом: бурты между калибрами в блумингах толще, чем в заготовочных станах, а направляющие проводки должны быть тоньше буртов, и поэтому, чем меньше сечение прокатываемой полосы, тем слабее оказываются направляющие, прочность которых для большинства заготовочных калибров недостаточна. Кроме того калибры заготовочного стана почти всегда удается разместить в валках и не прибегая к расположению их друг над другом.

На рис. 157 представлен типичный валок стана трио, работающего с почти постоянной скоростью 62 об./мин. Анализ калибровки этого валка приведен в табл. 14 и аналогичен анализу для валков блуминга. Здесь мы впервые встречаемся с тем обстоятельством, что в данном случае в любой момент в валках находится и несколько полос. Практически стан работает таким образом, что в нем одновременно находятся три полосы в следующих калибрах: 1—3—5, 2—4—6, 3—5—7, 4—6, 1—5—7, 2—6, 1—3—7, 2—4, 1—3—5 и т. д. Максимальные расход энергии и напряжение валков будут конечно иметь место в моменты работы трех калибров. Поэтому, последние столбы табл. 14 дают напряжения и расход энергии для этих случаев. При этом обычно оказывается, что максимальная потребность в энергии превышает мощность двигателя и в момент поступления в прокатку новой, короткой штуки, должна быть использована живая сила маховика.

Изучение валка рис. 157 показывает, что три ребровых калибра (№ 3, 5 и 7) не имеют вогнутости, и из них может быть получена готовая заготовка соответствующего размера. Далее оказывается, что в левой части, где соображения прочности требуют широких буртов, они сделаны более узкими, чем справа. Это вызывается установкой в рольганге кантующих и передвигающих пальцев и калиброванных роликов.

Другой пример калибровки валков заготовочного стана трио дан на рис. 158. Этот стан работает со скоростью 80 об./мин. и каждый калибр сделан вогнутым, за исключением № 1, 2 и 7. Ударное напряжение при захвате полосы этими валками повидимому выше из-за отсутствия вогнутости калибра, чем при калибровке по рис. 157. Однако калибры, дающие наиболее сильные удары, размещены по концам валков, что является с точки зрения напряжений хорошей конструкцией.

Цифровой материал калибровки рис. 158 дан в табл. 15. Как показывает таблица, в клети очень часто одновременно прокатываются две полосы, и калибр 1—5, 2—6, 3—7, 4, 1—5 и т. д. бывают заняты одновременно. Расчетные величины потребной мощности и напряжений валка для этих одновременно работающих калибров даны в столбцах 18—27, из которых видно, что напряжения получаются умеренными. Действительно, в этих валках можно было бы прокатывать одновременно и три штуки, если бы это позволила мощность двигателя.

Рис. 159 изображает комплект валков, которые с равным успехом можно считать предназначенными как для блуминга, так и для за-

готовочного стана. Стан прокатывает мелкие слитки в заготовку. Калибры размещены попарно один над другим, несмотря на узкие

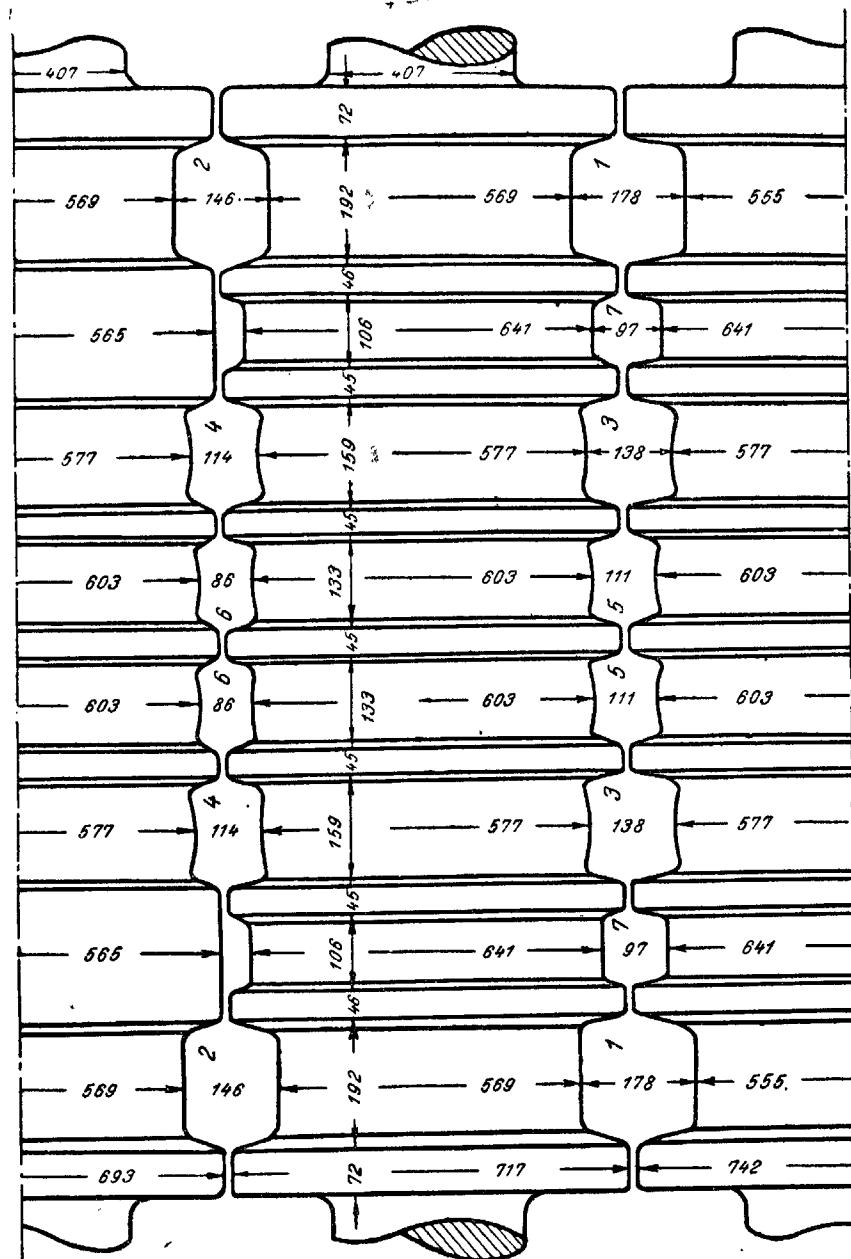


Рис. 158. Валки заготовочного стана трио (второй пример).

бурты так как это допускается принятой конструкцией кантователя. Диаметр валка так мал, что разместить все калибры на валках обычным методом было бы невозможно. Это доказывается табл. 16,

Таблица 15 (к рис. 158)

¹ Примечания. Стак делает 80 оборотов в минуту.

2 *н* — нижний валок, *с* — средний валок.

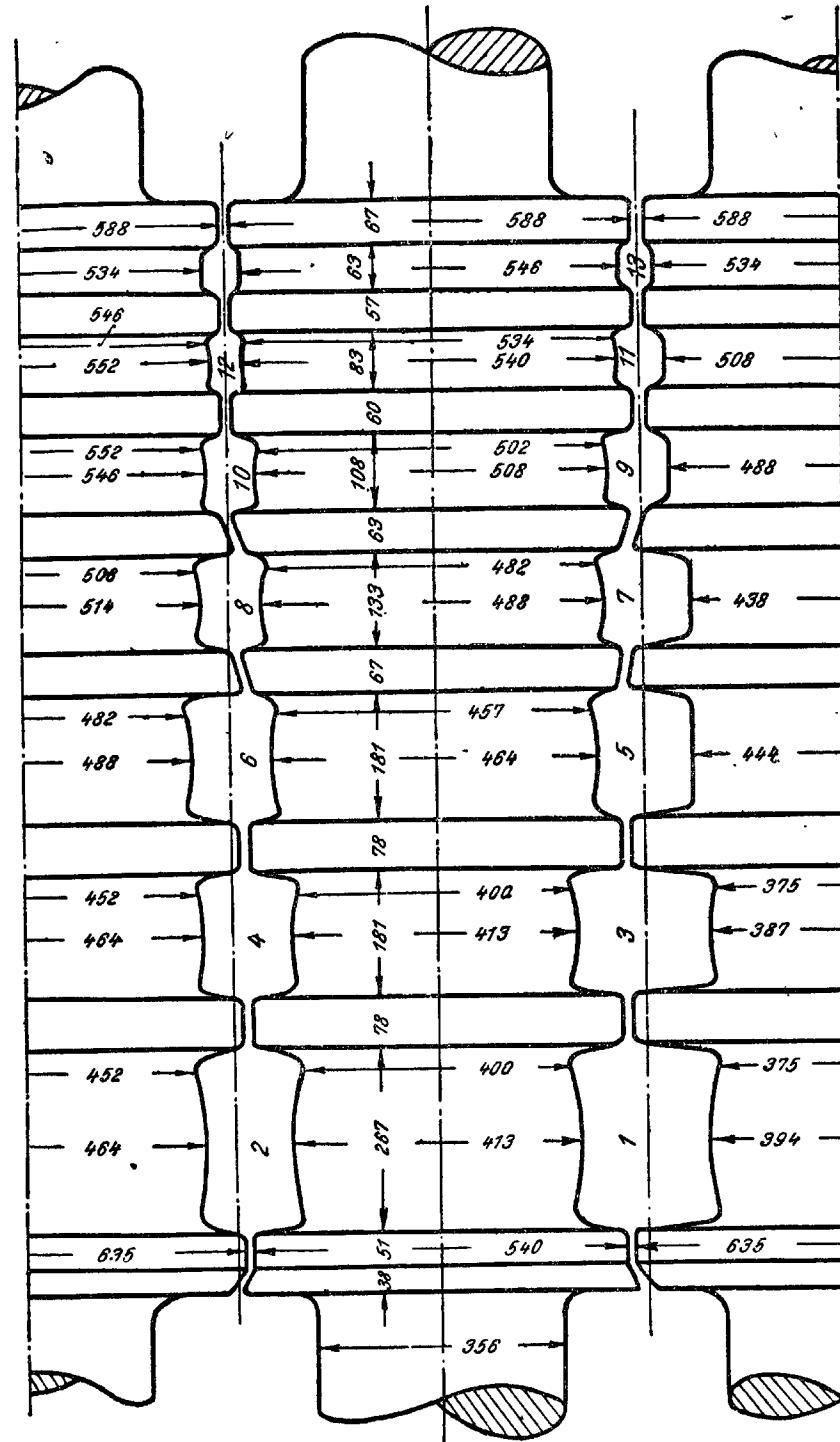


Рис. 159. Валки заготовочного стана трио (третий пример)

Таблица 16 (к рис. 159)

Размеры на-ходящегося сечения	Средние напряжения в валке кг/см ²												Максимальн. напряжение в бочке валка
	левая шейка	правая шейка	шайка	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	—	241	241	582	—	14,4	25,9	86	211	1,67	1205	—	—
2	248	248	202	500	82	18,1	23,8	87	216	2,28	1200	655	138
3	248	248	165	408	59	14,7	27,5	91	153	1,60	1190	51	141
4	171	171	203	349	59	18,7	24,2	89	152	2,32	1170	1875	197
5	175	172	145	283	66	12,3	19,7	76	128	1,87	1155	1530	113
6	175	175	124	248	35	12,3	12,5	69	119	2,22	1130	1000	118
7	127	127	135	172	46	21,1	23,9	94	118	2,65	1110	142	56
8	127	127	98	125	47	22,2	94	119	3,66	1090	1585	189	56
9	102	102	100	102	23	18,6	19,0	81	81	2,94	1065	1580	127
10	102	102	73	74	28	18,5	18,5	82	84	4,41	1050	1970	187
11	76	76	75	57	17	23,5	18,5	82	62	3,81	1020	2110	131
12	76	76	54	41	16	27,3	15,7	74	56	5,21	1000	2410	135
13	57	57	57	33	8	20,3	15,2	71	39	4,01	970	2620	41
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	975	232	486
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	169
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	338

Приимечание. Число оборотов валков — 50 в минуту.
н — нижний валок, с — средний валок.

где приведены значения напряжений валка. Валок того же диаметра, но вдвое большей длины (требующийся для размещения калибров зигзагообразно) не был бы достаточно прочен. При данной же конструкции остается в запасе неиспользованной некоторая часть бочки.

Расположение калибров друг над другом заставляет иметь разные рабочие диаметры валков в одном калибре. Это особенно заметно на рис. 159. Противодействовать стремлению полосы загнуться вниз и бить ролики рольганга можно только путем неравномерного нагрева слитка, и прокаткой его холодной стороной кверху.

Калибры 5, 7 и 9 этой калибровки не имеют вогнутости, так как после этих пропусков полоса не кантуется. Вогнутость калибра № 1 служит вероятно для насечки. Места разъема калибров с обеих сторон расположены на одинаковых расстояниях от оси калибров, во избежание появления осевых усилий в клетях. Места разъема калибра в левой части валка подведены к оси калибров, для того чтобы валки имели достаточную опорную поверхность, воспринимающую осевое давление.

Что касается различных диаметров валков в одном калибре, то они ясно заметны в ручьях 1 и 2 рис. 159. Нижний валок значительно тоньше среднего, а средний — верхнего. Вследствие этого заготовка при выходе из валков загибается книзу. Попытка исправить это положение увеличением диаметра нижнего валка невозможна без соответствующего уменьшения диаметра среднего, если нужно сохранить ту же высоту калибра 1; при уменьшении же диаметра среднего валка, разность диаметров среднего и верхнего валка в калибре 2 (при неизменной его высоте) еще усугубляется. Отсюда ясна нецелесообразность размещения калибров друг над другом, и этот прием является компромисом при невозможности зигзагообразного их расположения.

Стрельчатые калибры. В настоящее время новые заготовочные станы трио с прямоугольными калибрами устанавливаются очень редко, так как для массового производства гораздо более пригодны непрерывные станы, а для небольшой производительности при умеренных обжатиях применяются ромбические или стрельчатые калибры. Под последними подразумеваются диагональные калибры со сторонами, образованными дугами круга. Ромбические и стрельчатые калибры часто употребляются при ручной прокатке в черновых клетях, особенно при прокатке круглых профилей. Они не годятся для прокатки на рольгангах, но очень удобны при малых обжатиях. Следует иметь в виду, что при малых заказах на специальные сорта проката обслуживаемые вручную станы экономически себя вполне оправдывают, и что при прокатке специальных профилей часто очень удобно начинать с не стандартного квадрата, который очень легко можно получить с устаревшего ручного обжима трио. Подобная калибровка показана на рис. 139 (см. первую часть), где весь валок занят стрельчатыми калибрами. При обсуждении этого вопроса опытные калибровщики указывают, что стрельчатые калибры в качестве подготовительных для круга мало удовлетворительны при прокатке легированной стали, вследствие того, что в них окалина не сваливается, как при квадрате, но закатывается в полосу.

Конструкция стрельчатого калибра характеризуется (рис. 160):

1) отношением высоты к ширине $h:w$,

2) отношением радиуса кривизны к сторонам. $\frac{R}{2(w+h)}$,

3) радиусом закругления вершин верхнего и нижнего углов (2 и 5).

4) радиусом закругления у буртов (1, 3, 4 и 6) в местах разъема калибра.

Обычно отношение $h:w$ характеризует обжатие, так как полоса кантуется после каждого пропуска; поэтому высота предыдущего калибра не должна быть больше ширины последующего.

Если последовательность стрельчатых калибров состоит из геометрически подобных фигур, причем вы-

сота одного калибра равна ширине другого, то отношение площадей соседних калибров равно $(w/h)^2$. Действительно, если w_1 и h_1 есть размеры одного калибра, а w_2 и h_2 — следующего, то площади, их соответственно равны: $A_1 = kw_1h_1$ и $A_2 = kw_2h_2$, где k есть отношение площади калибра к площади описанного вокруг него прямоугольника, причем k постоянно для геометрически подобных фигур. Отсюда:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{k w_1 h_1}{k w_3 h_3} = \frac{w_1 h_1}{w_3 h_3} = \frac{w_1 w_1}{h_1 h_1} = \frac{w_1^2}{h_1^2},$$

так как отношение $w:h$ постоянно для всех калибров. Удлинение будет равно A_1/A_2 , а обжатие (в процентах):

$$100 \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) = 100 \left(1 - \left(\frac{h}{w}\right)^2\right).$$

Однако отношение высоты калибра к его ширине выдерживается постоянным и стрельчатые калибры оказываются почти квадратными при больших размерах, и близкими к плоским или овальным при меньших. Причины этого вскоре выяснятся.

Весьма важную роль играет величина радиуса кривизны стенки калибра R . При бесконечно большом R калибр становится ромбическим, при малом R — стрельчатым. Обычно величина R лежит между w и $1,5 w$, где w — ширина калибра.

В прошлом стрельчатые калибры были широко распространены. Они применяются и сейчас, но главным образом в качестве подготовительных для прокатки круглых профилей вручную. Профиль, изображенный на рис. 161, получающийся путем пропуска полосы два раза с кантовкой через один и тот же стрельчатый калибр,

Таблица 17 (к рис. 159)

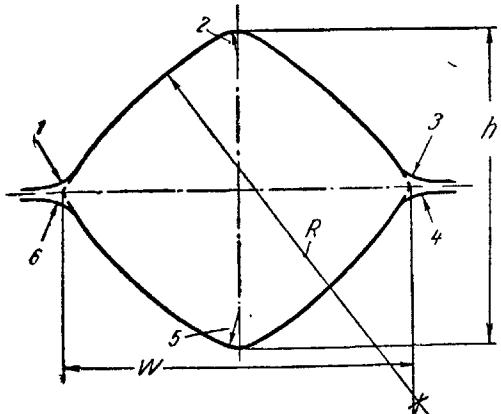


Рис. 160. Стрельчатый калибр.

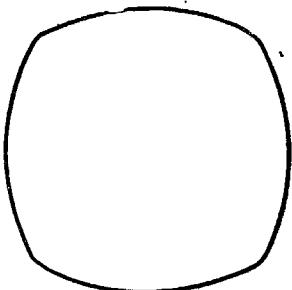


Рис. 161. Профиль, получающийся путем двух пропусков (с кантовкой) через один и тот же стрельчатый калибр.

очень редко является заготовкой общего назначения, но часто встречается в качестве специальной заготовки, для прокатки из него круга ручным способом. В этом случае R берется возможно меньшее, что дает более круглое очертание заготовки, которое хорошо подходит для круглых отделочных калибров.

Необходимо рассмотреть еще следующие обстоятельства, ограничивающие выбор соотношений между параметрами калибра. Чем более близки друг к другу h и w , и чем меньше R по сравнению с w , тем ближе профиль приближается к кругу и тем труднее препятствовать его опрокидыванию в калибре. В первых пропусках отношение высоты к ширине может быть малым, например $\frac{1}{9}$, или даже $\frac{1}{10}$, так как и при этом поверхность соприкосновения металла с валком будет достаточно велика и полоса будет удерживаться достаточноочно прочно. В последующих же калибрах для обеспечения достаточной поверхности соприкосновения и удержания полосы от опрокидывания, отношение $h:w$ должно становиться меньше, например $\frac{1}{7}$.

Табл. 17 дает калибровку валков, изображенных на рис. 139 (см. первую часть). Сразу видно, что обжатия невелики, так как чрезмерная длина валка не допускает больших напряжений. Хотя обжатия в стрельчатых калибрах и умеренны, последние все же часто насекаются для лучшего захвата полосы. Как уж говорилось, стрельчатые калибры применяются при ручной прокатке. При подаче полосы в валки, сила трения полосы о проводку должна быть преодолена вальцовщиком и валками. Так как диаметр верхнего валка больше, чем нижнего, то полоса прижимается к проводке, и это трение довольно значительно.

Радиус закруглений горизонтальных углов калибра в местах разъема калибра может меняться в широких пределах. Обычно он равен $0,2h$. В вертикальных же углах (в вершинах калибра) некоторые калибровщики предпочитают применять вместо закругления прямолинейное притупление, как на фиг. 139 и 162. Увеличивая величину прямолинейного притупления, мы избегаем опасности образования заусенцев в следующем калибре (после кантовки), но зато удерживать полосу в калибре становится труднее. Совершенно очевидно, что возможность образования заусенцев уменьшается, если притупление сделать до точек 1 и 4, а не до точек 2 и 3 (рис. 162). Осторожный калибровщик сначала делает притупление углов большим, а потом если уширение будет недостаточно для выполнения углов, уменьшит его.

Исследование стрельчатого калибра по методу сечений, описанному в первой части, произведено на рис. 163. Напоминаем, что все изображенные сечения принадлежат одному и тому же калибру. Из рис. 163 видно, что выпуклая форма калибра ограничивает уширение, так что ширина калибра только немногим больше ширины входящей в него полосы. Небольшое уширение обеспечивает полное заполнение профиля, как показано разрезом $E-E$; это значит, что температура полосы должна быть во всех точках возможно более равномерной.

Как правило последовательные стрельчатые калибры располагаются в стане трио зигзагообразно, так что друг над другом оказываются одинаковые калибры. Иногда последовательные

калибры располагаются друг над другом так, как схематически показано на рис. 164. В этом случае последний профиль с равными

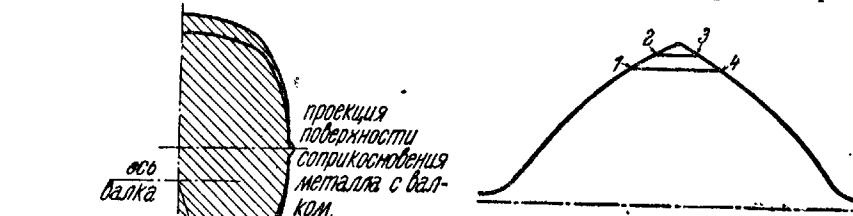


Рис. 162. Притупление в вертикальных углах стрельчатого калибра.

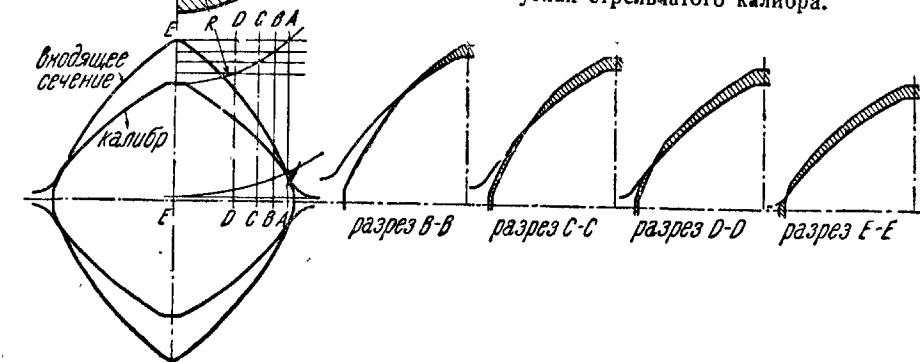


Рис. 163. Исследование стрельчатого калибра по методу сечений.

сторонами по рис. 161 получить не так просто, как в том случае, если верхний и нижний калибры одинаковы. Так например если про-

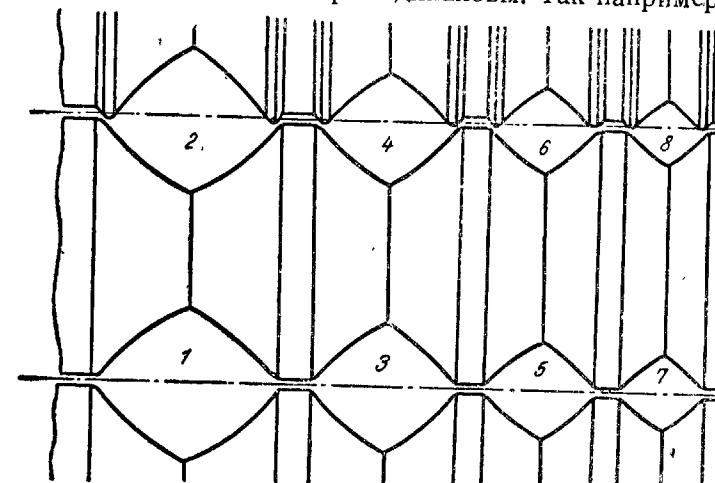


Рис. 164. Один из способов расположения стрельчатых калибров в валках.

катка должна быть окончена в пятом калибре, то при двух одинаковых калибрах полоса после пятого калибра кантуется и вы-

дается обратно через шестой калибр, тождественный пятому. В случае же рис. 164, полосу после прохода через калибр 5 надо вернуть обратно через больший калибр 4, скантовать и пустить вновь в калибр 5. Калибровка по рис. 164 применяется редко.

Ромбические калибры. Ромбические калибры служат подготовительными при прокатке квадратного железа и также применяются в непрерывных заготовочных станах.

Прокатка квадратного сортового железа описана выше, и здесь мы ограничимся рассмотрением роли ромбических калибров в непрерывных заготовочных станах. Блум подается в непрерывный заготовочный стан по рольгангу плашмя. Первый пропуск поэтому почти всегда прямоугольный, причем если прокатка начинается с квадратного блума, то после первого пропуска он становится прямоугольным, а так как в ромбический калибр требуется задать квадратный профиль, то необходимо иметь квадратный калибр. Поэтому часто встречаются непрерывные заготовочные стани, в ко-

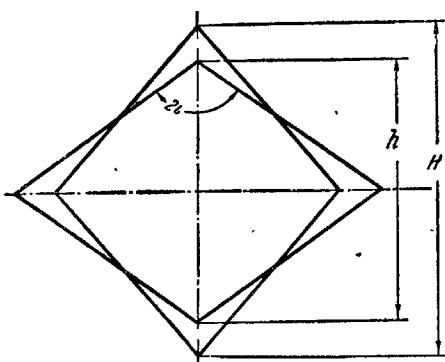


Рис. 165. Прокатка ромба в ромбическом калибре, предусматривающем уширение.

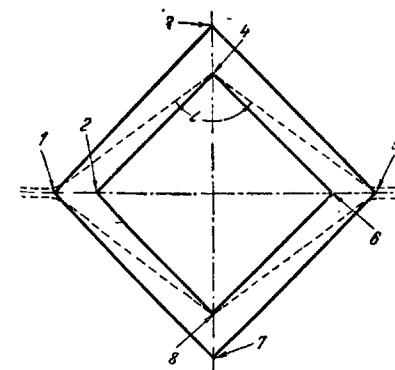


Рис. 166. Прокатка ромба в ромбическом калибре, не предусматривающем уширения.

торых ромбическим калибрам предшествуют два прямоугольных. С другой стороны, если квадратный блум подается в стан по диагонали, то тогда весь непрерывный стан состоит из чередующихся ромбических и квадратных калибров.

При обжатии по методу ромб-квадрат-ромб, обжатие зависит от отношения диагоналей двух последовательных калибров H/H' (рис. 165), а это отношение определяет угол $2i$. Это легко можно усвоить из рис. 166. Если квадрат (1—3—5—7) входит в квадратный ручей (2—4—6—8), то, ввиду чрезмерной ширины входящего профиля, образуются большие заусенцы, которые можно несколько уменьшить путем образования закруглений у краев калибра, но нельзя устраниТЬ совершенно. Поэтому ширина калибра должна быть поменьшей мере равна ширине входящего в него сечения, и таким образом калибр должен принять форму, изображенную пунктиром (1—4—5—8), если не учитывать уширения. Но раз уширение существует, калибр надо сделать несколько шире. Дальше будет показана правильность высказанного выше положения, что обжатие

Таблицы к рис. 167

Né napenycka	Mótopehõhe cM ²	Odkarne cM ²	Odkarne %	Várhene %	Víz 27.	Víz 30. május	Márkmaiból yrózásokból
1	69,6	27,4	28,25	39,38	118	20	27
2	57,2	12,4	17,98	21,92	90	24	24
3	39,2	18,0	31,26	45,48	118	22	22
4	32,4	6,8	17,66	21,45	90	20	20
5	24,9	7,5	2,91	29,72	137	90	27
6	20,55	4,35	17,27	20,87			

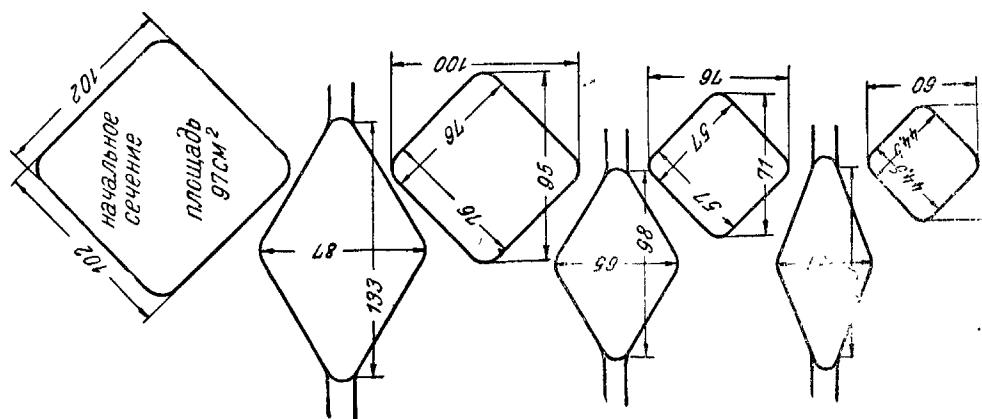


Рис. 167. Калибровка по системе квадрат-ромб-квадрат.

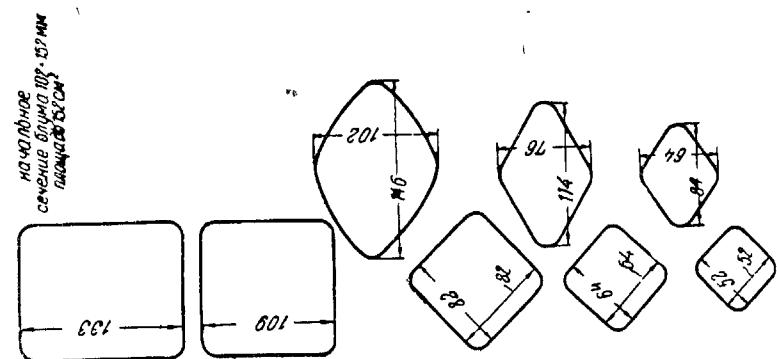


Рис. 168. Другой пример калибровки по системе квадрат-ромб-квадрат.

№ позиции	Сечение см ²	Обжатие %	Угол захвата 2i, градусов	Угол захвата 3i, градусов	№ позиции	Сечение см ²	Обжатие %	Угол захвата 2i, градусов	Угол захвата 3i, градусов
1	136	16	10,44	12,0	—	—	—	24	—
2	116	20	15,00	17,8	—	—	—	25	—
3	94,5	19,5	18,50	22,9	115	27	—	—	—
4	67,1	27,4	28,50	40	87	29	—	—	—
5	52,4	14,7	22,05	28,1	119	30	—	—	—
6	40,2	12,2	23,30	30,5	90	28	—	—	—
7	32,8	8,4	18,50	22,9	110	20	—	—	—
8	26,2	6,6	19,90	25,0	87	20	—	—	—

висит от отношения диагоналей $\frac{3}{4} - \frac{7}{8}$, и что угол $2i$ должен быть выбран соответственно этому отношению.

Далее возникает вопрос, каковы пределы отношения $H:h$ (рис. 165) и соответствующее им значение угла $2i$ или другими словами, каково может быть максимальное обжатие.

В основном этот вопрос получил освещение в первой части; здесь же мы заметим, что максимальное обжатие в начале прокатки определяется возможностью захвата полосы валками в первых пропусках. Как правило для всех калибров валка и для нескольких клетей стана диаметр валков имеет постоянное значение, и если для первых пропусков угол захвата является решающим при определении обжатия, то в последующих пропусках последнее можно повысить. Некоторые калибровщики учитывают это обстоятельство и повышают обжатия в последующих калибрах, тогда как другие оставляют обжатие почти неизменным в течение всей прокатки.

Так как между диаметром валков и сечением проката существует известная экономическая зависимость, то постепенно практика пришла к следующему соотношению: отношение сторон последовательных квадратов (с ромбом между ними) должно равняться от 1,27 до 1,33. Отсюда, имея в виду, что площади пропорциональны квадрату сторон, находим, что удлинение в каждом из двух последовательных пропусков равно корню из произведения двух последовательных значений удлинения, и таким образом удлинение за один пропуск равно от 27 до 33%. Распределение же обжатий между квадратным и ромбическим калибром производится различно — в некоторых случаях обжатие больше в ромбе, в других наоборот. Рис. 167 и 168 дают примеры удачных калибровок обоих типов.

На величины обжатия довольно ощутительно влияют закругления в углах калибра. Их значение видно из табл. 18.

Калибровка чистовых квадратов

В то время, как полуузаконченные квадратные профили (блумы и заготовки) являются весьма обычными в прокатном производстве, готовые точные квадраты больших размеров встречаются редко и поэтому прокатываются на станах, обслуживаемых вручную.

При этом применяются два метода прокатки. При первом — каждый калибр является подготовительным для меньшего профиля и отделочным для данного размера. Угол $2i$ рис. 169 несколько больше 90° , именно $91\frac{1}{3}^\circ$ для малых, 91° для средних и $90\frac{2}{3}^\circ$ для крупных сечений. Отношение площадей двух последовательных ромбических калибров определяется соображением прокатки без заусенцев.

Квадраты от 75 до 100 мм рекомендуется прокатывать через

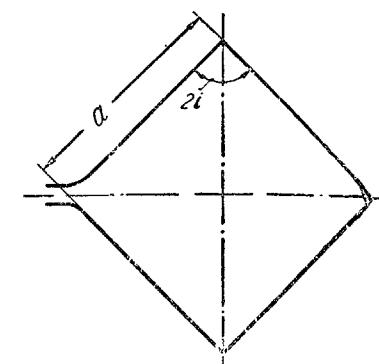


Рис. 169. Чистовой квадратный калибр.

5 мм, от 50 до 75 мм — через 3 мм, и от 25 до 50 мм — через 1 мм в стороне квадрата; впрочем последние размеры обычно прокатываются в проводках, а не вручную.¹

Из рис. 170, составленного для квадрата 90 мм, видно, что при такой последовательности размеров квадратных калибров имеет место некоторое переполнение калибра, закатываемое в следующем пропуске. Образование заусенцев предупреждается большими за-

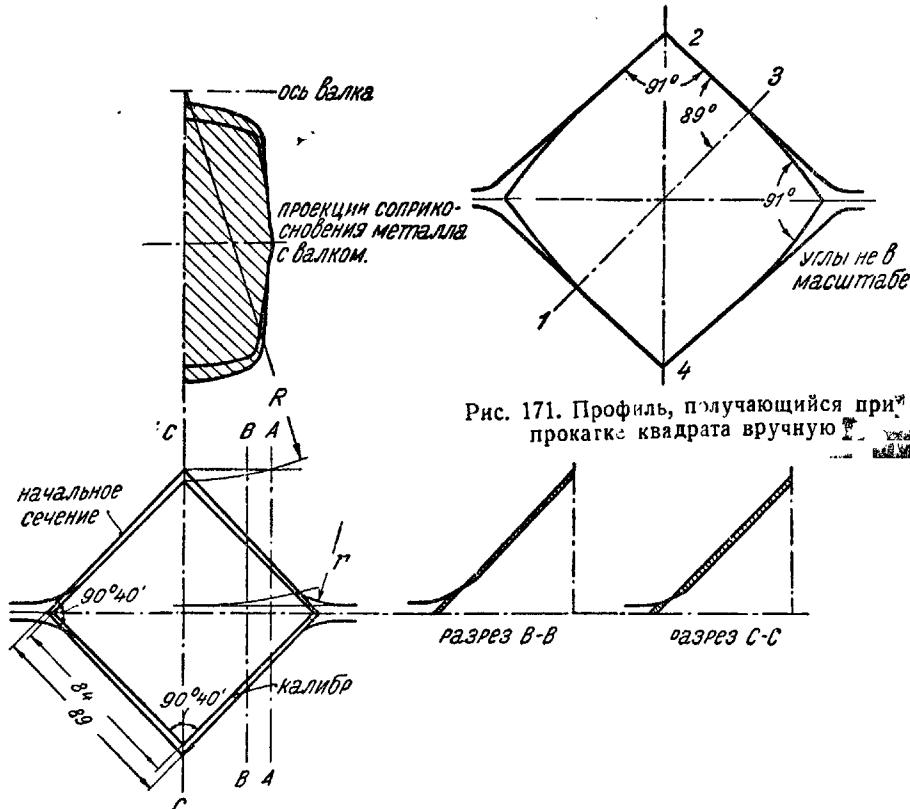


Рис. 170. Исследование квадратного калибра по методу сечений.

круглениями, радиус которых равен от $0,35a$ до a , где a — сторона квадрата. На рис. 170 радиус равен $0,5a$.

Прокатка вручную в калибрах описанной конструкции имеет то преимущество, что каждый калибр может быть отделочным, пред-отделочным и черновым, смотря по размеру прокатываемого профиля. Через отделочный калибр штука проходит дважды (или трижды, если этого требует расположение стана), каждый раз с кантовкой на 90° . Готовый горячий профиль в сущности является восьмигранным, как преувеличенно изображено на рис. 171. Однако после охлаждения сечение становится точно квадратным, так как более

¹ Число различных размеров квадратного профиля в общесоюзном стандарте гораздо меньше, чем в американском. Прим. перев.

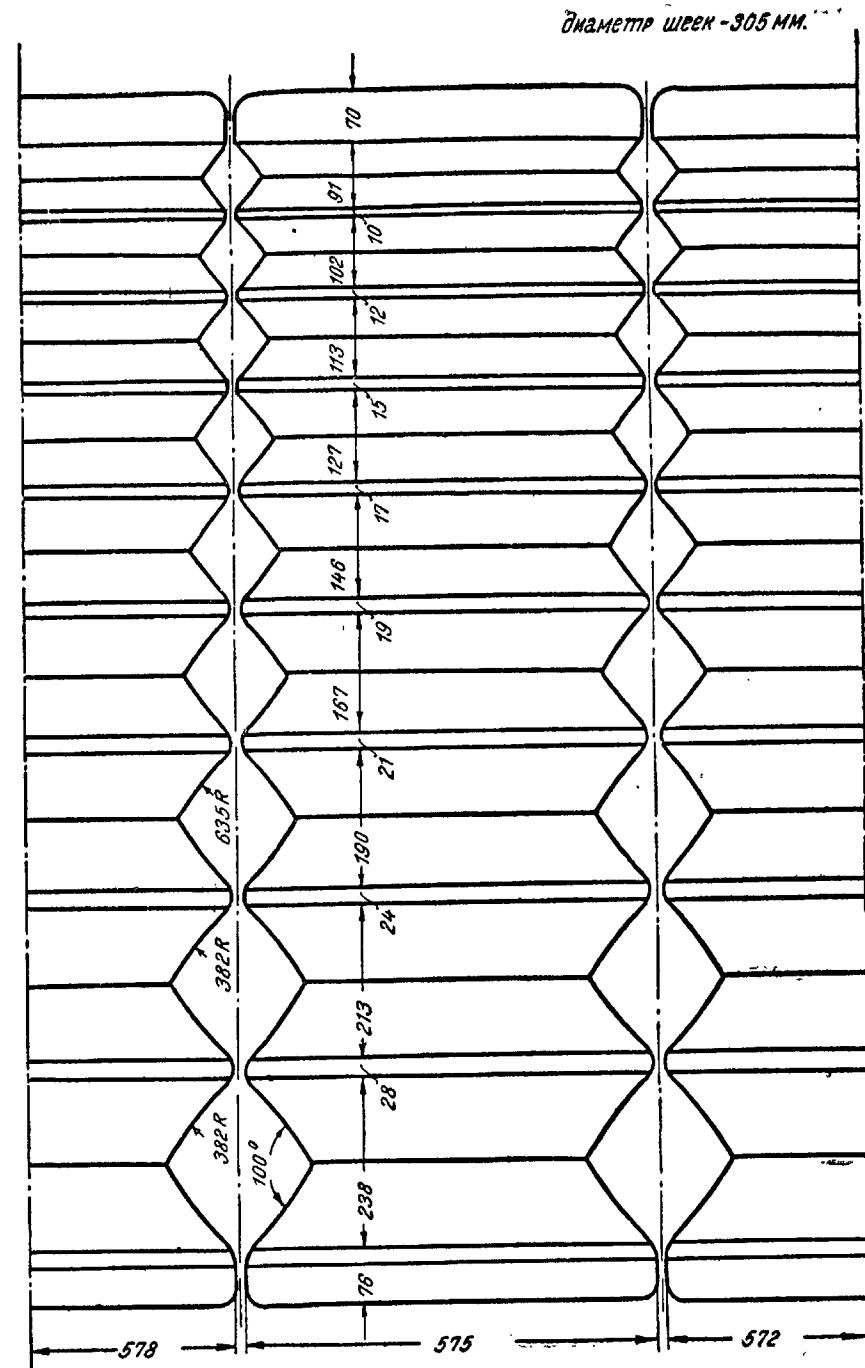


Рис. 172. Валки для прокатки квадратного железа вручную.

холодные углы сжимаются меньше и стороны втягиваются внутрь, т. е. размер 1—3 (рис. 171) сжимается относительно больше, чем размер 2—4.

Преимущества описанного метода прокатки квадрата вручную не окупаются вполне его недостатками. Во-первых вручную можно катать только короткие полосы, во-вторых обжатия весьма малы. На рис. 170 обжатие равно 8,4%; максимально оно может быть равно 10%. При попытке увеличить длину заготовки, полоса будет сильно охлаждаться, так как число пропусков слишком велико. Кроме того короткие длины и малая скорость прокатки диктуются необходимостью держать полосу клемщами. Наконец настройка одного из калибров нарушает настройку всех остальных.

Описанные преимущества и недостатки данного метода предопределяют область его применения в производстве коротких длин и малых заказов на квадратное железо неходовых размеров от 75 до 125 мм.

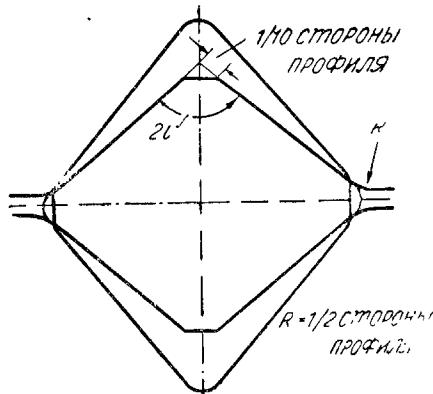


Рис. 173. Зависимость обжатия от угла $2i$.

водках. В этом случае углы $2i$ обычно применяются следующие:

Размер квадрата	Угол $2i$
ниже 13 мм	112°
13—25 "	108°
25—38 "	105°
выше 38 "	102°

По другому правилу разность между диагоналями принимается в $\frac{1}{4}$ стороны квадрата при малых профилях и в $\frac{1}{6}$ при крупных.

Увеличение угла $2i$ для малых сечений объясняется следующими соображениями. Проводки ставятся не вполне точно и изнашиваются, что играет большую роль для мелких сечений; последние направляются в калибр менее точно чем крупные сечения, что и заставляет делать сечение полосы более продолговатым. Применение в малых профилях большего угла $2i$ является преимуществом, так как это дает большие обжатия, а малый профиль скоро стынет. Большие обжатия тем более допустимы, что для малых размеров

отношение размеров штуки к диаметру валка меньше, чем для крупных.

Квадратные профили крупнее 50 мм в настоящее время в проводках почти не прокатываются. Влияние угла $2i$ на обжатия ясно выражено в табл. 18, составленной для калибровки рис. 173.

Квадратные профили небольших размеров прокатываются на непрерывных станах по одному из способов допускающих обжатий, которым посвящена отдельная глава.

Таблица 18

Зависимости обжатия от угла $2i$ (к рис. 173).

Угол $2i$, градусы	Ширина калибра равна ширине полосы		Ширина калибра больше ширины полосы				
	Калибры с острыми углами		Калибры с закругленными углами		Калибры с закругленными углами		
	Отношение диагоналей	Обжатие %	Отношение ширины калибра к ширине полосы	Обжатие %	Отношение диагоналей	Обжатие %	
91	0,983	3,5	1,00	0,983	3,5	1,10	20,0
92	0,966	6,8	1,01	0,966	5,0	1,11	20,9
93	0,949	10,0	1,02	0,949	6,5	1,12	22,1
94	0,932	13,0	1,03	0,932	7,8	1,13	23,5
95	0,616	16,0	1,04	0,916	9,4	1,14	24,8
96	0,900	19,0	1,05	0,900	11,0	1,16	25,9
98	0,869	24,5	1,08	0,869	12,5	1,19	26,6
100	0,839	29,9	1,11	0,839	13,8	1,21	28,0
102	0,810	34,5	1,14	0,810	15,0	1,26	29,3
104	0,781	39,0	1,17	0,781	16,5	1,28	30,4
106	0,754	43,2	1,20	0,754	18,3	1,32	31,1
108	0,726	47,1	1,23	0,726	20,3	1,35	33,8
110	0,700	51,0	1,26	0,700	22,7	1,38	35,3
112	0,674	54,6	1,29	0,674	24,8	1,42	38,0

Глава вторая

ПРОКАТКА ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

Валки слябинга

Слябами называются заготовки плоского сечения, перекатываемые в дальнейшем в листы и штрипсы (трубная заготовка). Слябы прокатываются на обжимных станах с вертикальными и горизонтальными валками, называемыми универсальными слябингами, или же на блумингах, допускающих большой подъем верхнего валка.

Универсальные слябинги не требуют калиброванных валков, а валки блуминга, прокатывающего слябы, очень похожи на валки

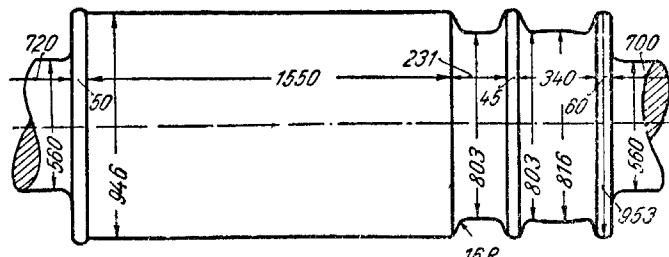


Рис. 174. Валок слябинга.

обычного блуминга. Это сразу видно из рис. 174, на котором изображен один из валков такого стана. Он состоит из длинной гладкой бочки и двух ребровых калибров.

Проектирующему валки приходится определять отношение длины валка к диаметру (в данном случае оно равно 2,4) и ширину сляба, прокатываемого на данном стане. Единственным возникающим при этом вопросом будет определение ширины ребровых калибров. Последнее делается весьма произвольно. Как правило, мы можем допустить три пропуска на гладкой бочке, потом один ребровый пропуск, еще три пропуска на бочке, опять ребровый и снова три пропуска на бочке. Таким образом можно дать достаточное обжатие для превращения слитка 580 мм в сляб 150 мм.

Ширина ребровых калибров зависит от обжатия на бочке. Как правило эта ширина не нуждается в точном определении, так как вальцовщик может легко менять обжатия на бочке по своему усмотрению.

Прокатка полос

При калибровке валков для прокатки полос, прежде всего необходимо определить начальное квадратное сечение, из которого можно прокатать данную полосу. При этом мы должны определить отношение ширины полосы к ее толщине, отношение полного обжатия к полному уширению, и величину ребровых обжатий, необходимую для получения гладких, не растрескавшихся краев. На рис. 175а и б есть размеры готовой полосы; пусть k есть отношение полного уширения к полному обжатию, и пусть r, r', r'' и т. д. есть обжатия в последовательных пропусках. Тогда, если полное вертикальное обжатие есть R , то: $R = \Sigma r =$ сумме всех обжатий.

Далее:

$$a' = a - kr'$$

$$a'' = a - kr'' = a - k(r' + r'')$$

$$a_n = a - k \sum r = a - kR$$

$$b' = b + r'$$

$$b'' = b' + r'' = b + r' + r''$$

$$b_n = b + \sum r = b + R$$

a_n и b_n будут стороны исходного квадрата. Тогда:

$$a - kR = b + R$$

то сторона квадрата будет равна

$$R = \frac{a - b}{1 + k}$$

то сторона квадрата будет равна

$$b + R = b + \frac{a - b}{1 + k}$$

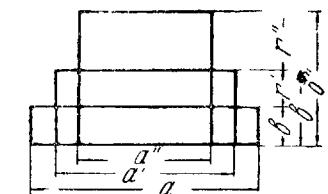


Рис. 175. Схема прокатки полосы.

Величина k в этих уравнениях зависит от всех факторов, влияющих на уширение, как изложено в первой части; из опыта известно, что k колеблется от 0,30 до 0,35, и при известных условиях может доходить до 0,5.

Вышеприведенный вывод не учитывает ребровых пропусков, частично уничтожающих эффект уширения. Это одинаково относится как к ребровым обжатиям в вертикальных и горизонтальных валках, так и к не допускающим уширения закрытым калибрам. Следовательно ребровое обжатие вообще уменьшает значения k в вышеприведенных уравнениях, и в зависимости от его величины значение k можно принять между 0,2 и 0,3.

Полосы прокатываются несколькими способами:

- 1) в непрерывных станах с вертикальными ребровыми валками (эджерами),
- 2) в ступенчатых валках плашмя и на ребро,
- 3) плашмя в закрытых калибрах,
- 4) по диагонали, подобно квадратам.

Для нормальных заказов на полосовое железо или на сравнительно мягкую сталь, весьма подходят непрерывные станы. Здесь не требуется ни смены валков, кроме случаев их износа, ни их калибровки, кроме распределения обжатия между пропусками. Однако углы полос, полученных на непрерывных станах, не столь остры, как углы полос, полученных в закрытых калибрах.

При первом знакомстве с предметом может показаться, что лучшим способом прокатки полос является прокатка по диагонали, так как в этом случае металл обжимается со всех четырех сторон сразу. Однако этот метод применим лишь для профилей с отношением сторон не более 2 : 1. Отделочный валок для диагональной прокатки полосы изображен на рис. 176. Предпоследний калибр не прямоугольен, как видно из рис. 177, где совмещены отделочный и предотделочный калибры.

При попытке прокатывать по диагонали полосу с отношением сторон больше чем 2 : 1, она скручивается наподобие штопора. Из рис. 178 ясно,

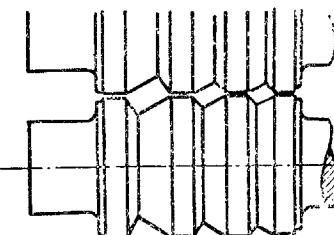


Рис. 176. Отделочные валки для прокатки полосового „по диагонали”.

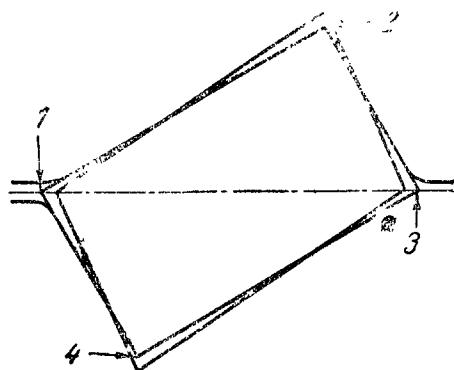


Рис. 177. Отделочный и предотделочный калибры для прокатки полосового „по диагонали”.

что выходящая из валков полоса, ложась на рольганг, стремится лечь плашмя и повернуться вокруг точки 4, но вследствие незначительного веса и слишком низкой температуры это невозможно и в полосе возникает слабое скручивающее напряжение. С другой стороны точки 1 и 3 выходят из валков с большей скоростью, чем точки 2 и 4, вследствие разницы диаметров валков в этих

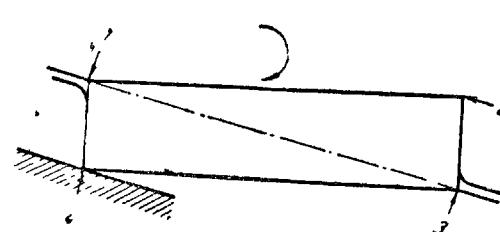


Рис. 178. Скручивание полосы с отношением сторон больше чем 3:1, при прокатке „по диагонали”.

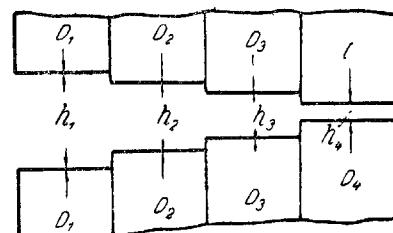


Рис. 179. Ступенчатые валки.

точках. Это скручивает полосу против часовой стрелки, и действительно, выходящая полоса очень быстро закручивается. Если же полоса близка к квадрату, как показано на рис. 177, то углы 1 и 4, а также 2 и 3 не лежат друг против друга, стремление к скручиванию менее ясно выражено, а сама полоса много жестче. Но и в этих случаях обыкновенно бывает необходимо удерживать полосу от

скручивания специальными выводными проводками, снажженными роликами.

Диагональная прокатка полос часто применяется для инструментальной стали, так как ее профиля имеют подходящее соотношение сторон, и прокатка кончается при низкой температуре.

Если завод не имеет непрерывного стана, прокатка ведется по методу горизонтальных и ребровых обжатий, или в закрытых калибрах. В первом случае применяются ступенчатые валки, подобные изображенному на рис. 14 (см. первую часть). Этот способ особенно пригоден для полос средней ширины. Для широких и тонких профилей он не годится, так как широкая полоса сгибается в ребровом калибре. В этих случаях применяется прокатка в закрытых калибрах, где ребровое давление заменяется недопущением уширения в закрытом калибре.

Может показаться, что ступенчатый валок не требует калибровки. Тем не менее, расположение ручьев и определение обжатий требует и здесь увязки с диаметром и длиной валка и с шириной полосы во избежание перенапряжения валков. Соотношения между этими величинами было объяснено в первой части.

Далее ступени валков должны соответствовать толщинам входящих и выходящих сечений. Из рис. 179 имеем следующие соотношения:

$$h_1 = h_2 + (D_2 - D_1), \\ h_2 = h_3 + (D_3 - D_2), \\ h_1 : h_2 = \frac{h_2 + D_2 - D_1}{h_2} = 1 + \frac{D_2 - D_1}{h_2}.$$

Так как в ступенчатых валках отделочных пропусков не дается, то обжатия могут быть весьма значительны, например 35%, что соответствует удлинению 1,54.

Отношения высот до и после пропуска, соответствующие определенному обжатию и удлинению, зависят от отношения обжатия к ширине полосы. Обращаясь вновь к рис. 175 получаем:

Удлинение за один проход равно

$$\frac{a_1 b_1}{ab}.$$

Но

$$\frac{a_1}{a} = \frac{a - kr'}{a} = 1 - \frac{kr'}{a}.$$

Так как (из рис. 179)

$$r' = D_2 - D_1,$$

то

$$\frac{a'}{a} = 1 - \frac{k(D_2 - D_1)}{a}.$$

В результате имеем:

$$\frac{\text{удлинение}}{\text{отношение высот}} = \frac{a' b'}{ab \cdot \frac{b'}{b}} = 1 - \frac{k(D_2 - D_1)}{a}.$$

Таблица 19

Значения отношения высот полосы до и после пропуска при различных коэффициентах уширения (k) и отношениях давления к ширине полосы ($k = \frac{\text{коэффициент уширения}}{\text{давление}}$)

Удлинение	Уширение										Отношение давления к ширине									
	$k = 0,20$					$k = 0,25$					$k = 0,30$									
0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5	0,6	1,41	1,41	1,46	1,46	
1,21	1,22	1,24	1,28	1,30	1,33	1,36	1,26	1,30	1,33	1,37	1,41	1,32	1,36	1,43	1,48	1,53	1,58	1,59	1,59	
1,31	1,33	1,34	1,38	1,41	1,44	1,48	1,37	1,41	1,45	1,49	1,53	1,43	1,48	1,54	1,59	1,65	1,65	1,71	1,71	
1,41	1,43	1,44	1,49	1,52	1,56	1,59	1,47	1,51	1,56	1,60	1,65	1,54	1,59	1,65	1,71	1,77	1,76	1,83	1,83	
1,52	1,53	1,53	1,53	1,53	1,60	1,63	1,67	1,70	1,73	1,77	1,82	1,62	1,67	1,72	1,78	1,83	1,88	1,92	1,95	
1,62	1,63	1,63	1,65	1,65	1,70	1,74	1,78	1,78	1,82	1,89	1,93	1,73	1,78	1,83	1,88	1,92	1,97	1,93	2,07	
1,72	1,74	1,75	1,75	1,75	1,81	1,85	1,89	1,93	1,93	1,94	1,98	1,84	1,89	1,94	1,98	2,00	2,00	1,93	2,07	

Посредством этого уравнения, отношения высот полосы до и после пропуска могут быть вычислены при данном отношении обжатия к ширине, и при известных удлинении и коэффициенте уширения. Для облегчения быстрых подсчетов предлагается табл. 19, дающая отношения высот для различных коэффициентов уширения и для различных отношений обжатия.

Пусть например полоса 76×22 мм должна получить в данном пропуске удлинение 1,4, и пусть k (коэффициент уширения) равно 0,20. Если выбранное обжатие равно 9,5 мм, то отношение его к ширине приблизительно равно 0,125. Обращаясь к таблице, видим, что отношение высот должно быть равно 1,43, и входящее сечение должно иметь высоту $22 \times 1,43 = 31,5$ мм. Ширина его будет $76 - 0,2 \times 9,5 = 74,1$ мм.

Значения табл. 19 показывают, что в большинстве случаев обжатия равны от 30 до 60% толщины полосы. Таким образом пределы вертикальной настройки валка ограничены, и в то время как вертикальные обжатия остаются при разных настройках одинаковыми, относительные удлинения изменяются.

Допустимые обжатия в каждом калибре ступенчатых валков конечно различны. Обычно принятые цифры даются ниже;

они относятся к узким полосам. Для широких полос принято ограничивать обжатия 30% начальной высоты сечения, а в предпоследнем и в последнем пропусках оставлять их такими же, как и для узких полос.

Обжатие (для стали < 0,25% С)	
1 и 2	5—10
Промежуточные . .	5—8
Предотделочный . .	2—4
Отделочный . . .	0,8—1,2

Прокатывая например полосы $44,5 \times 7,9$ мм из квадрата 38 мм можно принять следующую калибровку.¹

Пропуск №	Толщина мм	Ширина мм	Обжатие мм	Уширение мм	Коэффициент уширения
6 отделочный	7,94	44,5	1,21	0,25	0,20
5 предотделочный	9,15	44,2	4,17	1,0	0,25
4	13,32	43,2	7,63	0,25	0,33
ребровой	20,95	40,6	4,32	1,25	0,53
2	19,7	45,0	8,9	3,10	0,34
1	28,6	41,9	9,5	3,80	0,40
0	38,1	38,1	исходное сечение		

Ширина каждой ступени ступенчатых валков равна ширине самой широкой, прокатываемой на стане полосы плюс 50 мм или больше. Необходима отдельно стоящая отделочная клеть. В ребровых калибрах ступенчатых валков обжатие достигает 5—10% от высоты входящего сечения, причем меньшее обжатие берется для тонких полос.¹ Если же ребровой пропуск производится не в калибре, а между цилиндрическими валками, то обжатие принимается еще меньшим. Обычный ребровой калибр изображен на рис. 180. Вогнутое дно его служит для получения острых краев полосы и не обязательно при прокатке профилей с закругленными углами.

Здесь уместно заметить, что если возможно, необходимо иметь ребровой пропуск непосредственно перед отделочным; ребровой пропуск очень редко производится на гладкой бочке.

Прокатка полос в закрытых калибрах избегается многими калибровщиками по следующим причинам. В закрытом калибре окалина не может отваливаться от полосы и поэтому, особенно при легированной стали, весьма трудно получить чистый продукт. Кроме того при закрытых калибрах для каждого размера полосы по ширине и толщине необходимо иметь специальный комплект валков. При

¹ В приводимой ниже калибровке коэффициент свободного уширения падает по ходу прокатки, т. е. с падением температуры, что противоречит повседневному опыту. Поэтому указанная калибровка не может служить руководством при подсчетах на практике. Для ознакомления с примерами более правильной калибровки могут быть использованы труды проф. Тафеля и Виноградова. Прим. ред.

² Обжатие в ребровом проходе может доходить до 15% от высоты прокатываемой полосы. Прим. ред.

большом количестве дробных заказов, существующих на современном рынке, этот метод почти неприменим. Единственная область, где способ закрытых калибров широко применяется в настоящее время, есть прокатка сутунки для черной и белой жести,¹ но и здесь он вытесняется непрерывными станами с вертикальными ребровыми валками.

Прямоугольные профили, приближающиеся к квадратным, например полосы инструментальной стали, часто прокатываются в цилиндрических валках из предотделочного квадрата с вогнутыми сторонами, изображенного на рис. 181. Этот профиль конечно входит в ручей плашмя. Вогнутость сторон его равна около 0,8 мм. Если стороны готового профиля равны b и c , то сторона исходного квадрата приблизительно равна $\frac{b+c}{2}$. Если прокатываемая полоса должна иметь точные размеры и острые края (как например в случае зака-

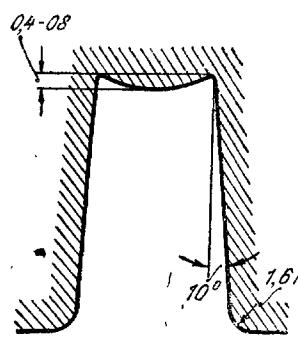


Рис. 180. Ребровой калибр.

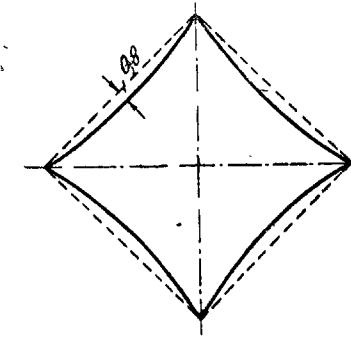


Рис. 181. Исходный квадрат для прокатки полос с малым отношением сторон.

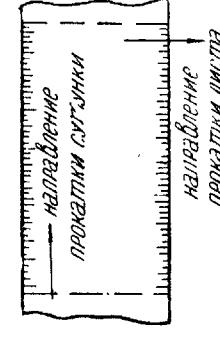


Рис. 182. Схема прокатки сутунки и листа.

зов на заготовку для холодной протяжки), то она обычно прокатывается в закрытых калибрах. Последний способ применяется так же, как указывалось выше, для производства широких и тонких полос, например для сутунки и обручного железа.

Одним из важных видов полосового проката является сутунка — заготовка для тонколистового железа и жести. Этот профиль имеет обычно ширину около 200 мм и толщину, в зависимости от толщины прокатываемого из него листа, от 6 до 20 мм.² Как видно из рис. 182, направление прокатки сутунки перпендикулярно направлению прокатки листа из нее.

Калибровка валков для сутунки 200 мм представлена на рис. 183. Прокатка ведется в двух клетях, расположенных друг за другом (тандем). Как видно из рисунка, вторым по порядку идет ребровой пропуск, назначение которого не столько образование чистых углов, сколько разрушение и удаление слоя окалины с целью получения возможно более чистой поверхности продукта; несмотря на после-

¹ Закрытые калибры применяются также при прокатке штрапсов. Прим. ред.

² На некоторых заводах ширина сутунки доведена до 300 мм и даже до 400 мм. Прим. ред.

дующую прокатку в закрытых калибрах, полоса получается весьма чистой.

Табл. 20 дает размеры всех ручьев и коэффициента уширения k при прокатке тонкой сутунки, причем коэффициент уширения (отношение уширения к обжатию) в первых пропусках мал, но к концу прокатки непрерывно возрастает, указывая на то, что в первых пропусках края полосы подвергаются усиленной обработке путем насилиственного ограничения уширения буртами калибров.

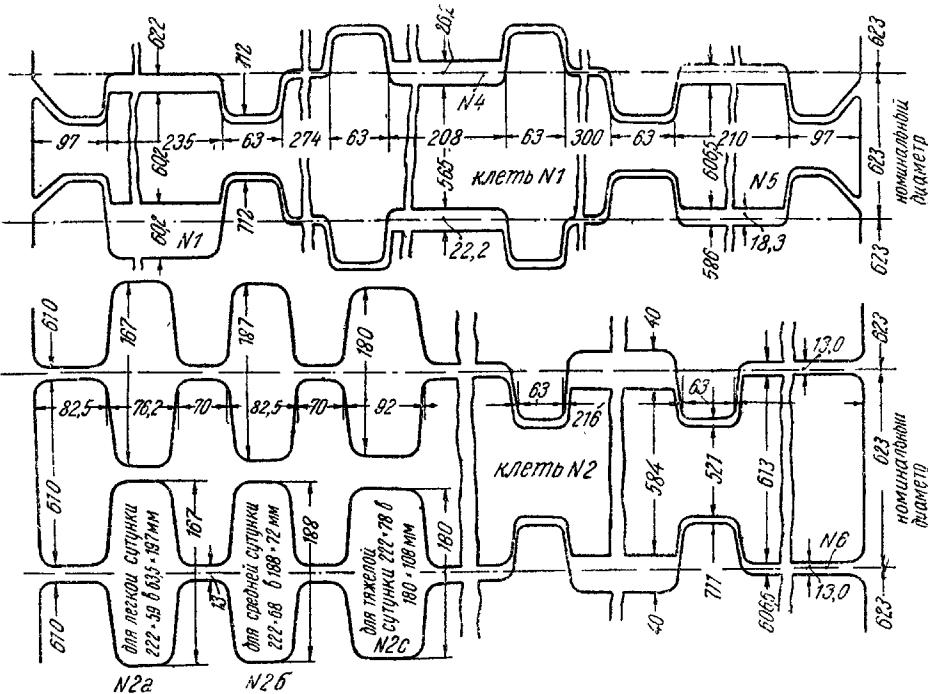


Рис. 183. Валки для прокатки сутунки.

Как упоминалось прежде, при непрерывном обжатии в одном направлении без кантовки, по краям полосы появляются трещины.

Таблица 20

Пропуск №	Толщина мм	Ширина мм	Площадь cm^2	Уменьшение сечения		Обжатие мм	Ушире- ние мм	Коэффициент ущирения
				cm^2	%			
1	60,2	228,5	132,5	17,7	13,4	31,8	3,18	0,10
2	197	63,5	114,8	42,3	36,8	25,2	3,30	0,13
3	38,2	200	72,5	21,8	30,1	12,2	3,05	0,25
4	26,2	203	50,7	14,5	30,0	7,9	2,55	0,32
5	18,2	206	36,2	9,6	27,0	5,55	1,95	0,35
6	12,7	208	26,4					

При прокатке сутунок это явление тем более нежелательно, что при поперечной прокатке сутунки в лист, трещины удлиняются и заставляют выбрасывать в обрезки значительную часть длины готового листа. Уже указывалось, что трещин в краях полосы можно избежать, не давая полосе свободно уширяться, допуская уширение значительно меньшее, чем естественное уширение при открытых калибрах. Для этого и служат закрытые калибры представленные на рис. 183. Величина допустимого в подобных случаях уширения и скоса углов обсуждалась уже в первой части.

На рис. 184а представлена калибровка валков, служащих для прокатки заготовки 152×152 мм в сутунку для белой жести шириной 255 мм. В данном примере добиваются усиленной обработки краев сутунки в последних пропусках путем их утолщения в предыдущих калибрах по сравнению со средней частью полосы. Здесь также показаны закругления, служащие для предупреждения образования заусенцев. Размеры калибров и коэффициент уширения для этой калибровки даны в табл. 21. Ребровой пропуск отсутствует со-

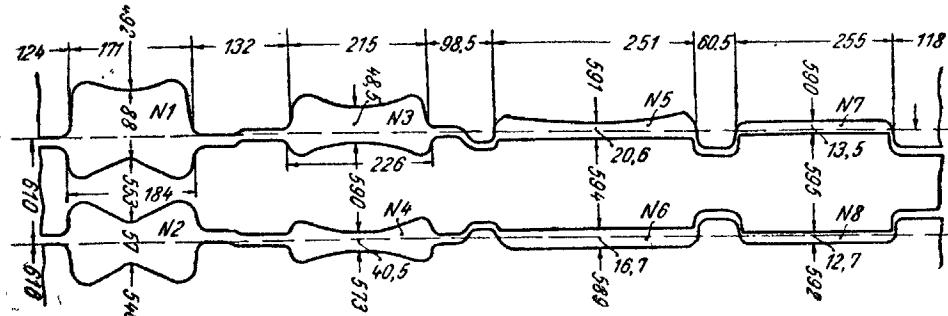


Рис. 184а. Калибровка валков для прокатки сутунки.

вершенно и обработка краев полосы осуществляется исключительно ограничением уширения. Обращаем внимание на то, что уширение ограничено не во всех пропусках; наоборот, в некоторых его искусственно усиливают, имея в виду получение заданной ширины готового профиля в 255 мм из узкой заготовки в 152 мм. Так например в пятом пропуске коэффициент уширения равен 2,2, т. е. уширение вдвое больше давления. Это достигается тем, что средняя часть полосы в пятом пропуске обжимается сравнительно меньше чем края. В результате полоса не может свободно удлиняться и избыточный металл краев полосы принужден течь в стороны, поперек направления прокатки. Это явление было подробно рассмотрено в первой части.

Как видно из табл. 21, уширение ограничивается только во втором и четвертом калибрах. Возможно, что этого недостаточно для обработки краев полосы и избежания трещин, и если продукт получается недоброкачественным, необходимо перекалибровать валки и в качестве исходного сечения принять больший квадрат или прямоугольник.

Недостаточная обработка краев штуки по рис. 184 показывает, что она пригодна только для высокосортной мягкой стали.

Сталь с повышенным содержанием серы и фосфора и медистая, очень легко трескается с краев и требует более сильного обжатия кромок, чем здесь предусмотрено.

Другой способ увеличения уширения показан на рис. 184б. Большое уширение здесь получается не только потому, что имеется неравномерное обжатие, но также и потому, что валки производят благодаря своей форме поперечное вытягивание полосы.

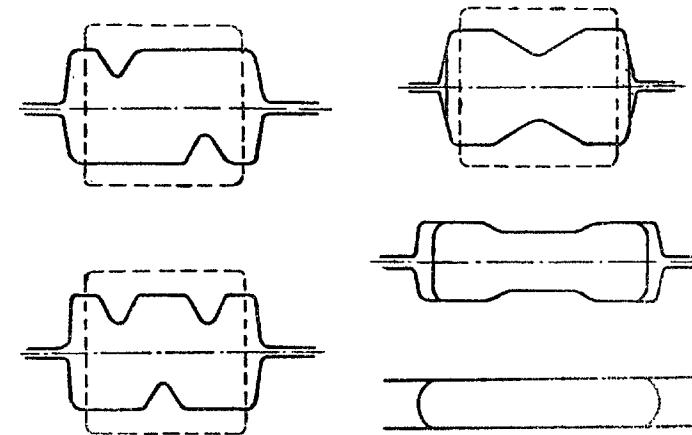


Рис. 184б. Способы искусственного увеличения уширения.

Таблица 21 (к рис. 184)

Пропуск №	Средняя толщина мм	Ширина мм	Площадь cm^2	Обжатие		Среднее обжатие мм	Уширение мм	Коэффициент уширения
				cm^2	%			
0	152,2	152,0	227,5	—	—	—	—	—
1	114,5	174,8	204,5	23,0	10,2	25,3	22,4	0,63
2	86	181,0	173,5	31,0	15,1	21,1	8,15	0,39
3	61,7	213,5	131,5	42,0	24,2	59,7	32,5	0,95
4	35,5	222,0	78,1	53,4	40,1	26,2	8,9	0,34
5 ¹	26,9	241,5	65,2	12,9	17,2	8,6	19,0	2,2
6	16,7	248,5	40,6	24,6	37,7	10,2	7,6	0,75
7	13,5	251,0	33,6	7,0	17,4	3,2	2,5	0,80
8	12,7	254,0	32,2	1,4	4,4	0,8	2,5	0,97

Нам остается рассмотреть еще некоторые интересные явления при прокатке сутунки. Они ясно обнаруживаются при анализе калибровки методом сечений, проведенным для трех калибров на рис. 185, 186 и 187. Слева на всех этих фигурах дан поперечный разрез калибра с показанием мест сечений, справа под соответствующими номерами изображены сами сечения. Из первого справа разреза фиг. 187 мы видим, что нижняя поверхность полосы шире дна калибра.

¹ Ширина калибра № 5 равна 251 мм.

следовательно полоса, касаясь всей верхней поверхности калибра, коснется нижней только углами. Строго говоря, это имеет место только в момент входа полосы в калибр. Когда же передний конец

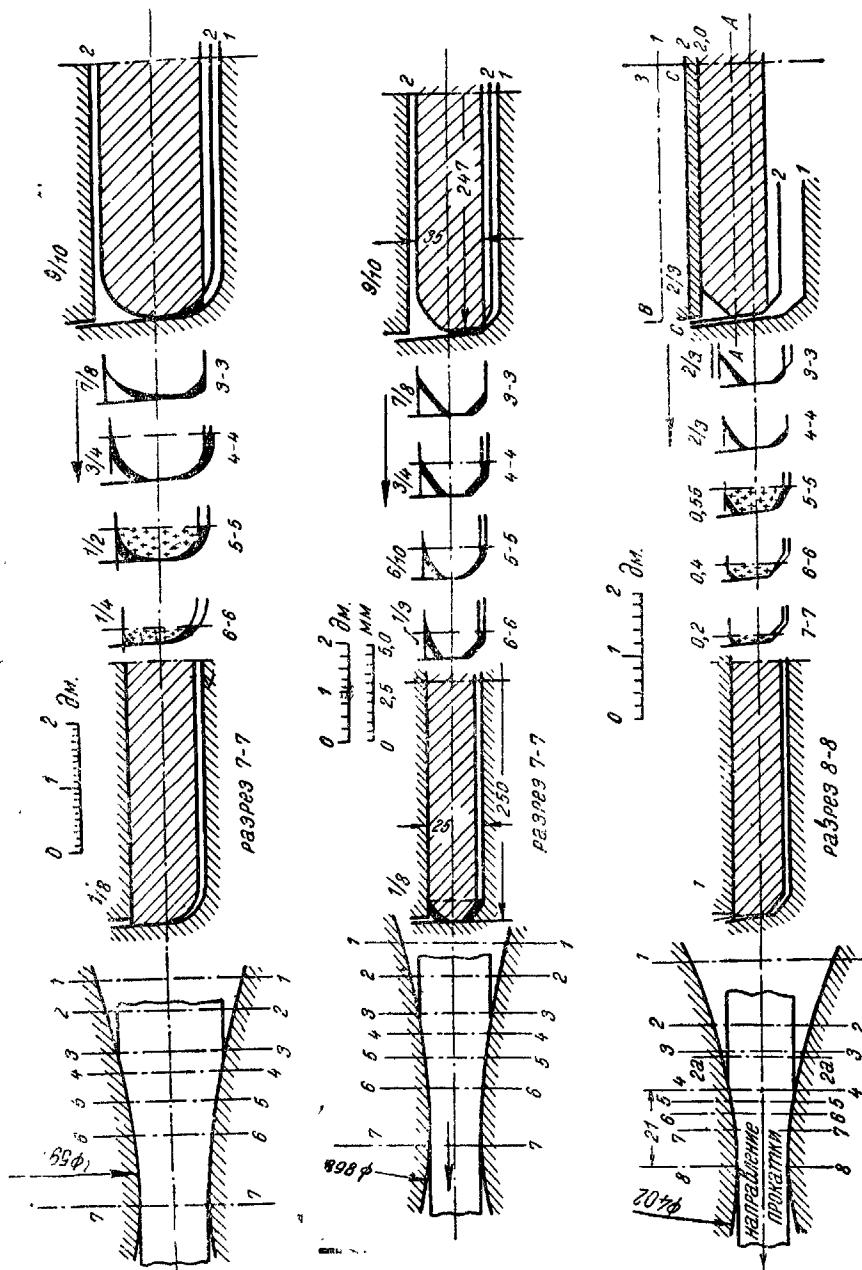


Рис. 185, 186 и 187. Исследование калибровки сущности методом сечений.

ется, противодействуют поднятию полосы кверху, то это вызывает передвижение средней плоскости полосы в положение $A-A$ и перемещение сечений полосы $1-1$ и $2-2$, так что контур валков в сечении $1-1$ принимает положение $B-B$ и в сечении $2-2$ — положение $C-C$. Однако это явление не влияет значительно на наше исследование. Помня, что пластичный металл всегда течет по направлению наименьшего сопротивления, очевидно, что все сечение может изогнуться как на рис. 188, или что появится местная деформация, изображенная на рис. 189, где каждая горизонталь $h-h$ превращается в кривую $c-c$. Изображенный на рис. 188 изгиб полосы безусловно имел бы место, если бы соответствующие силы действовали по всей длине полосы одновременно. Однако эти силы сосредоточены на небольшом лишь участке между сечениями $2-2$ и $4-4$, рис. 187 и поэтому более вероятна деформация по рис. 189.

Поскольку деформирующие силы направлены по стрелкам A , A' (рис. 189), углы полосы загибаются кверху. Сила A нижнего вала

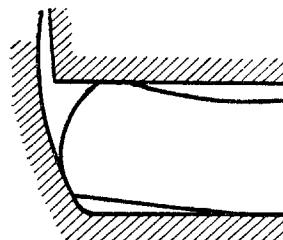


Рис. 188. Возможный вид изгиба полосы в калибре.

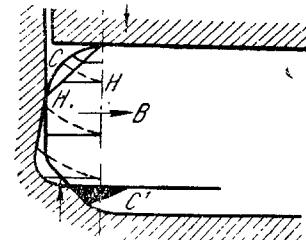


Рис. 189. Местная деформация полосы в калибре.

имеет однако и горизонтальную составляющую по направлению стрелки B , вызывающую слабое поперечное сжатие. Можно было бы ожидать, что смещенный в нижних углах металл выпучится, как показано в $C-C'$. Однако оказывается, что действующие на нижний угол силы растягивают его и следовательно материал не выпучивается книзу. Учитывая относительное значение всех действующих факторов, приходим к заключению, что около $\frac{2}{3}$ смещенного объема в нижней части полосы между сечениями $2-2$ и $3-3$ (рис. 187) потечет кверху, а оставшаяся треть — вбок. Поэтому к сечению $3-3$ сверху добавлена площадь равная $\frac{2}{3}$ от смещенной площади в нижнем углу.

Эти же рассуждения применимы и к сечению $4-4$. Между сечениями $4-4$ и $8-8$ (рис. 187) вся нижняя поверхность полосы прилегает ко дну калибра и все сечение, кроме самых краев, подвержено прямому давлению. Для определения степени смещения углов кверху, необходимо рассмотреть форму проекции поверхности соприкосновения металла с валком. В данном случае ее длина в направлении прокатки равна около 21 мм при ширине около 200 мм. Отсюда очевидно, что в случае возможности беспрепятственного уширения, оно было бы не более одной четверти обжатия, откуда следует, что удлинение более чем в пять раз превышает уширение. Так

полосы пройдет плоскость осей валков (плоскость прокатки), она касается нижних углов калибра, не касаясь в то же время его верха. Так как жесткость полосы и реакция проводки, если последняя име-

как однако уширение ограничено, то почти вся деформация идет в направлении удлинения, и площади, не подверженные прямому давлению (обозначенные крестиками на сечениях 5—5 и 6—6), приуждены следовать за удлинением средней части полосы. По мере приближения сечения к плоскости 8—8, силы трения, препятствующие движению полосы вперед, все уменьшаются.

Кропотливым исследованием были определены коэффициенты смещения для сечений рис. 187, которые и поставлены под каждым сечением. Они невелики, все калибры хорошо заполнены и нам остается заключить, что или калибровка эта была разработана чрезвычайно тщательно, или же что она является результатом опыта и многочисленных поправок.

На рис. 186 изображен подобный предыдущему анализ одного калибра немецкой калибровки. Нет необходимости повторять для него все рассуждения; отметим лишь, что эта калибровка отличается от предыдущей. Калибр на 3 мм шире входящей в него полосы; смещаемый из средних частей полосы металл уширяется и начинает

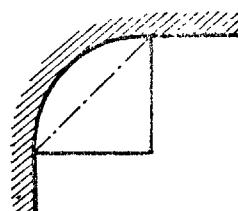


Рис. 190. Закругление и срезание углов в калибрах для прокатки полос.

На рис. 185 изображен калибр одного из американских станов. Хотя в нем допущено уширение 3 мм, как и на рис. 186, но он полностью заполняется, так как толщина полосы больше, а главным образом потому, что края полосы закруглены, а не скосены, как на рис. 186 и 187. Срезание угла по прямой, как на рис. 190, не дает заполненного профиля. В отношении обработки краев боковым давлением и всегда связанному с ним износу валков, калибр напоминает изображенный на рис. 186, но в данном случае боковое давление более равномерно распределено по всей высоте сечения. Этот калибр можно считать удачным по конструкции.

Тщательная калибровка сутунки недаром считается излишне сложной и кропотливой. Она сильно упрощается на непрерывных станах, где металл дают свободно уширяться, а обработку краев производят вертикальными ребровыми валками (эджерами). Вертикальные валки обычно работают трением и кроме обжатия краев служат для разрушения окалины, которая сдувается с полосы сжатым воздухом, водой или паром.¹ В периодических (непрерывных) станах применение вертикальных валков невозможно по конструктивным соображениям, но большая часть окалины может быть удалена в ребровых калибрах. Надо однако помнить, что ребровые ка-

¹ На современных непрерывных сутуночных и полосовых станах как правило вертикальные валки приводные. Прим. ред.

либры неприменимы для очень тонких полос, так как последние сгибаются в них; более толстые полосы должны быть плотно охвачены проводками во избежание их сгибаания, но это препятствует удалению окалины от полосы.

Прокатка обычного полосового железа в закрытых калибрах хорошо демонстрируется рис. 191. Здесь нет ребровых пропус-

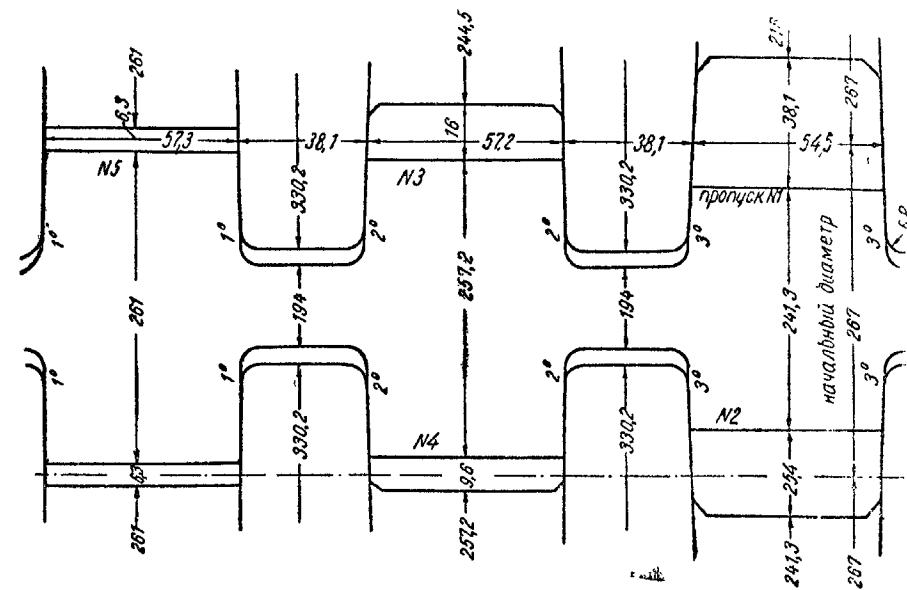


Рис. 191. Калибровка полосового в закрытых калибрах.

ков и в этом отношении калибровка напоминает сутуночную. При нижеприведенных обжатиях и уширениях при прокатке полосы 57 мм ограничение уширения конечно заменяет ребровые калибры.

Обжатие мм	12,7	9,5	6,4	3,2
Уширение мм	0	1,6	0	0,4
Уменьшение сечения % .	31,9	37,1	36,7	26,2

В отношении уширения полосы в калибрах рис. 191 следует заметить, что если какой-либо закрытый верхний калибр в стане трио заполняется полностью, то в калибре, находящемся непосредственно под ним, никакое уширение невозможно (полоса поступает из верхнего калибра в нижний, и оба они имеют одинаковую ширину).

Валки рис. 191 служат при данной настройке для прокатки полосы толщиной 6,4 мм; при более широкой их расстановке они могут служить и для прокатки полосы толщиной 8 и даже 9,5 мм. Вертикальные обжатия при этом остаются прежними, но уменьшения сечения и удлинения уменьшаются.

Вследствие износа валков с закрытыми калибрами, бывает затруднительно поддерживать ширину полосового железа постоянной. Поэтому, если толщина полосы позволяет, некоторые калибровки предусматривают ребровой предотделочный калибр, обжатие в котором тем меньше, чем полоса тоньше.

Повторим еще раз, что закрытые калибры обладают тем недостатком, что в них окалина не удаляется, но наоборот закатывается в профиль; поэтому, где только это возможно, закрытой калибровки стараются избежать.

Таблица 21 а

Размеры калибров, не помещенных на чертеже (к рис. 191)

Пропуск №	Ширина мм	Высота мм	Диаметры валков мм			Угол наклона стенок калибра
			Верхнего	Среднего	Нижнего	
1а	49,2	28,6	248	248	228,6	3°
2а	49,2	19,1	248	248	228,6	3°
3а	50,8	12,7	257,2	257,2	251	2°
4а	50,8	9,6	257,2	257,2	251	2°
5а	60,2	6,4	260,4	260,4	260,4	1°
1б	44,5	22,2	254	254	235	2°
2б	44,5	12,7	254	254	235	2°
3б	45,2	6,4	260,4	260,4	260,4	1°

Глава третья

ПРОКАТКА СОРТОВОГО ЖЕЛЕЗА

Шестигранное железо

Шестигранное железо применяется в больших количествах для производства болтов, иногда для гаек. Оно прокатывается так, что в точках разъема калибров оказываются или середины противоположных сторон шестигранника или углы его. Первый метод более употребителен, так как при нем меньше вероятность образования заусенцев. Готовый шестигранник прокатывается из овала, или из удлиненного шестигранного профиля, причем ввиду того, что из овала выходит плохой профиль, гораздо чаще пользуются шестигранником.

На рис. 192 изображена калибровка двух шестигранных профилей различных размеров, прокатываемых на стане 254 мм. В обоих случаях для превращения квадрата в шестигранник требуется по 4 пропуска. Полная калибровка состоит из шести калибров, но первые два для нас не интересны. Характерными калибрами для данной калибровки являются удлиненные шестигранники с вогнутыми сторонами. Расположенные между ними прямолинейные шестигранники не могут быть направлены прямо в отделочный калибр, так как не дают правильного профиля. При пользовании этой калибровкой необходимо иметь в виду, что уширение изменяется в зависимости от диаметра валков, температуры полосы и состава стали.

Круглое железо

На первый взгляд кажется, что круглый профиль является очень трудным для прокатки в смысле заполнения калибра; тем не менее правильный круг получить можно, применяя самые различные формы предотделочных калибров.

Еще недавно проводилось строгое различие между прокаткой круглого в проводках и вручную. Крупные профили, от 50 до 200 мм, прокатывались и сейчас еще прокатываются вручную. При этом методе предотделочные профили берутся овального или стрельчатого сечения и умеренной длины; при прокатке полоса удерживается клеммами в нужном положении.

При прокатке в проводках, применяемой для сечений меньше 50 мм, овальное предотделочное сечение проходит в круглый калибр через проводку, которая удерживает его во все время прокатки. Ручная прокатка круглого дает чрезвычайно точный профиль, что

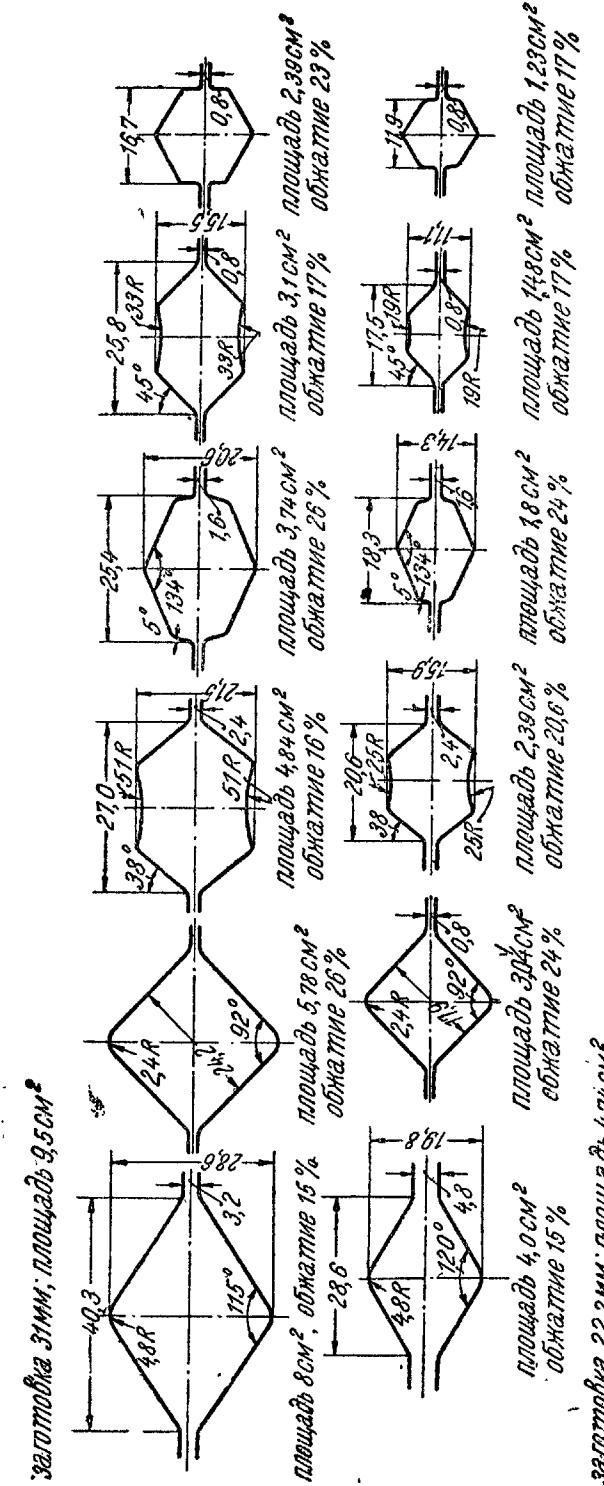


Рис. 192. Калибронка шестигранного железа.

особенное важно для дальнейших процессов холодной прокатки и холостой прокатки.

Недавно появился комбинированный метод, применимый для сечений от 25 до 75 мм, предназначенных главным образом для поковок.

Прокатка круглого вручную. При прокатке круглого вручную, блум или заготовка обжимается в стрельчатых калибрах (рис. 162, 163, 164) в квадрат с выпуклыми сторонами, изображенный на рис. 161. Сравнительно короткая полоса этого сечения затем отделяется следующим образом. Рабочие держат полосу клеммами так, что углы находятся в горизонтальной и вертикальной плоскостях, и, все время сохраняя это положение, идут к стану, следя за движением штуки через валки. Штука сперва проводится таким образом через черновой круг, изображенный на рис. 193, диаметр которого на 2,4—3,2 мм больше чистового. Слабое переполнение калибра в плоскости его разъема холод-

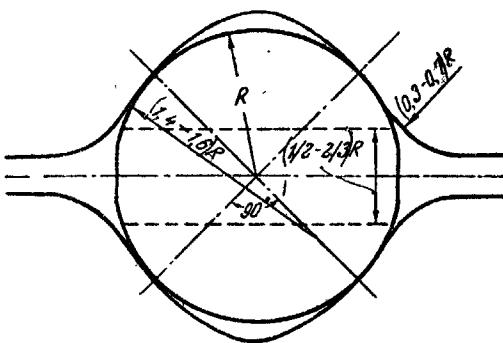


Рис. 193. Черновой круглый калибр.

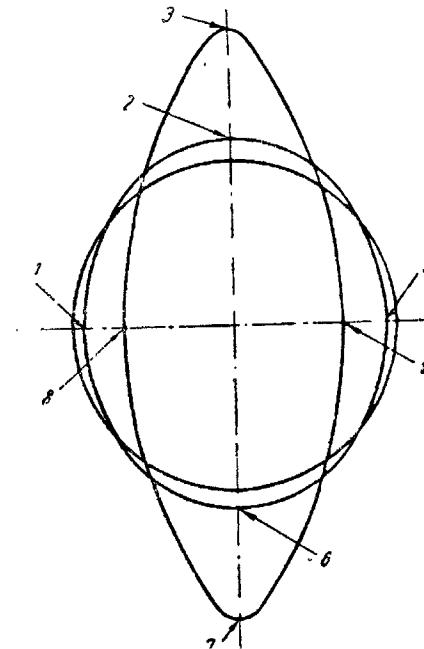


Рис. 194. Прокатка овала в круге.

нее остальной части штуки и образует темную полосу на ней. Затем штука подается в отделочный калибр, сначала темной полосой кверху и еще два раза в этот же калибр с кантовкой на 90° перед каждым пропуском. Обжатие в отделочном круглом калибре равно от 5 до 6% площади чернового круга. Закругления калибра образованы весьма большим радиусом, равным около $\frac{1}{3}$ диаметра профиля, аналогично как на рис. 193. Как было указано раньше, средняя часть профиля не обжимается и может уширяться. Она претерпевает обжатие после кантовки при повторном пропуске через этот же калибр.

Прокатка круглого в проводках. При прокатке круглого в проводках, квадрат превращается в овал, и этот последний — в круг. Отношения диаметров овала различны и овалы бывают как почти круглыми (1—2—4—6, рис. 194), так и весьма плоскими (3—5—7—8). Первые применяются для круглых сечений (38—100 мм), вторые —

для мелких (4—10 мм). Применение почти круглых овалов было бы предпочтительнее для малых сечений, если бы это было возможно, так как плоский овал быстро изнашивает отделочный калибр, который поэтому служит весьма недолго (износ калибра почти пропорционален произведению удельного давления на относительную скорость труящихся поверхностей). Применение круглых овалов для малых размеров недопустимо, потому что такой овал свертывается ввиду наличия известного зазора между полосой и проводками. Так как мелкие профили весьма слабо сопротивляются «свертыванию», то их надо направлять в ручей более тщательно.

Зависимость между диаметром готового круга и шириной пред-
отделочного овала после кантовки дана в табл. 22.

Таблица 22

Диаметр круга <i>мм</i>	50	38	25	13	6
Отношение ширины овала к диаметру круга	0,87	0,86	0,85	0,80	0,65

Высота овала при входе в круг легко определяется, если иметь в виду, что его площадь равна $\frac{2}{3}$ произведения диаметров, и что обжатие в отделочном калибре бывает от 5 до 15%.

Приведем пример вычисления овала. Пусть требуется прокатать круг диаметром 25 мм (температурным расширением пренебрегаем). Ширина предотделочного овала по табл. 22 равна $25 \times 0,85 = 21,25$. Принимая обжатие в отделочном калибре 8%, площадь круга должна быть равна 0,92 от площади овала. Площадь круга диаметром 25 мм равна 490 мм^2 , а площадь овала — $490 : 0,92 = 533 \text{ мм}^2$. Высоту овала определяем, принимая его площадь равной $\frac{2}{3}$ произведения диаметров.

$$533 = \frac{2}{3} \times 21,25 \times X; X = 37,5 \text{ mm.}$$

Необходимо еще иметь в виду, что овал редко выполняется полностью. Заполнение зависит главным образом от температуры. Обращаясь к рис. 195 видим, что W_o обычно равно $0,90 W_p$.

Обжатия в отделочном калибре бывают и больше, до 30%, но тогда профиль получается неточным и имеет шероховатую поверхность.

Немецкие правила для определения овала дают (рис. 195):

$$h = 0,99 \text{ } d - 1,5 \text{ } mm, \quad W_o = 1,18 \text{ } d + 0,4 \text{ } mm \\ R = \frac{2}{\pi} \text{ } d + 1,5 \text{ } mm, \quad W_p = 1,3 \text{ } d + 0,4 \text{ } mm$$

где d — диаметр круга. Американские же калибровщики предпочитают пользоваться данными табл. 22, дающей меньшие значения h . При диаметре круга больше 75 мм, целесообразно применять овал по рис. 196, образованный несколькими радиусами (трехрадиусный овал), выраженным в частях диаметра готового круга. Овал обычно прокатывается из лежащего плашмя квадрата. Углы квадрата

скоро образуют борозды в стенках овального калибра, и поэтому иногда квадрат заменяют другими профилями.

На рис. 197 дан один из способов уменьшения износа предотделочного овального калибра.

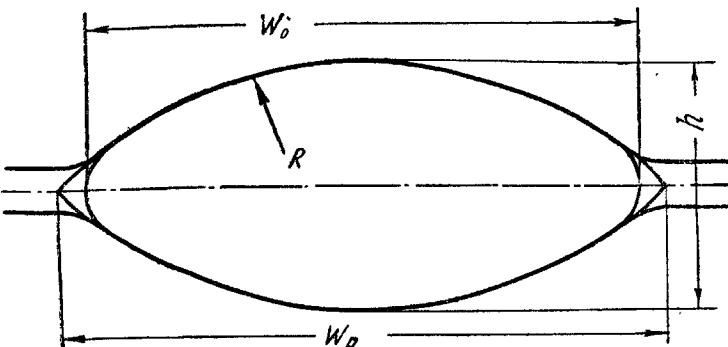


Рис. 195. Заполнение овального калибра.

Для больших же сечений прекрасным профилем для задачи вновь является стрельчатый.

Круглое диаметром до 230 мм прокатывается из предотделочного 10-гранного профиля, изображенного на рис. 198. Этот профиль

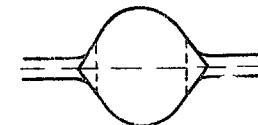


Рис. 197. Форма калибра, заменяющего квадрат и применяемого для уменьшения износа овала.

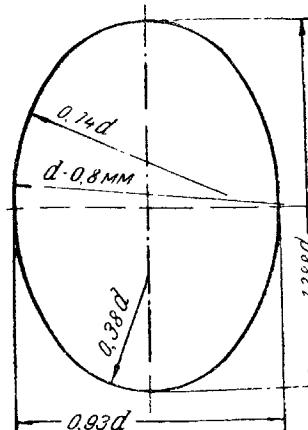


Рис. 196. Форма овала для круглых сечений диаметром более 75 мм.

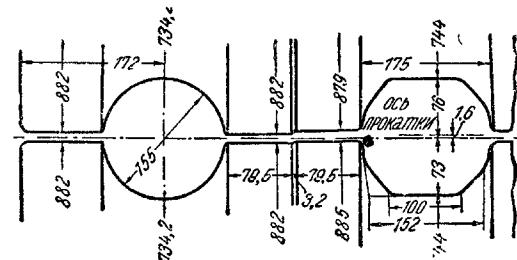


Рис. 198. Предотделочный десятигранный профиль для прокатки круглого железа больших диаметров.

часто применялся для снарядной заготовки и применяется в настоящее время для производства заготовки для цельнотянутых труб и дисков колес.

Отделочные калибры больших профилей очерчиваются точно по

кругу, так как при этом нет неясностей с уширением, ибо температура полосы по всему сечению почти одинакова.

При средних и мелких профилях положение иное. Неравномерность температуры полосы или задержка на стане приводят к тому, что разные штуки, или отдельные части одной штуки, имеют различную температуру.

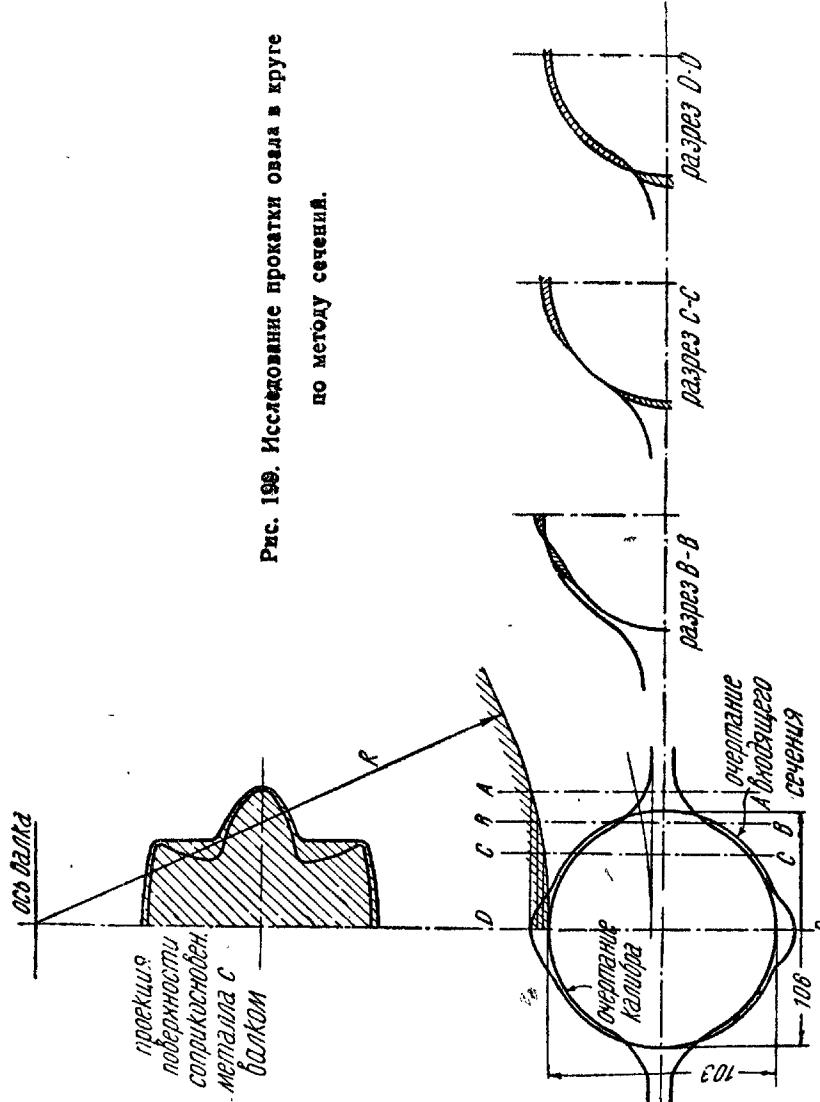


Рис. 199. Исследование прокатки овала в круге по методу сечений.

На холодной полосе неизбежно образуются большие заусенцы. С этим нужно бороться путями, изложенными в первой части. Соответствующий рисунок повторен здесь под № 193. Расширение калибра по краям осуществляется расточкой его по кругу несколько большего диаметра, как показано на рис. 193; расточка производится на $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ глубины калибра. Кроме этого, предусматри-

вается хорошее закругление краев калибра. При этом холодные полосы уже не могут дать заусенцев, но лишь легкое переполнение, слишком же горячие выйдут с несколько недовыполнеными боками.

На рис. 199 изображен анализ прокатки почти круглого овала с небольшим переполнением в отделочном калибре. Диаметр калибра равен 103 мм, диаметр овала — 106 мм. Углы ручья закруглены. После охлаждения штуки, диаметр ее будет 100 мм. Как показывает сечение D—D₁, выходящий профиль также имеет слабое переполнение, которое удаляется кантовкой и вторичным пропуском в том же калибре. Однако во время этого пропуска также может появиться переполнение, и для получения точного профиля полоса пропускается через отделочный калибр до трех раз. В случае рис. 199, первый отделочный пропуск дает 5% обжатия, второй — 1,6%, третий — еще меньше.

При прокатке особо точного профиля, за отделочной клетью можно установить пару вертикальных калибровочных валков, которые могут быть как приводными, так и холостыми, но в последнем случае, во избежание трения и застревания полосы, в шейках валков необходимы шарикоподшипники. Обжатие в калибровочных валках очень мало, около 1% от диаметра.

Круглое для поковок. Для производства автомобильных коленчатых валов и других поковок требуется хороший круглый профиль с однородной структурой металла и гладкой поверхностью. Начинают его прокатку обычно в непрерывной группе клетей и кончают в периодической или «кросс-контри».

Общие принципы прокатки не отличаются от изложенных выше, но скручивания полосы между непрерывно расположенными клетями не допускают нигде, кроме первых проходов. Некоторые калибровщики совершенно избегают скручивания полосы и в непрерывных станах, применяя попеременные горизонтальные и вертикальные валки.

Системы расположения калибров для быстрого обжатия

При прокатке мелких сортовых профилей и проволоки, одной из главных целей является возможно быстрое обжатие заготовки в готовый профиль, т. е. применение для этой цели минимального числа пропусков. При этом соблюдение описанного выше способа калибровки квадратов, где можно было бы прекратить прокатку на любом пропуске и получить готовый квадрат нужного размера, не имеет смысла, так как все внимание направлено в сторону получения продукта одного размера и выдачи его из последнего калибра стана.

В производстве мелкосортного проката мы встречаемся таким образом с двумя задачами — во-первых с определением формы калибров, и во-вторых с их размещением в валках.

Наряду с описанными выше способами прокатки плашмя — на ребро-плашмя и ромб-квадрат-ромб, применяются и другие, чисто ромбические, овал-квадрат-овал, овал-ромб-овал, овал-круг-овал. Последние три способа особенно часто применяются в непрерывных станах. Появление способа овал-квадрат-овал вероятно обязано

стремлению получать промежуточные квадратные размеры, пригодные для прокатки круглого, шестигранного и специальных сортов. Однако сторона каждого последующего квадрата равна от $\frac{5}{8}$ до $\frac{2}{3}$ предыдущего и поэтому для приспособления к этому ряду квадратов отделочная линия должна была бы иметь очень большое число калибров.

Последовательность калибров для быстрого обжатия должна обладать следующими свойствами:

1) почти вся деформация должна идти в сторону удлинения, и возможно меньшая часть ее — в сторону уширения;

2) вследствие сильных обжатий и значительного износа, форма калибров должна быть такова, чтобы ее легко можно было исправлять, снимая за один раз возможно меньшее количество стружки.

Рис. 200. Форма плоского калибра, ограничивающая уширение и допускающая легкую переточку валков.

Форма калибров должна быть такова, чтобы ее легко можно было исправлять, снимая за один раз возможно меньшее количество стружки.

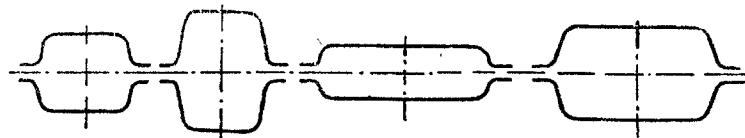


Рис. 201. Прямоугольные калибры черновых валков.

Первому требованию удовлетворяют калибры для прокатки пластины и на ребро (см. калибровку блуминга и заготовочных ста-

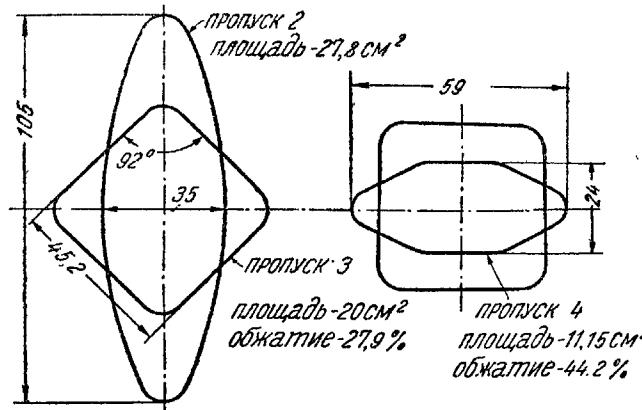


Рис. 202. Схема прокатки по системе овал-квадрат-овал.

нов), снабженные буртами, но они не удовлетворяют второму условию, если только конструкция их не соответствует рис. 200. В этом случае износ буртов компенсируется осевым перемещением валков.

Однако при такой конструкции имеют место чрезмерные осевые давления, вызывающие такие затруднения, что пользоваться ею избегают. Открытые прямоугольные калибры применимы только при большом уклоне стенок, как на рис. 201, но их применяют только для 3—4 первых пропусков, так как уширение слишком велико и целесообразнее прибегнуть к другим типам калибров.

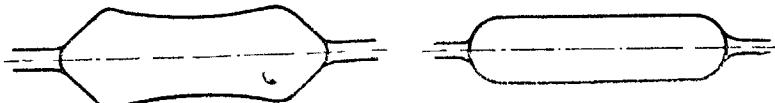


Рис. 203. Видоизменения овального калибра.

Система ромб-квадрат-ромб не дает достаточно быстрых обжатий. Причины этого мы уже излагали. Таким образом мы приходим к системе овал-квадрат-овал, которая вполне удовлетворяет обоим условиям и применяется весьма широко. Такой метод прокатки изображен на рис. 202. Овалы частно заменяются плоскими сечениями с длинными косыми сторонами, т. е. уродливыми овалами, по рис. 202 (пропуск 4). Другие сечения, заменяющие овал, даны на рис. 203. Сейчас будет объяснена причина такого видоизменения овала.

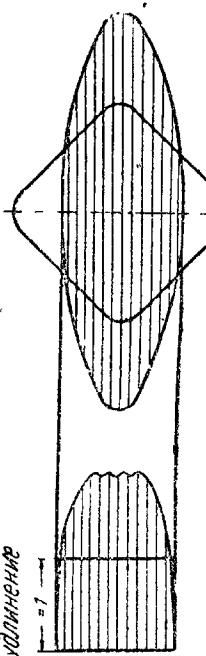


Рис. 204. Диаграмма удлинений при прокатке овала в квадрате.

На рис. 204 дана диаграмма идеального удлинения овала, входящего в квадратный калибр, а на рис. 205 такая же диаграмма для квадрата, входящего в овальный калибр. Хотя явление в действительности несколько видоизменяется уширением, все же, пренебрегая им, можно сделать следующие выводы. На рис. 204, если не учитывать уширения, края профиля не испытывали бы вытяжки, но они увлекаются вперед средней частью. Последнее, как мы знаем, препятствует уширению. Действительно, наблюдаемое уширение очень невелико и не увеличивает заметно сечения полосы. Следовательно овал, входящий в квадрат, является хорошим профилем для быстрого обжатия. Из рис. же 205 видно, что квадрат, входящий в овал, с этой точки зрения менее благоприятен, так как первыми обжимаются края профиля, что способствует уширению. Тем не менее, давая большое давление и предусматривая избыточную ширину калибра для уширения, можно и здесь получить значительное уменьшение сечений.

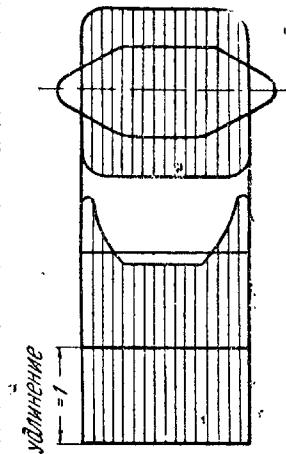


Рис. 205. Диаграмма удлинений при прокатке квадрата в овале.

Калибр рис. 205 быстро изнашивается в местах, где наклонные стороны его прежде всего соприкасаются с полосой. Кроме того в этом калибре конец полосы легко расщепляется и ввод ее в следующий калибр затруднен. Поэтому, а также вследствие появления трещин в наклонных стенках этого калибра, многие практики избегают его применения.

В обоих случаях (овал в квадрат и квадрат в овал) возможны уменьшения сечения до 50% и более, что однако применяется редко вследствие чрезмерного износа валков.

Главным достоинством непрерывных и полуунпрерывных станов является возможность прокатывать одно и то же сечение в громадных количествах без смены валков. Настройка и смена валков стоят дорого. Поэтому, в целях более долгого сохранения валков, большие обжатия применяют только в начальных и средних клетях, где

скорость прокатки невелика и полоса имеет высокую температуру. И скорость и температура имеют к концу прокатки гораздо более неблагоприятное влияние с точки зрения износа валков. Поэтому в первых клетях обжатия принимаются в пределах от 40 до 50%, в средних — от 30 до 40%, и в последних — от 20 до 30%. Когда научатся производить более твердые валки, менее изнашивающиеся и трескающиеся от действия высоких температур, обжатия в последних клетях несомненно будут повышенены. В настоящее же время мы стремимся к такому подбору обжатий,

чтобы валки изнашивались равномерно и требовали замены в одно и то же время. Это впрочем не всегда возможно.

Может появиться мысль о возможности достижения больших обжатий при меньшем износе валков, если применять валки большего диаметра. Ошибочность этого предположения очень легко доказать. Действительно, скольжение полосы, или разница скоростей входящей и выходящей ее частей главным образом зависит от обжатия и гораздо менее от диаметра валков. В то же время дуга соприкосновения металла с валком растет с диаметром последнего, как видно из рис. 206, а так как износ пропорционален произведению удельного давления на площадь соприкосновения трущихся поверхностей, то ясно, что износ валка большего диаметра будет больше. Из предыдущего мы помним кроме того, что давление увеличивается с увеличением поверхности соприкосновения металла и валков, что еще более ухудшает условия работы валков большого диаметра. Наконец уширение усиливается с увеличением диаметра валков, в то время как нашей задачей является уменьшение уширения.

Износ валков в тоннах на 1 тонну проката меньше для больших валков, в предположении неизменного удельного давления и определения.

Для того чтобы исчерпывающим образом покончить с этим вопросом, рассмотрим рис. 207, представляющий овал, входящий в

квадрат, и рис. 208, дающий то же явление, но при вдвое большем диаметре валков. Большее уширение в последнем случае очевидно из рисунка. Рис. 209 и 210 составлены для квадрата, входящего в овал, и иллюстрируют то же положение.

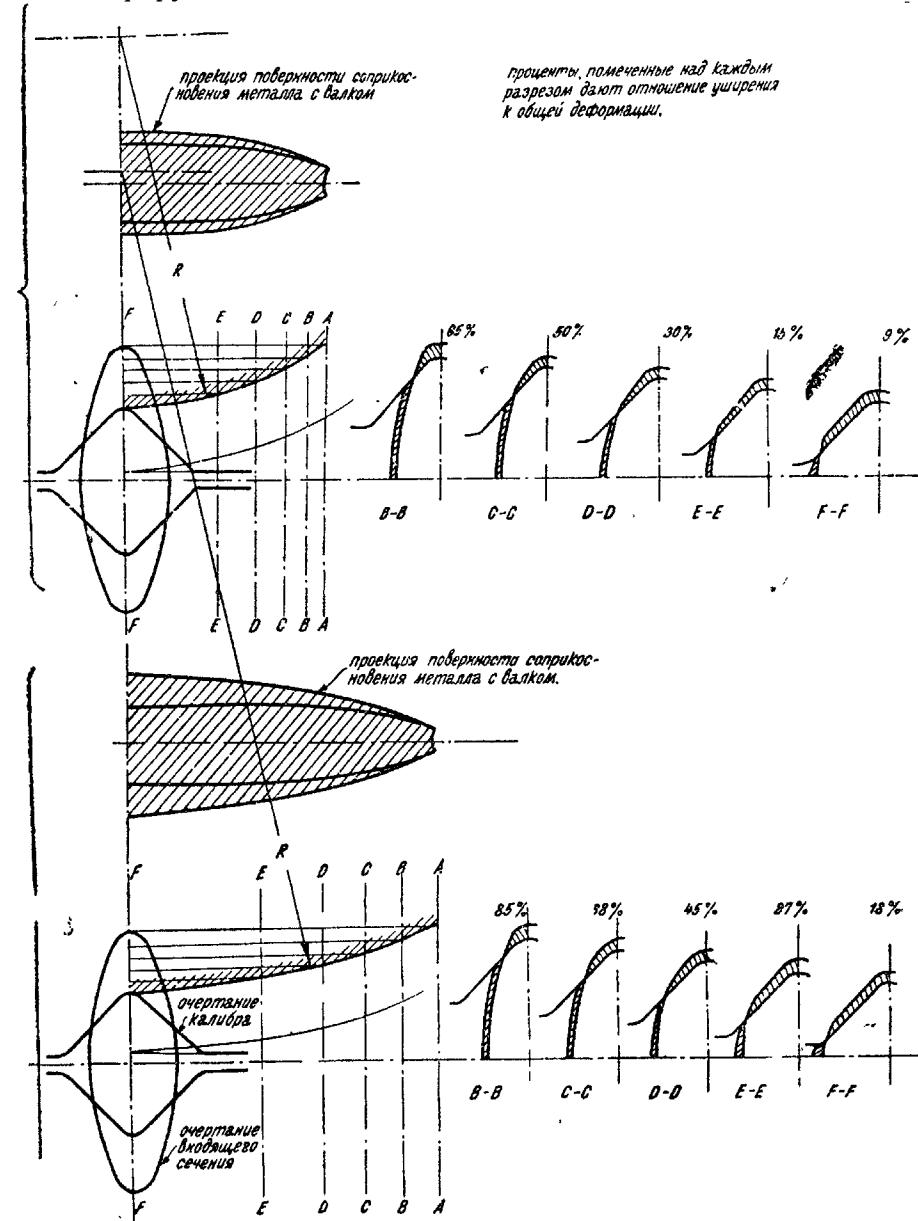


Рис. 207 и 208. Исследование прокатки овала в квадрате сечений.

Наивыгоднейшее соотношение между сечением полосы и диаметром валка находится не анализом и расчетом, но длинным и дорогим путем опыта.

Связь между формой овала и обжатием ясна из рис. 211. Для получения плоского овала требуется сильное обжатие и значительное уширение, для более круглого — меньшее обжатие и уширение.

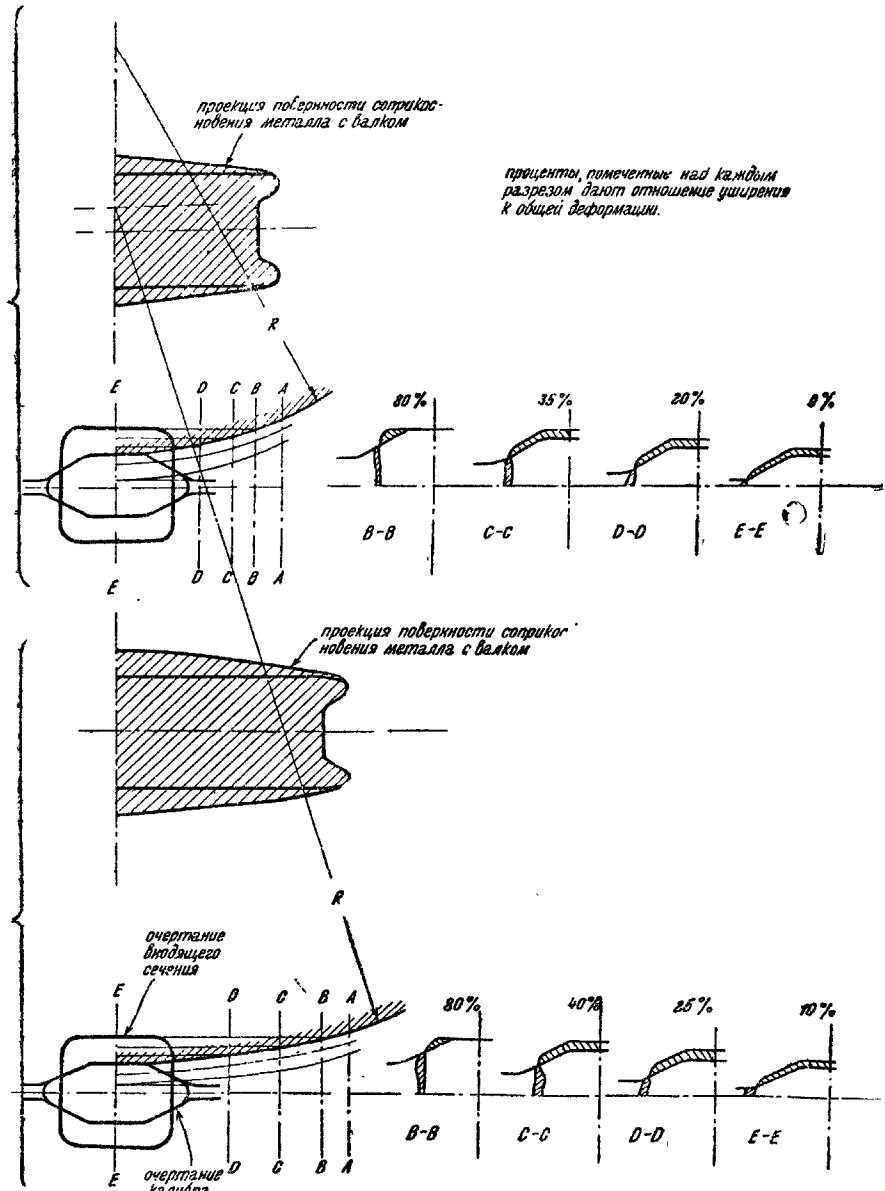


Рис. 209 и 210. Исследование прокатки квадрата в овале методом сечений.

Теперь можно объяснить форму калибров рис. 203. Правый, очень плоский овал дает очень сильное обжатие, уродливый левый с вогнутыми стенками дает еще большее обжатие. При задаче последнего профиля на ребро в квадратный калибр получаются колосальные

обжатия без образования заусенцев. Этот способ применяется, когда требуется обойтись минимальным числом пропусков, а износ валков и качество продукта не имеют значения.

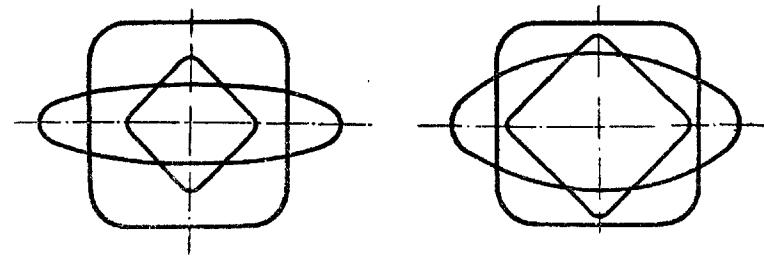


Рис. 211. Связь между формой овала и обжатием.

Система овал-квадрат-oval требует кантовки овала перед входом в квадрат на 90° и кантовки квадрата перед входом в овал на 45° . Для системы овал-круг-овал необходимость в кантовке на 45° отпадает, что ясно из рис. 212.

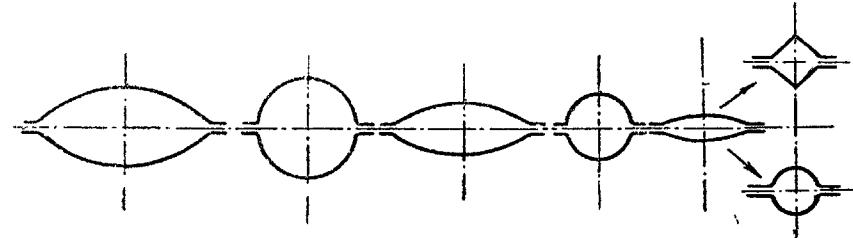


Рис. 212. Система овал-круг-овал.

Однако эта калибровка не годится для выдачи готового профиля из любого круглого калибра, так как сечения, выходящие из этих калибров, далеки от правильных окружностей. Промежуточные круглые калибры не должны быть полностью заполнены металлом,

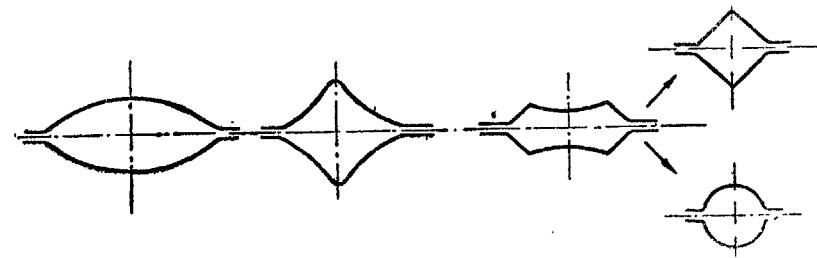


Рис. 213. Видоизменение системы овал-круг-овал.

иначе при малейшем изменении условий прокатки (например температуры) неизбежно получение брака по заусенцам. Действительно, система овал-круг-овал не применялась в прошлом единственно потому, что считали недопустимым не полное заполнение калибров и

прокат шел сплошь с заусенцами. Калибры, показанные на рис. 212, служат для прокатки квадрата 45×45 мм в квадрат 22×22 мм и в круг диаметром 23 мм при умеренных обжатиях.

Модифицированная система овал-квадрат-овал дана на рис. 213.

Следующей проблемой при разрешении вопроса о быстрых обжатиях является вопрос размещения калибров в валках. Однако, эта задача гораздо более касается конструкции стана, чем калибровки валков. Количество разных вариантов и комбинаций чрезвычайно велико и их изучение выходит из рамок настоящей книги.

Глава четвертая

ПРОКАТКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Покончив с рассмотрением калибровки простых профилей — квадрата, круга, полосового и шестигранного железа, — мы переходим к так называемым фасонным профилям, наиболее обычными из которых являются угловое, зетовое, тавровое, коробчатое, двутавровое железо и рельсы. Большинство этих профилей столь распространены, что практика выработала прекрасные способы их производства.

Общие принципы, на которых основана прокатка и калибровка фасонных профилей, изложены в первой части; здесь мы рассмотрим характерные примеры и приемы прокатки каждого из перечисленных выше профилей.*

Прокатка углового железа

Поскольку угловое железо представляет собою не что иное, как изогнутую полосу, его можно рассматривать как переходный профиль от простых сечений к сложным. Действительно, уголок прокатывается почти подобно тому, как прокатывается полосовое железо; единственная разница заключается в необходимости получения острой вершины профиля и изгиба полосы в форму угла.

Общеприняты два способа прокатки углового железа, изображенные на рис. 214 и 215. В обоих случаях даны только характерные калибры обоих калибровок, чтобы не затенять чертежа.

Малые уголки иногда прокатываются из прямоугольной заготовки, подаваемой в диагональный калибр (рис. 216).

Можно также прокатывать уголок, имея одну сторону его всегда вертикальной, но этот способ не рекомендуется, так как он очень тяжел для выходных проводок.

При первом способе прокатки (рис. 214) важно расположение калибра относительно средней линии валков (т. е. относительно середины расстояния между осями валков), так как важно получить прямую полосу, не слишком давящую на проводки и не дающую сильных ударов в муфтах и шпинделях стана.

Второй метод — комбинированного обжатия и изгиба полосы (рис. 215) имеет то преимущество, что при нем лучше используется длина бочки валка, чем при первом способе (калибры шире в первом случае), но зато он требует более глубоких врезов в теле валка. С другой стороны способ рис. 214, не требуя глубоких врезов в вал-

ках, не допускает ребровых обжатий в конце прокатки. В настоящее время большая часть углового железа прокатывается по методу рис. 215, требующему меньшей длины валка.

Количество пропусков, необходимых для превращения квадратной заготовки в готовый угловой профиль, зависит от размера сечения. Мелкие уголки катаются в пять пропусков, средние требуют от семи до девяти, а самые крупные до одиннадцати. Это объясняется несколькими причинами. Прежде всего мелкие уголки прокатываются в валках, диаметр которых весьма значителен по отношению к размеру профиля, и поэтому здесь допустимы большие обжатия. Во-вторых толщина полок малых уголков относительно больше. С другой стороны большие уголки прокатываются в валках, с относительно меньшим диаметром; поэтому обжатия их должны быть меньше и толщина полок сравнительно мала. Всё это требует большего числа пропусков.

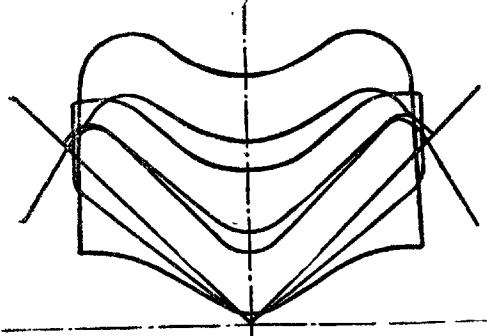


Рис. 214.

Рис. 214, 215 и 216. Способы калибровки углового железа.

Несмотря на то, что метод прокатки угольника по рис. 214 не применяется в настоящее время столь широко, как прежде, мы считаем необходимым остановиться на нем более подробно, так как он имеет два весьма характерных калибра, которые мы сейчас и рассмотрим. Характерными калибрами данной калибровки являются ребровой и изгибающий калибры, которые исследованы методом сечений на рис. 217 и 218.

На рис. 217 представлен ребровой калибр. Сечения его занумерованы справа налево от 1 до 6. Между 1 и 2 сечением валки только начинают захватывать полосу. Соприкосновение валков с полосой имеет место только в нескольких точках, и напряжения имеют чисто местный характер; они сосредоточены на небольших участках, которые испытывают значительно большие напряжения, чем остальной металл. Поэтому деформация будет иметь чисто местный характер и будет направлена в сторону уширения, так что на удлинение пойдет не более одной трети всей деформации.

В пространстве между сечениями 2 и 3 уширение не может больше протекать свободно, ибо полоса коснулась боковых сторон калибра. Если бы полоса не изгибалась, то здесь имело бы место зна-

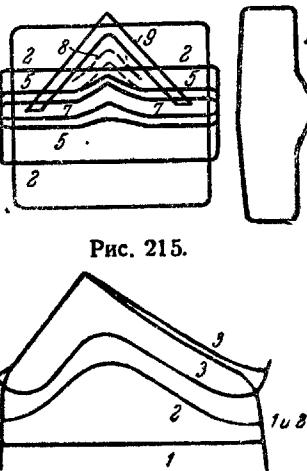


Рис. 215.

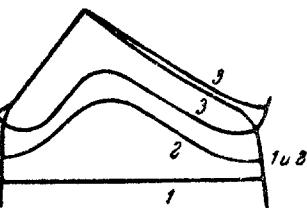


Рис. 216.

чительное ее удлинение. Очевидно, что участок H испытывает сильное сжатие, в то время как в K могут господствовать слабые вертикальные растягивающие силы (вследствие изгиба полосы). Предполагая металл идеально упругим и произведя простой расчет на этом основании, находим, что напряжение в H примерно в $2\frac{1}{2}$ раза больше чем в $L-L$. Вследствие затрудненности движения вперед можно предположить, что $\frac{1}{3}$ полной деформации идет на уширение.

Те же условия до некоторой степени господствуют и в участке между сечениями 3 и 4. Полоса зажата в клиновидной щели между валками, сдавливающими ее по вертикали, и стремящимися изогнуть, и только небольшая часть смещенного объема может быть использована для удлинения полосы, поэтому деформация идет главным образом на изгиб. Сжимающие усилия в H примерно в четыре раза больше, чем в $L-L$. Поэтому вероятное очертание профиля в сечении 4 изображено в предположении следующего распределения деформации: 25% — удлинение, 25% — уширение, и 50% — изгиб. Последний происходит наиболее интенсивно именно в сечении 4. Дальнейшему изгибу препятствует то, что поблизости от сечения 5 полоса начинает касаться ручья в точке E , развивающей противоположно направленную силу Q . Действительно, момент $M-P$ изгибающей силы P действует против направления момента $M-Q$ силы Q . Вследствие этого полоса изгибается уже не столь интенсивно. Учитывая, что в сечении 4 полоса еще не коснулась стенки калибра в точке E , и что профиль полосы в сечении 5 должен являться результатом всех действующих сил, наблюдающихся между сечениями 4 и 5, этот профиль вычерчен в предположении того, что одна треть деформации пошла на удлинение полосы, одна четверть — на изгиб, и остальное на уширение, препятствующее конечно уменьшению сечения. Наибольшее уширение имеет место в точке G профиля, где ему ничто не препятствует.

Большая часть изложенных рассуждений относится и к интервалу между сечениями 5 и 6, однако здесь значительно слабее сила трения, препятствующая опережению полосы. Изгиб в этом участке почти невозможен, в то время как уширение легко осуществляется. Поэтому профиль в сечении 6 вычерчен на основании следующего распределения деформации: 50% в сторону удлинения и 50% — в сторону уширения, большая часть которого приходится на точку G . В ребровом калибре весьма успешно разрушается и отпадает от полосы слой окалины.

На рис. 218 изображено изгибание полосы в уголок по второму методу. Полоса движется как и в предыдущем примере, справа налево. Сечение 1 изображает полосу до начала деформации, соприкасающуюся с верхней и нижней половинами калибра. Однако одновременное соприкосновение с обоими валками не обязательно; входная проводка может направлять полосу так, что она коснется сначала одного валка. Это впрочем не имеет значения, так как все равно валок отклонит полосу, пока она не коснется и второго валка.

От 1 до 5 сечения сжатия полосы не наблюдается, только один изгиб. Точка A на всех сечениях является местом первого соприкосновения полосы с валком. Так как эта точка перемещается поперек калибра при изгибе полосы, то ясно, что полоса скользит по калибру

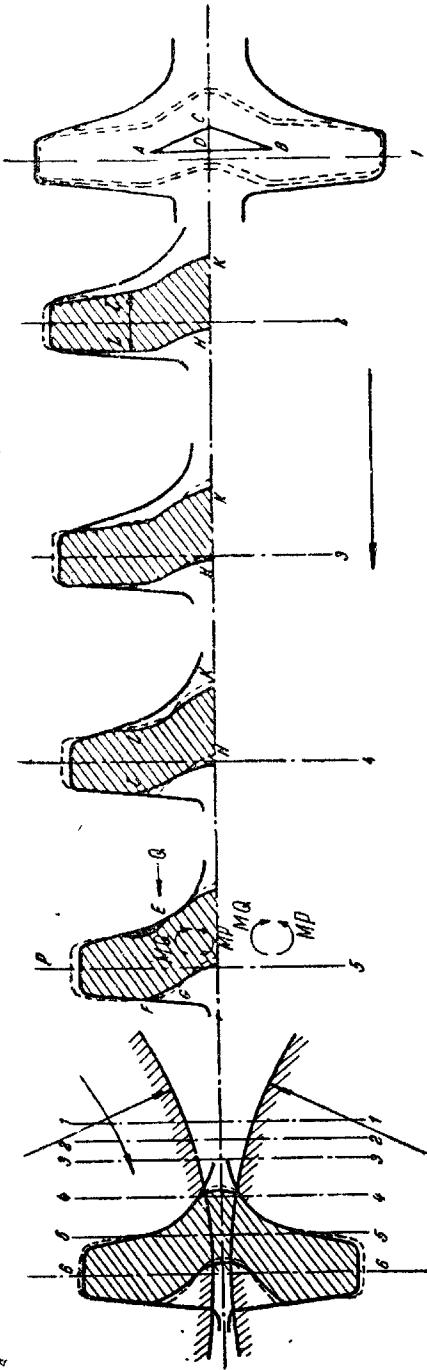


Рис. 217. Исследование ребрового калибра методом сечений.

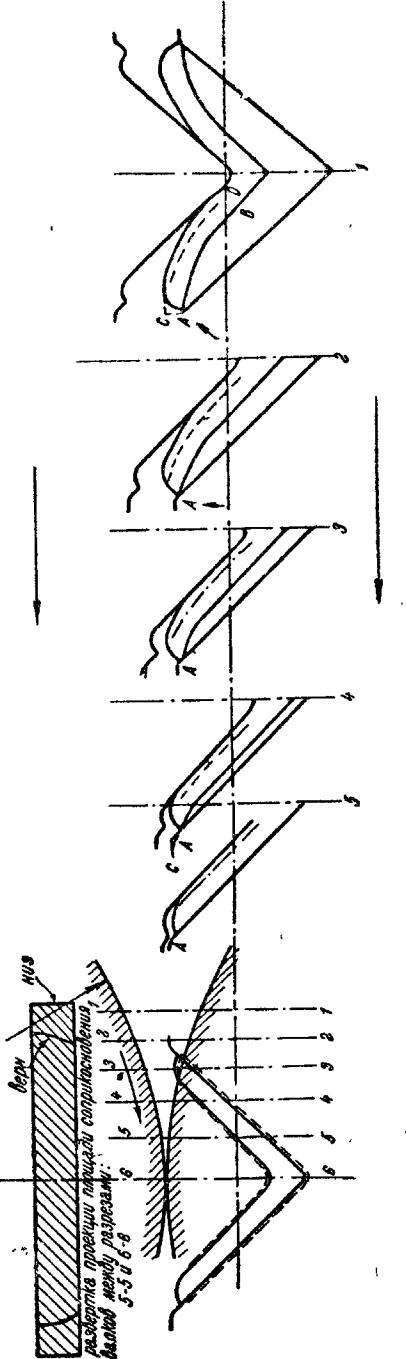


Рис. 218. Исследование изгибающего калибра методом сечений

поперек его. Это скольжение во-первых вызывает износ калибра между точками СА на сечении 4, во-вторых заостряет углы профиля в концах полок и в-третьих увеличивает растягивающие напряжения профиля, возникающие вследствие его изгиба.

Если изгибающие силы направлены по стрелке A в сечении 1, то нейтральная ось сечения лежит посередине профиля. Но так как вследствие скольжения изгибающая сила направлена по стрелке A сечения 2, то нейтральная линия перемещается вверх примерно на четверть толщины полосы. Величину удлинения полок при изгибе можно быстро измерить, сравнив расстояния AB и CD , сечение 1. Тогда $\frac{AB - CD}{AB}$ есть относительное удлинение полки вследствие изгиба.

Опасаться этого удлинения полок уголка не следует, ибо абсолютно пластичный материал может выдерживать 100% удлинение без поперечного сжатия и еще большее удлинение при поперечном сжатии. В нашем же случае удлинение равно примерно 10%, и трещины не появятся ни при стали ни при железе. При сварочном же железе, и при удлинении более 15%, при неблагоприятно расположенных шлаковых включениях, появление трещин вероятно. Цифра 15% дана весьма условно, ибо величина опасного удлинения зависит от величины шлаковых прожилок, их направления и т. п. В обычных же случаях предел удлинению ставится не опасностью разрыва полосы, но другими факторами, главным образом износом валков.

Как только уголок коснется обоих валков всей своей длиной, условия резко меняются. Между сечениями 5 и 6 наблюдается чистое сжатие и удлинение полосы, являющееся целью всякой нормальной прокатки. Величина обжатия в отделочном калибре незначительна, во избежание очень нежелательного быстрого износа его. Интересно уширение в отделочном калибре. Над сечением 6 изображена развертка проекции соприкосновения металла с валком между сечениями 5 и 6. Она различна для верхнего и нижнего вала. Так как рисунок представляет собой прямоугольник с отношением сторон около 1 : 8, то уширение не может превышать 10% смещенного объема. Поэтому калибр едва выполняется и заусенцев не образуется.

Ввиду того, что в настоящее время стандартным методом прокатки углового железа является комбинированное обжатие и изгиб, несколько примеров этой калибровки дано на рис. 219-220 и 221. На рис. 220 интересно расположение калибров и буртов. Калибратор расположил их весьма удачно. Бурты можно было бы иметь немногого уже.

Ввиду того что профиль углового железа не симметричен относительно горизонтальной оси, можно предположить, что форма проекции поверхности соприкосновения металла с валком различна для верхнего и нижнего валков. Это подтверждается рис. 222, на котором изображена полоса, прокатанная в калибре 2 рис. 220, входящая в калибр 3. На рисунке дано полное построение, почти не нуждающееся в объяснении. Сплошными линиями дана проекция поверхности соприкосновения, найденная построением, пунктиром — вероятная ее форма, с учетом деформации полосы.

Калибры рис. 220 представляют собой среднее из двух описанных методов калибровки угольника. На рис. 219, 220, 221 места разъема калибров находятся в острых углах профиля в концах по-лоск. Последние иногда острьи, иногда закруглены. Металл не вытес-

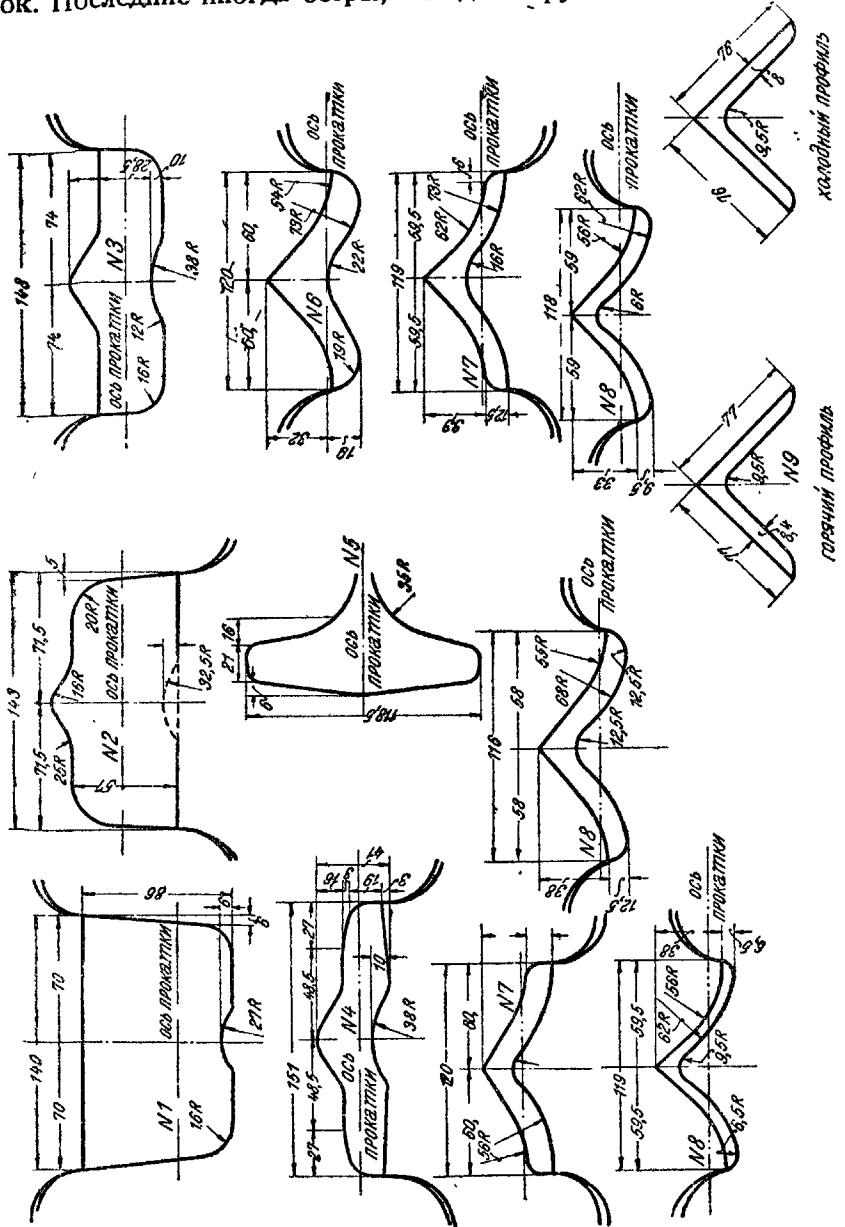


Рис. 219. Калибровка углового железа (первый пример).

няется в месте разъема и не образует заусенцев, если в предыдущем пропуске углы были достаточно закруглены.

Для получения хорошо выполненных углов, уширение почти совершенно не допускается, и поэтому ширина готового уголка лишь немногим больше ширины заготовки.

Многие строительные профили имеют различную толщину полок при одной и той же высоте профиля; это относится и к угловому железу, которое может иметь от 2 (для малых номеров) до 6

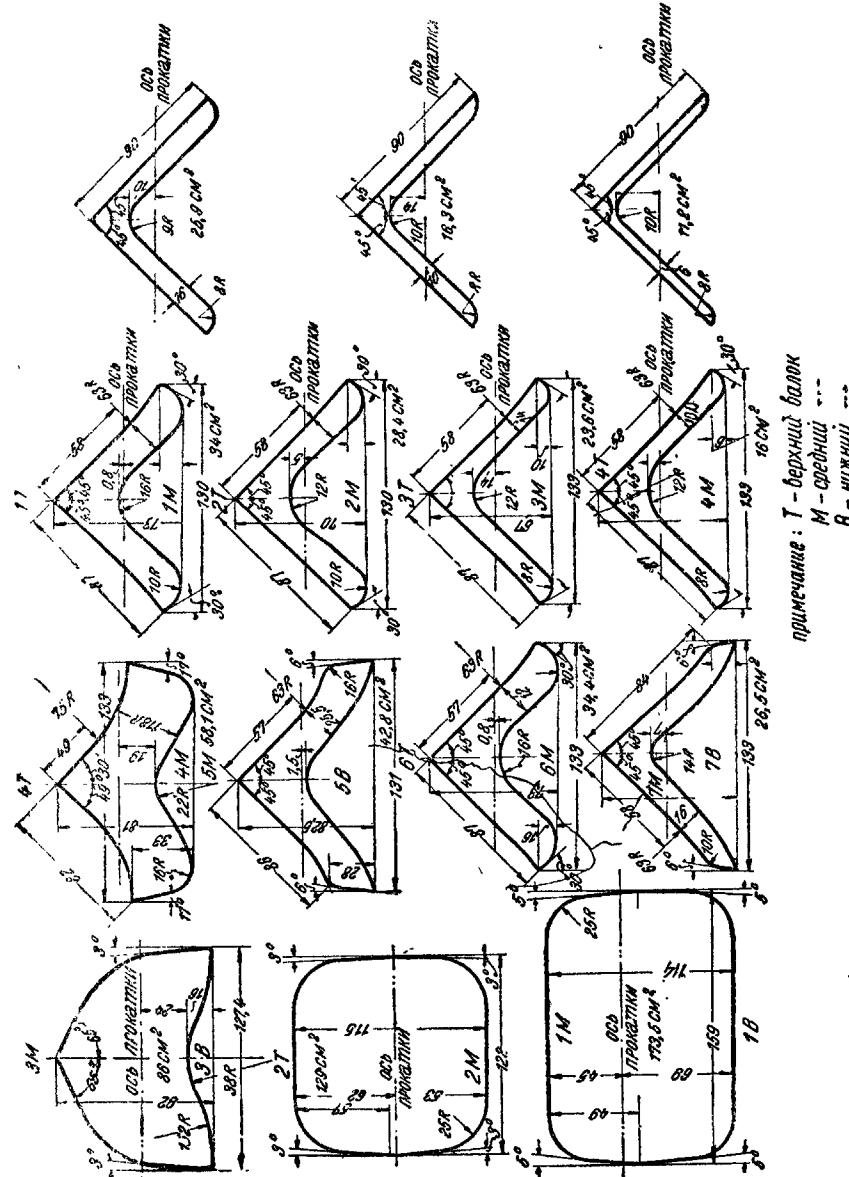
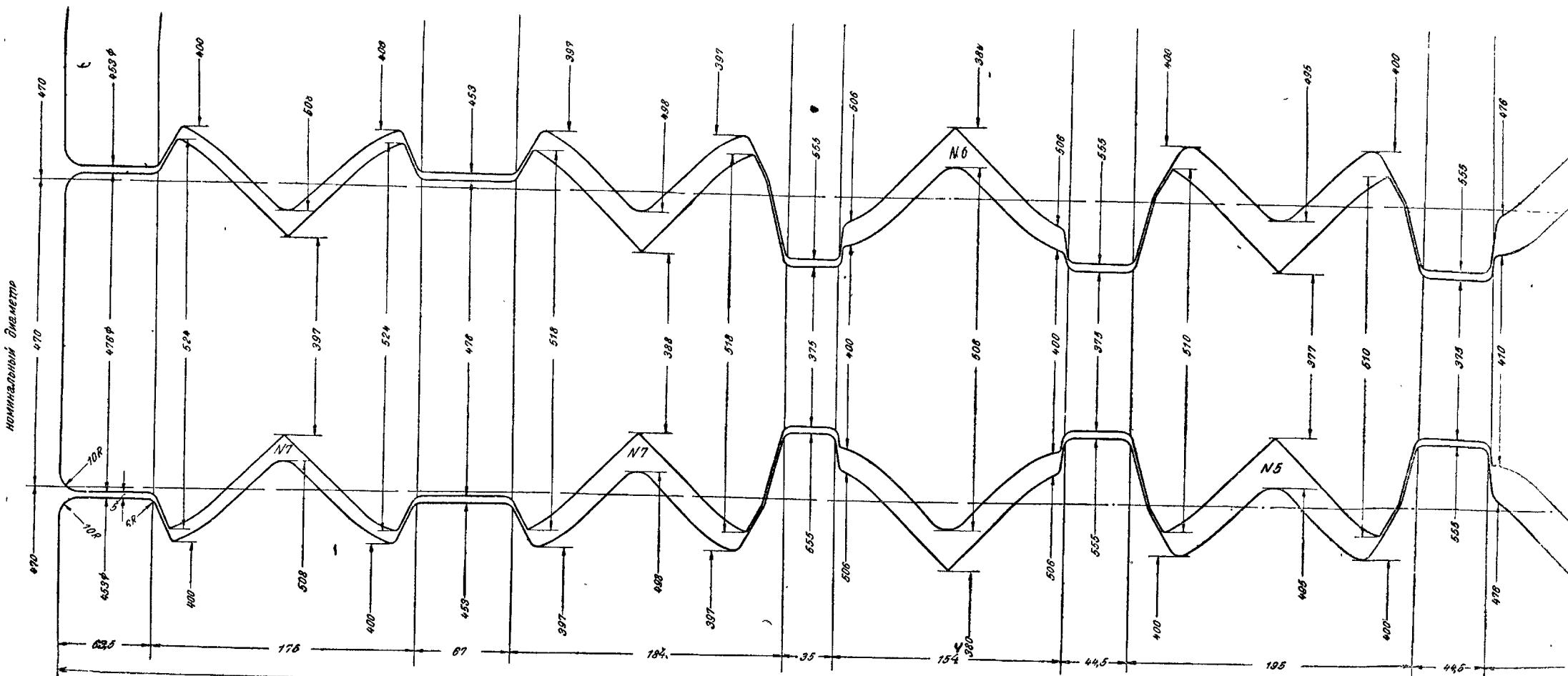


Рис. 221. Калибровка углового железа (третий пример).

толщин полок при одной и той же их ширине. Необходимо иметь возможность прокатывать все эти размеры с минимальным парком валков.

Обычно уголки прокатываются с тремя толщинами стенки в каждом номере в одном и том же отделочном калибре. При этом калибр проектируется на промежуточный размер, а изменяя настройку вал-



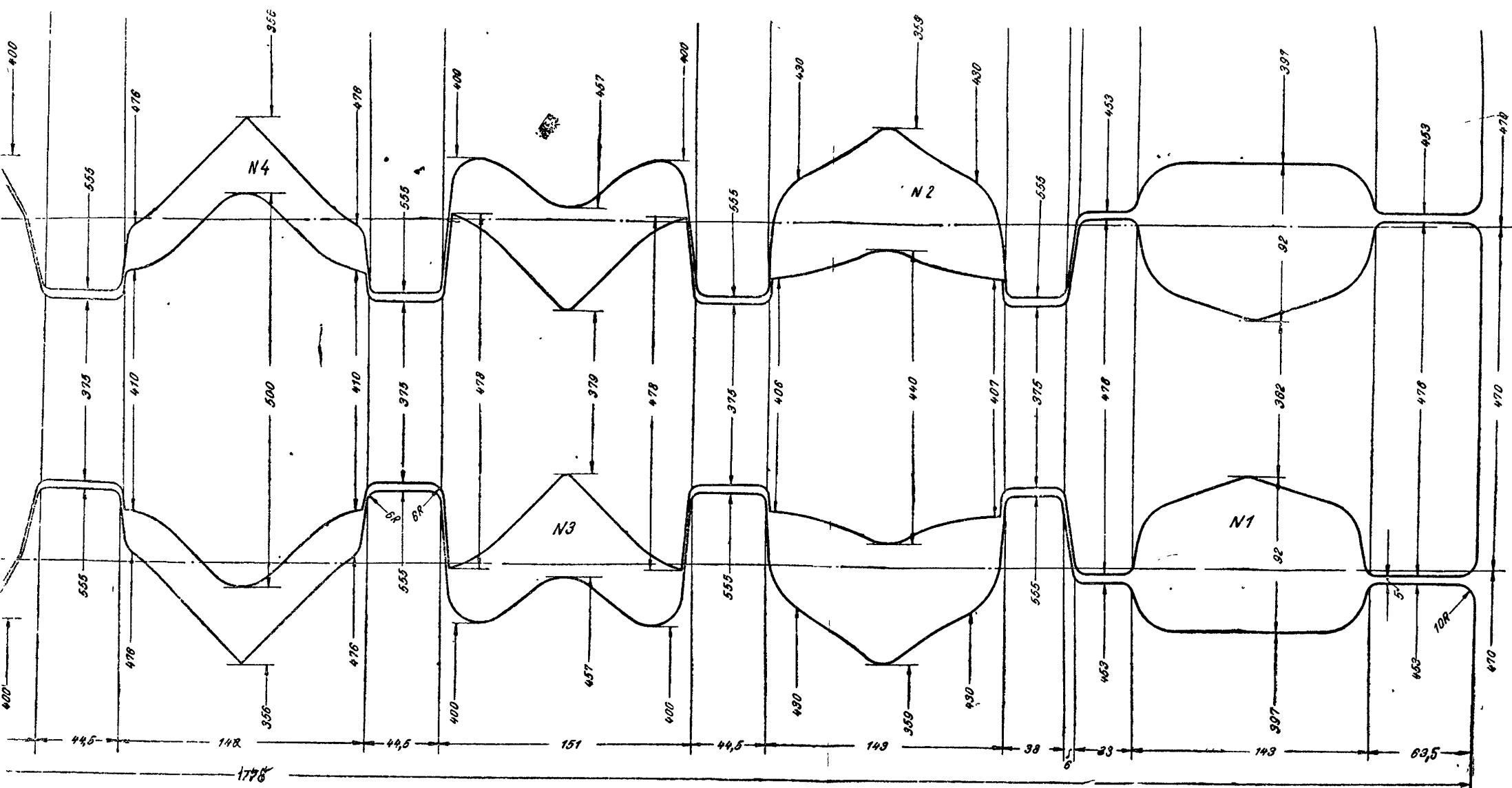
валки: 457 × 1728мм шейки: 254 × 254мм

радиус закручивания у шеек = 19мм

прев = 241 × 178мм

Калибровка валков, ч. II. 1256

Рис. 220. Калибровка углового железа (второй при-



о железа (второй пример).

ков, получают профиль как более легкого, так и более тяжелого веса. Вследствие необходимости соблюдать допуска по размерам, при переходе на профиль другого веса следует перестроить и предотделочный калибр. При этом концы отделочного калибра не ограничены (не имеют упоров) и сечение предотделочного калибра должно быть подобрано так, чтобы точно получить требующуюся длину полок готового профиля.

Самым простым и грубым методом является сближение и раздвижение валков. Однако

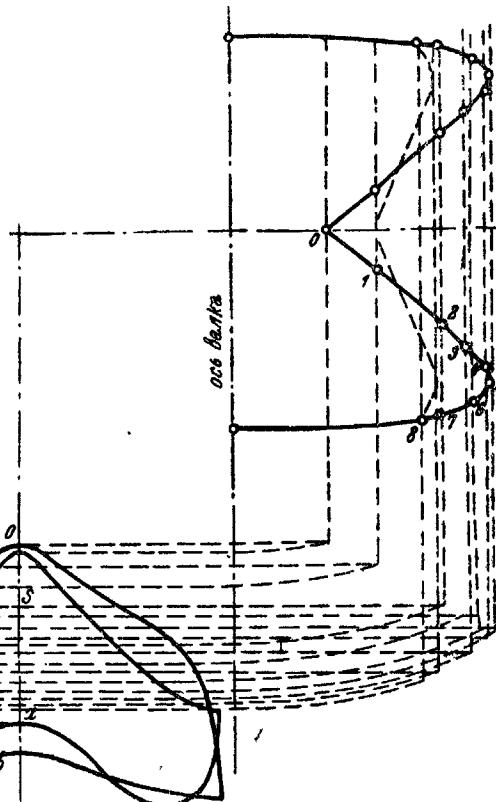


Рис. 222. Проекции поверхностей соприкосновения металла с верхним и нижним валками.

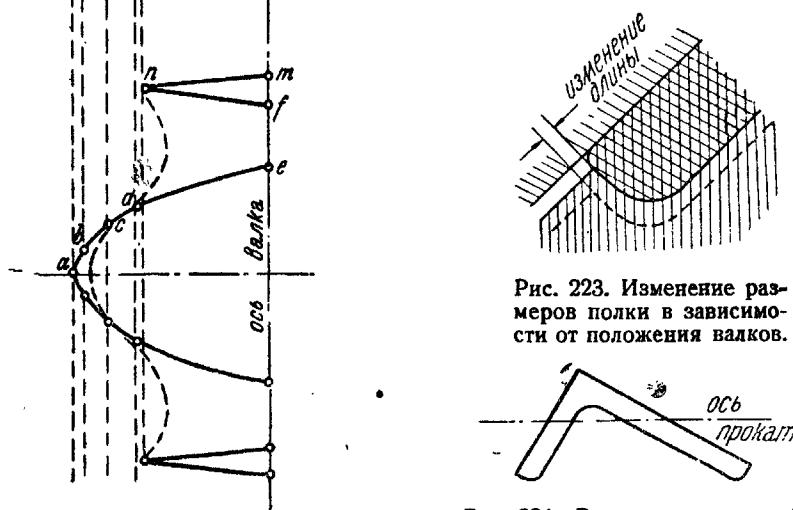


Рис. 223. Изменение размеров полки в зависимости от положения валков.

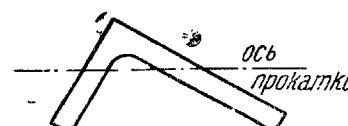


Рис. 224. Расположение калибров для прокатки неравнобоких уголников.

при этом неизбежно меняется ширина полки (рис. 223) и поэтому следует, объединяя черновые калибры для уголков различной толщины, иметь специальные отделочные и предотделочные калибры для каждого профиля.

Неравнобокое угловое железо

Неравнобокие уголки прокатываются таким же образом, как и равнобокие. Однако необходимо остановиться на следующих обстоятельствах.

При таком расположении калибра, когда полки профиля образуют угол в 45° с горизонталью, в стане возникают осевые усилия, а валки получают излишние глубокие врезы. Осевое усилие сильно затрудняет получение обоих полок одинаковой толщины и профиль скручивается штопором, невзирая на хорошо установленные выводные проводки.

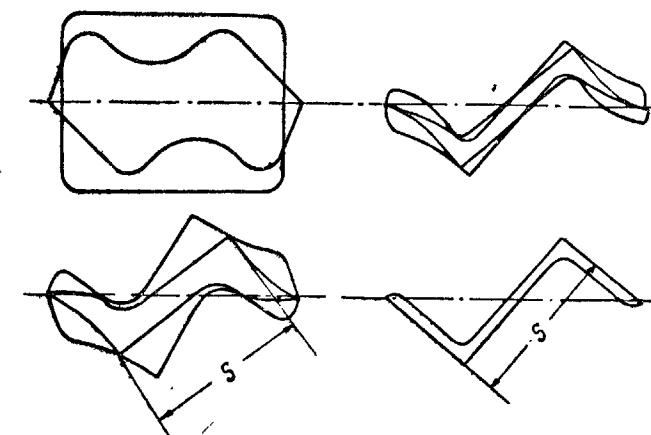
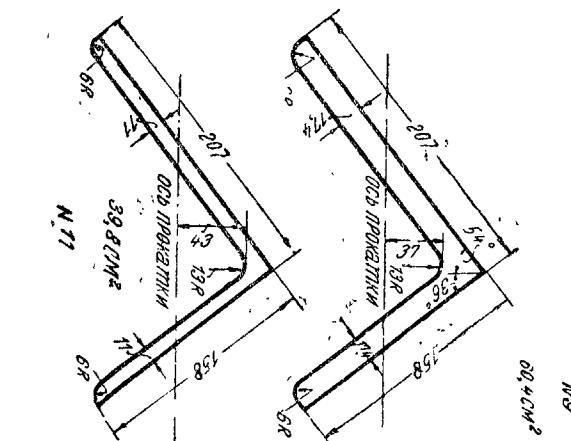
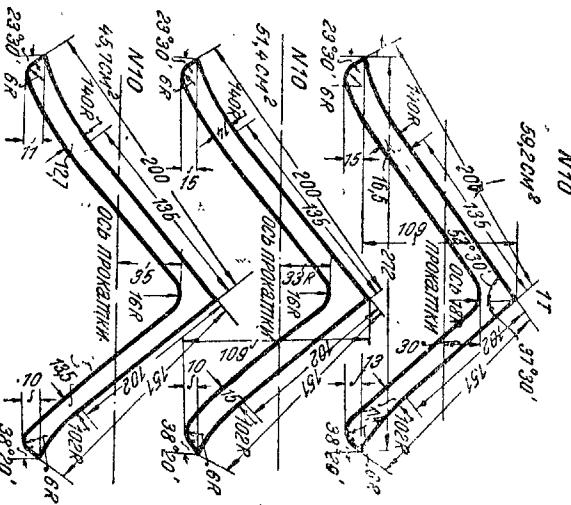


Рис. 225а. Калибры для прокатки зетового железа.

Поэтому калибры размещаются так, что концы полок расположены на одной горизонтали (рис. 224), т. е. обе точки разъема ручья находятся на равных расстояниях от оси валка. Это хотя и устраняет осевое усилие, но не избавляет от игры валков. Предполагая, что обеим полкам дается давление, мы видим что широкая полка вызывает большее давление, раздвигающее валки, чем узкая. Это сказывается только в последних пропусках, где полоса достаточно холодная, и поэтому здесь надо уменьшить давление широкой полки, по сравнению с узкой. Отсюда необходимость давать широкой полке большие давления в начале прокатки. Это учтено в калибровке рис. 225.

При прокатке неравнобоких уголков, можно уменьшить число отделочных калибров, путем прокатки профилей одной толщины, но с разной длиной полок в одном калибре, например 75×60 и 75×50 .

Подобным образом прокатываются и уголки, не имеющие закругления в месте соединения полок; радиус закругления уменьша-



примечание:
Г - верхний балок
М - средний балок
В - нижний

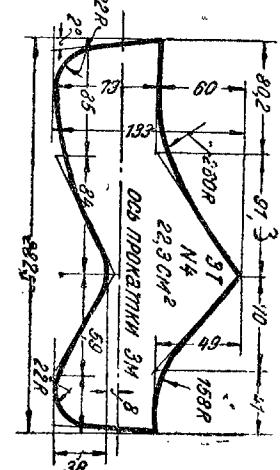
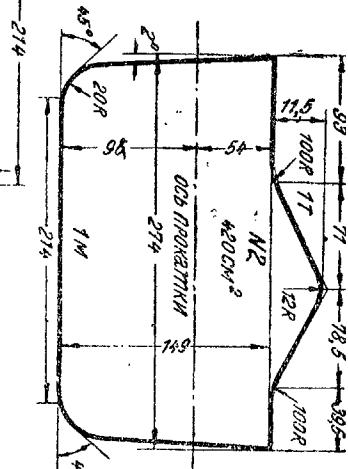
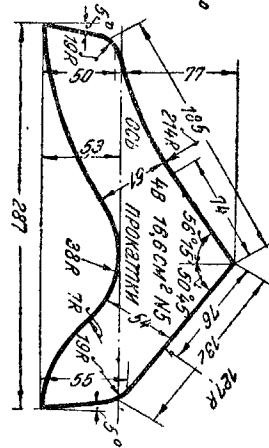
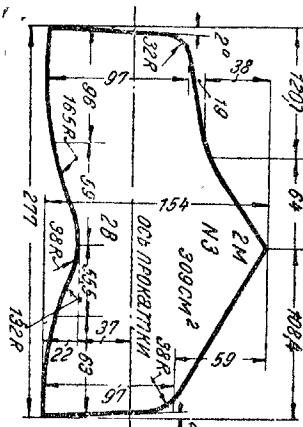
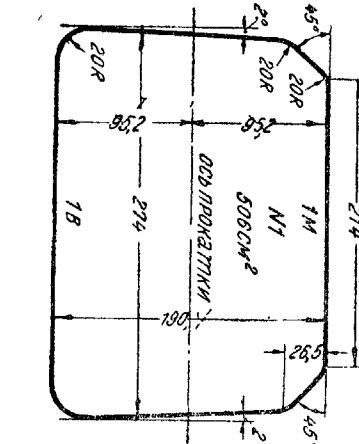
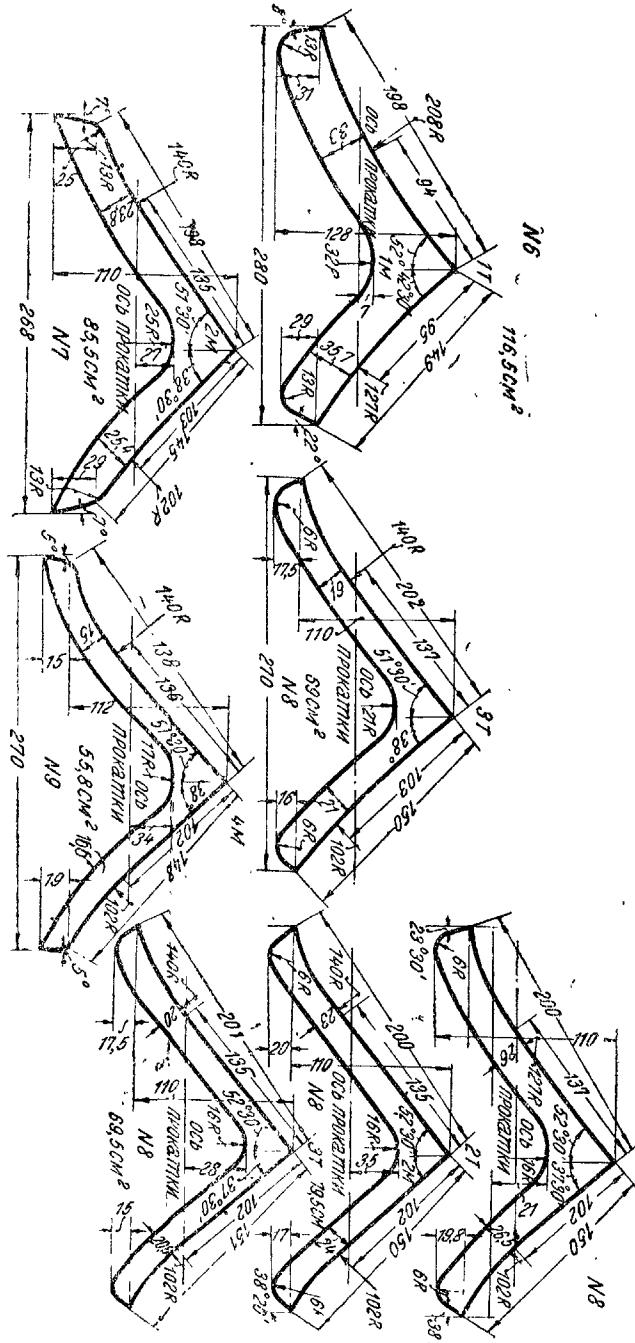


Рис. 225. Калибровка неравнобокого углового профиля.

ется от пропуска к пропуску, пока в отделочном калибре не исчезает совершенно.

Зетовое железо. Раньше это сечение было весьма популярно, теперь же прокатывается редко.

Оно состоит из двух уголков, соединенных вместе с фланцами, направленными в разные стороны. Метод прокатки зетового железа сходен с комбинированным методом обжатия и изгиба, применяемым при прокатке уголков, как это показано на рис. 215. Комплект калибров показан на рис. 225а. Следует заметить, что конечный размер S получается уже в начале прокатки и в дальнейшем изменяется мало.

Швеллеры

Коробчатое железо, или швеллер состоит из двух угольников, соединенных своими концами. Поэтому можно ожидать общих приемов в калибровке уголка и швеллера. Действительно, швеллер

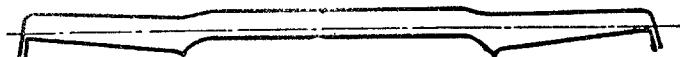


Рис. 226. Калибр для прокатки швеллера методом сгибания.

можно прокатать, как бы располагая рядом два калибра для уголника (рис. 226), но этот метод применяется редко, так как такие калибры требуют слишком много места на бочке валков.

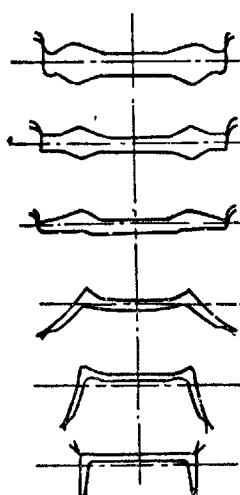


Рис. 227. Схема калибровки швеллера по методу сгибания.

Рис. 227 изображает метод сгибания, аналогичный соответствующему методу калибровки углового железа. При этой калибровке не имеют места разные окружные скорости валков в близких точках профиля и поэтому износ валков невелик, но зато развернутые профили занимают много места.

Главная работа обжатия производится, пока профиль развернут, и сгибание производится в последних калибрах, где обжатие невелико. Утолщения профиля в месте будущего изгиба имеют двойкую цель. Во-первых они являются скоплением металла для питания наружных углов при изгибе; однако объем утол-

щений значительно больше, чем необходимо было бы только для выполнения углов. Второй целью утолщения углов является защищта фланцев от разрывов и трещин. Из первой части известно, что широкие полосы, трубная заготовка (штрипсы) и листы не уширяются. Для обеспечения легкого входа и выхода полосы из валков желательно иметь каждый последующий калибр несколько шире

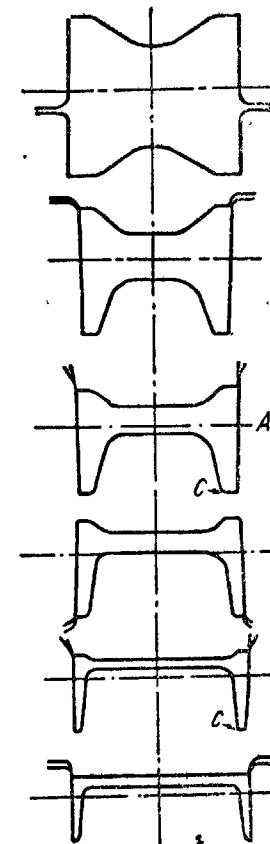


Рис. 228. Схема калибровки швеллера по балочному методу.

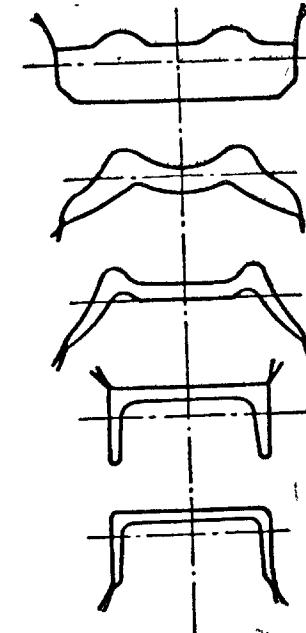


Рис. 229. Второй вариант калибровки швеллера по методу сгибания.

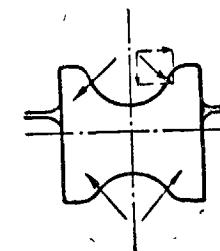


Рис. 230. Действие сил при прокатке швеллера.

предыдущих, а для достижения полного выполнения профиля и некоторого бокового давления необходимо иметь большее давление по краям профиля, чем по середине. Это и достигается утолщением углов швеллера.

Способ прокатки швеллера по рис. 228 называется балочным. Действительно, начальные калибры очень похожи на калибры для двутавровой балки, но затем фланцы с одной стороны профиля сво-

ятся на-нет. Этот способ требует меньшей длины валков, но разность скоростей различных точек валка и полосы значительно больше, чем по способу рис. 227. Большой уклон внутренних граней начального профиля очень полезен, так как появляющиеся при этом горизонтальные силы (рис. 230) заставляют металл, образующий впоследствии стенку швеллера, двигаться не только в сторону удлинения, но и выполнять края профиля, образующие фланцы при дальнейшей прокатке. Поэтому в начальных пропусках не может быть разрыва фланцев. В последующих же пропусках разрыв фланцев предотвращается вдавливанием в них металла противолежащих фланцев (фальшивых или ложных фланцев).

При слишком большом давлении на ложные фланцы, на них образуются заусенцы. Таким образом очевидно, что при хорошей ка-

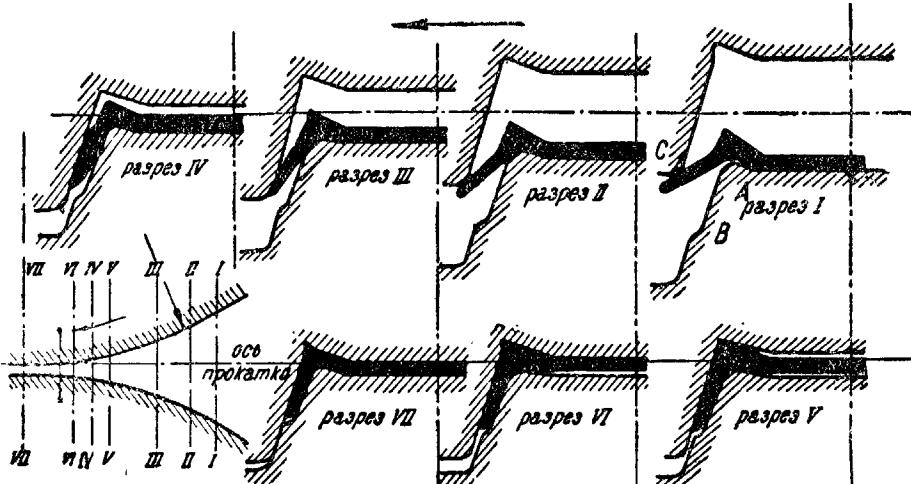


Рис. 231. Исследование калибровки швеллера по методу сгиба.

тибровке и установке валков можно получить хорошее выполнение фланцев. Хорошая обработка фланцев видна на пропусках А и В (фиг. 228). Концы фланцев С ограничены стенками калибра, принадлежащими одному валку, и в них с силой вдавливается металл из ложных фланцев, расположенных над нормальными фланцами.

Калибровка рис. 229 подобна калибровке рис. 227, но изгиб фланцев производится раньше. Благодаря этому экономится длина валков, но зато больше износ валков вследствие большей разницы окружных скоростей в отдельных местах калибров. На этой калибровке также видны ложные фланцы в местах изгиба профиля. По методу рис. 229 прокатываются швеллеры с высокими фланцами (корабельные).

Теперь произведем исследование по методу сечений одного, самого характерного, пропуска всех трех калибровок швеллера.

На рис. 231 изображен пропуск из калибровки по методу изгиба, в котором имеет место наибольшее сгибание полосы. При входе в валки, полоса начинает касаться их, как показано в сечении I. Ниже будет показано, что контакт полосы с валком имеет место только в

момент входа переднего конца полосы в валки, и впоследствии в сечении I полоса с валками не соприкасается.

Угол С верхнего валка постепенно изгибает полосу вокруг загруженного выступа АВ нижнего валка. На коротком расстоянии между сечениями I и III профиль изгибается так сильно, что расположенные сзади части полосы (находящиеся в сечении II и I в то время, когда рассматриваемый разрез находится в сечении III), увлекаемые впереди расположенными частицами, начинают изгибаться раньше, чем коснутся кромок калибра. Это обратное действие изгиба в сечении III заставляет полосу не касаться валка в сечениях II и I — она изгибается раньше, чем коснется калибра. Кроме того нижний валок подымает полосу в сечении III кверху, и в сечениях II и I входящий профиль приподнят против нормального положения. Таким образом соприкосновение полосы с валками в сечениях II и I не имеет места, и эти сечения изображены на рисунке условно.

Изгиб профиля в рассмотренном только что пропуске весьма значителен, и если бы изгиб был сосредоточен в одном месте, то в углах неизбежно появилась бы трещины. Поэтому в месте АВ калибра, принадлежащем нижнему валку, имеется легкая выпуклость. Если бы ее не было, деформация была бы сосредоточена в одних углах и полоса соприкасалась бы с нижним валком, как показано на сечениях I и II; в данной же конструкции калибра место наиболее интенсивного изгиба перемещается от основания фланца к его концу. До самого сечения V имеется место изгиб фланцев и вследствие передачи изгибающего момента некоторый изгиб стенки швеллера. В сечении VI начинается сжатие в углах. В сечении, отмеченном Х—Х, начинается сжатие стенки, заканчивающееся конечно в сечении VII. Сжатие фланцев начинается несколько впереди сечения VI. Вследствие уклона фланцев последние должны начать обжиматься раньше, чем стенка, если нужно получить одно и то же обжатие в стенке и во фланцах.

Уменьшение сечения в стенке равно примерно 15%, во фланцах — примерно 11%. Поэтому фланцы укоротились бы и не могли выполниться, если бы не избыточный металл, сосредоточенный в углах и вдавливаемый во фланцы. Концы фланцев швеллера в данном калибре совершенно не обжимаются. Необходимая обработка их была произведена в предшествующем калибре.

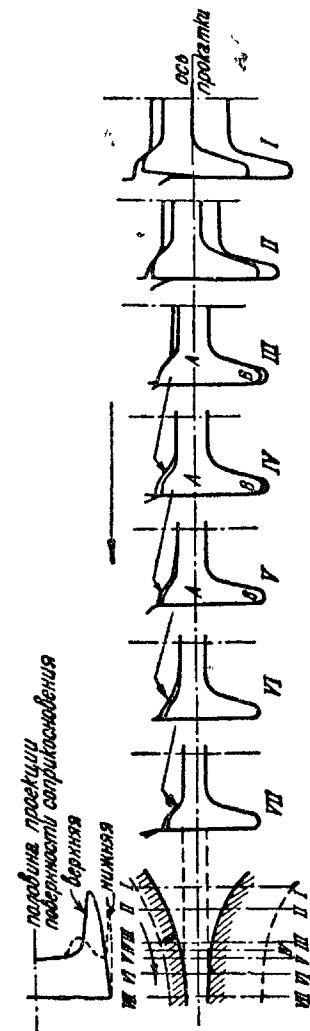


Рис. 232. Исследование калибровки швеллера по балочному методу.

Рис. 232 является исследованием одного из калибров калибровки швеллера по балочному методу. Если профиль прокатывается на стане трио, то ложный (подлежащий уничтожению) фланец располагается поочередно то в открытой то в закрытой части калибра. Для свободного выхода полосы из валков, стенки калибра должны быть слегка наклонными, и поэтому угол между фланцами и стенкой получается то тупым, то острым. В сечениях I и II (рис. 232) стенка профиля касается сперва наружных сторон калибра, изгибается или садится на место. Начиная с сечения III и до сечения VII фланцы обжимаются, в то время как стенка получает давление только между V и VII сечениями. Вследствие разной продолжительности сжатия происходит характерное движение частиц металла. Между сечениями III и V, когда сжимаются одни фланцы, деформация не может идти целиком в сторону удлинения, так как стенка еще не обжимается и может удлиниться лишь за счет растяжения ее фланцами. Поэтому деформация фланцев идет главным образом в сторону уширения. Металл, находящийся в точке A, может уйти в стенку и способствовать ее удлинению, находящийся же в точке B, в стенку уйти не может и будет уширять фланец, для чего необходимо предоставить место. Тут уместно отметить, что калибр несколько шире внизу, что дает место для уширения.

Только что сказанное действительно до тех пор, пока профиль не дойдет до сечения V, где начинается обжатие стенки, относительно гораздо большее чем фланцев, и стенка, удлиняясь, увлекает фланцы за собой, вследствие чего металл, находившийся в точке A и ушедший в стенку, теперь возвращается во фланец (см. также рис. 106 в первой части). Это поперечное движение металла в разных направлениях вызывает сильный износ металла валков в участках где происходит описанное перемещение деформируемого металла.

Попробуем теперь определить уширение между сечениями V и VII. Удлинение одной стенки (если бы не допустить уширения) было бы 32%, фланцев — 8%. Но отношение площадей стенки и фланцев равно $4,5 : 7$. Поэтому общее удлинение равно $100 \times (0,32 \times 4,5 + 0,08 \times 7) : 11,5 = 17,4\%$. Но если стенка должна деформироваться на 32%, а удлинение может пойти только 17,4%, то остальные 14,6% должны пойти на питание фланцев. Смещенная площадь стенки равна $12,9 \text{ см}^2$ и из них $(14,6 \times 12,9) : (2 \times 32) = 2,94 \text{ см}^2$, переходят в каждый фланец и пополняют нехватку металла. Из них около $2,13 \text{ см}^2$ в каждом фланце идут на уширение.

Форма проекции площади соприкосновения стенки с валком близка к прямоугольнику с отношением сторон $1 : 2$ и, согласно данным первой части, около $\frac{1}{3}$, смещенной площади пошли бы на удлинение, и $\frac{1}{8}$ на уширение, если бы не было влияния фланцев. Разность между естественным уширением стенки ($12,9 \times \frac{1}{3} = 4,3 \text{ см}^2$) и действительным ($2,94 \text{ см}^2$) не настолько велика, чтобы вызвать чрезмерные напряжения, но все же полки в сечении VII выполняются не полностью.

Эти соображения не относятся к рис. 233, являющемуся исследованием одного из пропусков калибровки швеллера по комбинированному методу. Как и калибр рис. 232, калибр рис. 233 является

одним из ранних промежуточных калибров и обработка краев профиля в нем не необходима.

Между сечениями I и II наблюдается только изгиб полосы, и одновременно с ним местная деформация концов фланца; последняя сходна с рассмотренной в своем месте обработкой краев сутунки. То же самое происходит и между сечениями II и III — удлинения здесь не происходит. С сечения же IV начинается обжатие и удлинение. Однако угол профиля между фланцем и стенкой не обжимается, пока не попадает между сечениями V и VI. Почему калибровщик не дал обжатия в этом угле, автору в точности не известно. Возможно что это объясняется следующими соображениями.

Обжатие фланцев в рассматриваемом калибре (38%) несколько больше, чем обжатие стенки (35%). Фланцы стремятся уширяться, но для этого нет места и они получают боковое обжатие. В последующих же пропусках такое соотношение обжатий сохранить нельзя, во-первых потому, что фланцы получились бы слишком тонкими, а во-вторых при отогнутом положении фланцев они не могут быть сильно обжаты. Таким образом излишний металл, сохраненный в углах в рассматриваемом пропуске, оказывается весьма полезным в последующих.

Калибр рис. 233 хорошо выполняется. Несмотря на сильное боковое обжатие, заусенцев не образуется, глаенам образом вследствие большого уклона и закругления угла (см. сечение I, рис. 233). Большим преимуществом конструкции калибра по рис. 233 является то, что поверхности, производящие боковую обработку, имеют значительный наклон и поэтому могут быть переточены после износа, что труднее сделать с калибрами рис. 231 и 227.

Хотя метод прокатки по рис. 229 обладает многими достоинствами, балочная калибровка швеллеров по рис. 228 применяется ныне повсеместно для прокатки швеллеров, ибо она требует наименьшего числа валков, а первые обжимные калибры одинаковы как для швеллеров, так и для двутавровых балок. При прокатке больших профилей, прокатка начинается и для балок и для швеллеров из одной и той же профилированной заготовки. Первый обжимной пропуск (прорезание прямоугольной заготовки) будет рассмотрен в главе о двутавровом профиле.

Хорошая балочная калибровка сложными фланцами изображена на рис. 234. Чертеж настолько детален, что почти не требует пояснений. Очень ясно действие открытых и закрытых калибров. Боль-

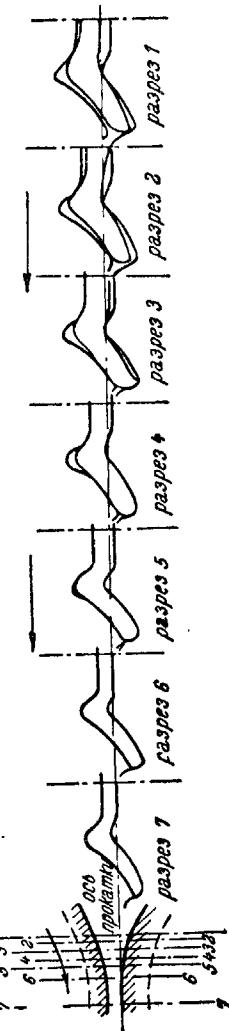
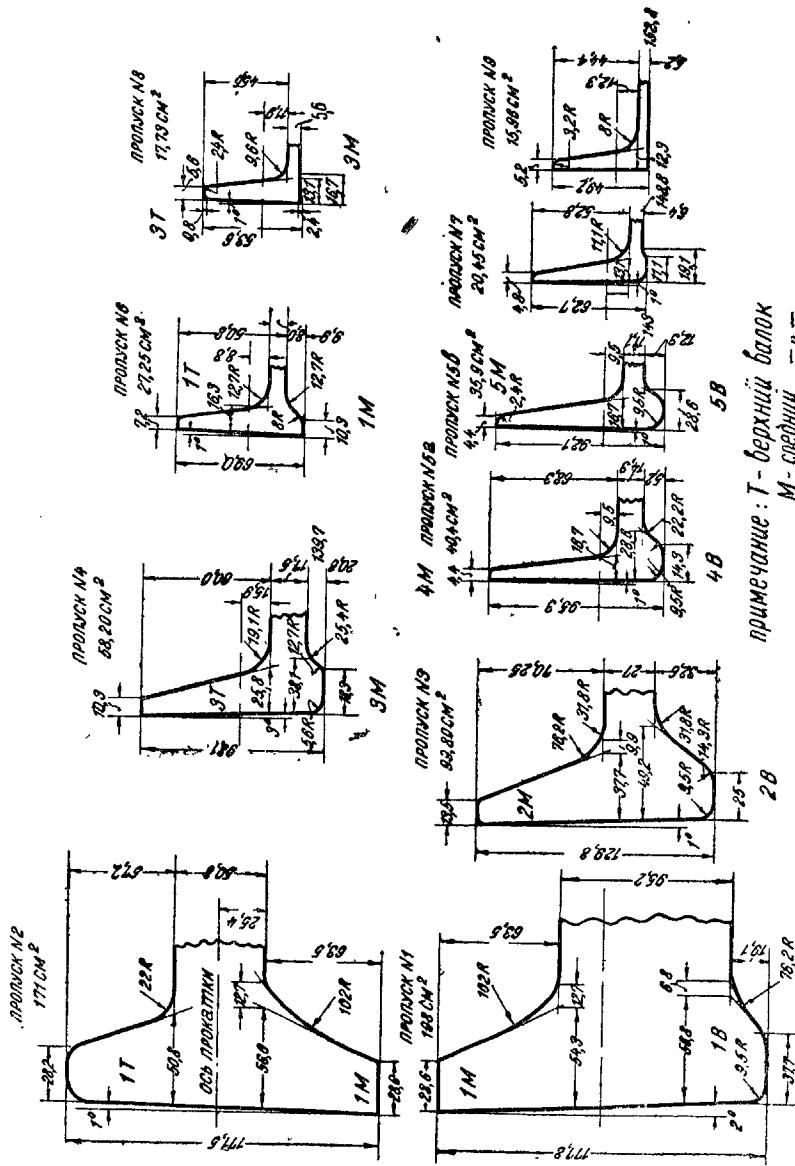


Рис. 233. Исследование калибровки швеллера по комбинированному методу.

шие радиусы углов преследуют предупреждение образования заусенцев. Уменьшения сечения фланцев в двух последних пропусках почти одинаковы, как видно из табл. 23. Обычно стремятся вначале



Так же катаются швеллера, фланцы которых не имеют уклона и отсутствуют закругления между стенкой и фланцем.

Уклон внутренних граней фланцев швеллеров, балок и рельс опре-

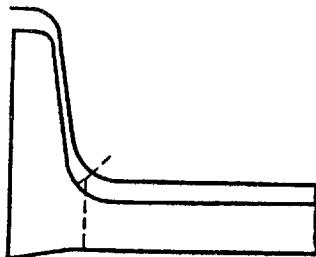


Рис. 234а. Первый способ
разграничения стенки и
фланцев.

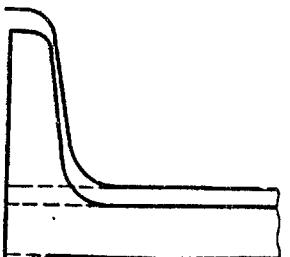


Рис. 235. Второй способ
разграничения стенки и
фланцев.

делялся совместными обсуждениями прокатчиков и строителей-потребителей проката. Последние желали бы иметь профиля с почти параллельными фланцами, прокатчикам же удобнее производить профили с клиновидными фланцами, которые прокатываются гораз-

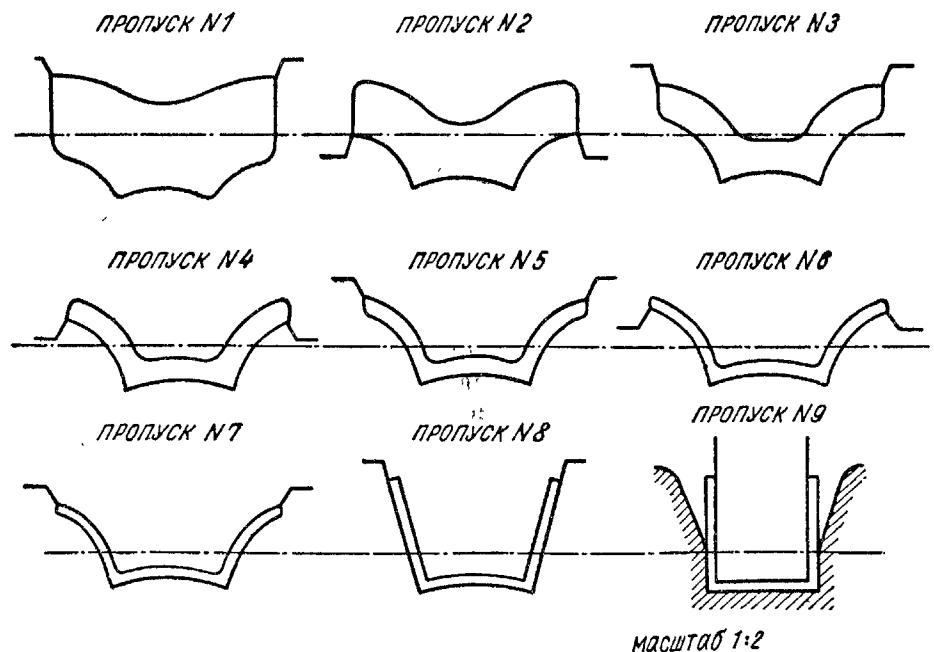


Рис. 236. Калибровка швеллера без закруглений у оснований фланцев.

до легче. Принятые в США, Германии и Англии уклоны фланцев различны. Так в США уклон фланцев нормальных швеллеров равен 9° , в Германии — $4\frac{1}{2}^\circ$. Бельгийские швеллеры имеют уклон от 0 до $7\frac{1}{2}^\circ$ (в СССР — 8°).

При гладких валках, без шероховатостей, уклон фланцев мог бы быть меньше принятого, но в настоящее время следует придерживаться установленного стандарта, и лишь для новых или специально заказанных профилей может вновь возникать вопрос о допустимом угле фланцев, и даже о применении параллельных фланцев без закругления у их основания. Калибровка таких швеллеров изображена на рис. 236 и заимствована из курса калибровки бельгийца Пирона.

В американском стандарте швеллеров имеются разные толщины стенок и фланцев для каждого номера профиля. Прокатка их осуществляется или раздвиганием валков, или применением особых для каждого профиля отделочных и предотделочных калибров, при общих черновых. Как правило ограничиваются одним раздвиганием валков, причем изменение обжатия стенки и фланцев не пропорционально друг другу (этот прием применим лишь при умеренных колебаниях толщины профиля).

Часто бывает возможно придать слабый уклон наружным граням фланцев отделочного профиля, так как при охлаждении фланцы стягиваются, вероятно потому, что закругления в углах, при большой массе металла в них, имеют меньшую излучающую поверхность, чем остальные части профиля. Кроме того, закругленные внутренние углы выходят из прокатки более горячими. В силу этих причин углы сжимаются сильнее при охлаждении и тянут за собой фланцы.

Двутавровые балки

Двутавровые балки в инженерных сооружениях являются самыми экономическими, с точки зрения распределения в них металла, профилями и поэтому наиболее важными. С другой стороны они представляются самыми трудными для прокатки.

Долгий и тяжелый опыт в конце концов научил нас, какие профили балок можно успешно прокатывать, и какие нельзя.

Характерным отличием двутавровой балки от других профилей являются фланцы, расположенные по обе стороны широкой и тонкой стенки. Этому профилю нельзя давать ребровых обжатий, и он также не может быть получен сгибанием плоского сечения, как уголок или швеллер.

Метод прокатки балки данного размера зависит главным образом от ширины фланцев.

Способы прокатки двутавровых балок. При нижеследующем объяснении различных методов калибровки балок, мы будем подробно рассматривать наиболее характерные калибры, опуская остальные.

1. Прямая или балочная калибровка по рис. 237. Она состоит из прорезания заготовки сверху и снизу и постепенного расширения вреза. Стенка все время остается горизонтальной.

2. Косая калибровка по рис. 238. Стенка балки наклонена по-переменно то вправо, то влево.

3. Метод Слика (рис. 239), где стенка изгибаются то вверх, то вниз.

4. «Диагональный» метод (рис. 240), где поставленный на ребро квадрат превращается сначала в звезду, изгибающуюся затем в двутавр.

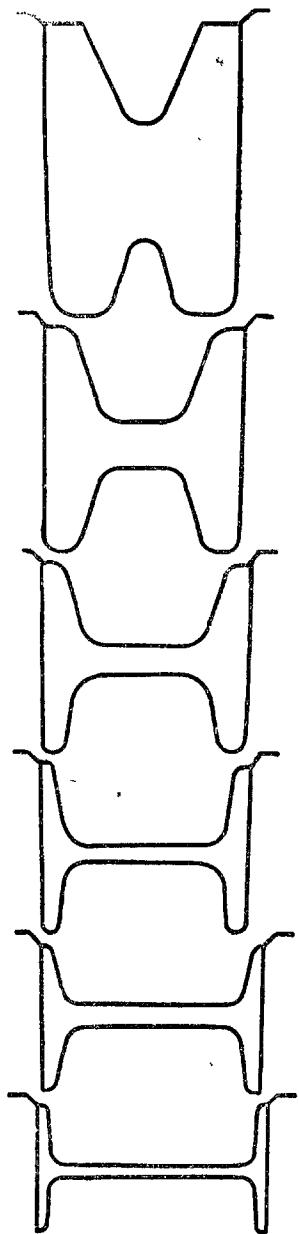


Рис. 237. Схема прямой калибровки балки.

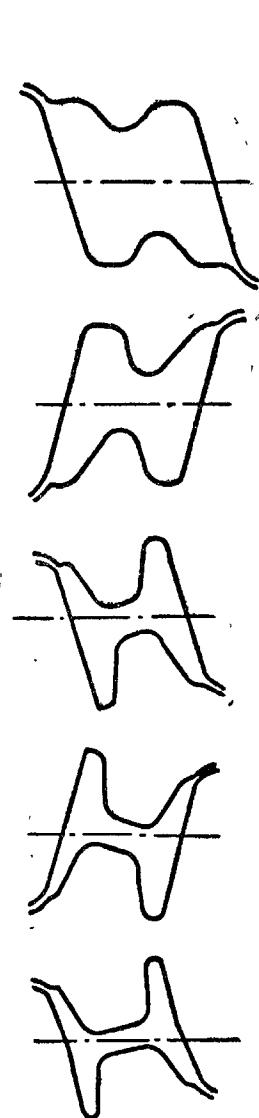


Рис. 238. Схема косой калибровки балки.

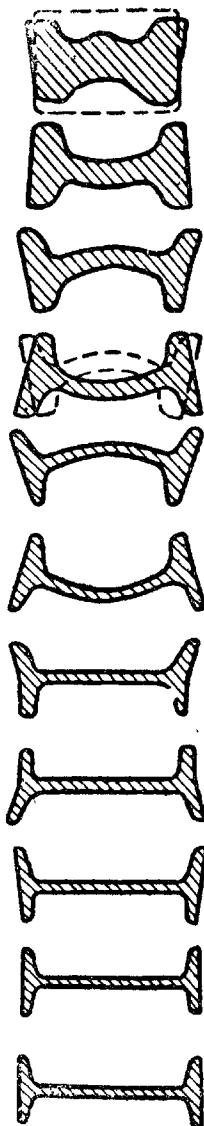


Рис. 239. Схема калибровки балки по методу Слика.

Эти четыре метода калибровки балок применяются при прокатке их на станах дуо и трио.

5. Калибровка при прокатке на универсальном балочном стане по способу Грея (рис. 241).

Только что указывалось, что при выборе способа прокатки имеет решающее значение ширина фланцев. Стандартные двутавровые балки США имеют уклон внутренних граней фланцев 16,8%, в Германии и СССР — 14%.

При толщине фланца в его конце 8 мм и высоте его 102 мм, толщина основания равна $8 + 17 = 25$ мм; при высоте 250 мм — $8 + 0,168 \times 250 = 50$ мм. Эта толщина так велика по сравнению с толщиной конца фланца, и с толщиной стенки, что балка получается уродливой, а при охлаждении после прокатки сильно коробится и не может быть выпущена с завода.

Таким образом при широких фланцах надо уменьшить угол их наклона, что исключает калибровку по методам 1 и 4. Методы 2 и 3 могут применяться при уклоне фланцев до 5%, а с большими трудностями даже при параллельных фланцах. Поэтому балки с широкими фланцами прокатываются в США почти исключительно по 5-му способу Грея, вследствие его дешевизны и легкости изменения толщины фланцев, при одинаковой же толщине стенки и возможности прокатывать балки с любой толщиной фланцев и стенки, в то время как методы 2 и 3 требуют особого комплекта валков для каждой толщины фланца.

Стандартные американские балки имеют ширину фланцев до 200 мм. Они обычно прокатываются по способу 1; впрочем заводы, имеющие универсальный стан Грея, часто катают на нем нормальные балки и доказывают выгодность этого вследствие экономии на валках.

При прокатке балок на универсальном стане Грея, максимальная ширина фланцев ограничивается только размером стана и возможностью отливать слитки требуемого размера.

I. Калибровка по прямому методу. При прокатке небольших балок (до № 20), берется прямоугольная заготовка, высота которой несколько превышает удвоенную высоту фланца балки (рис. 242), если она нормального профиля. При повышенной против стандарта ширине фланца,

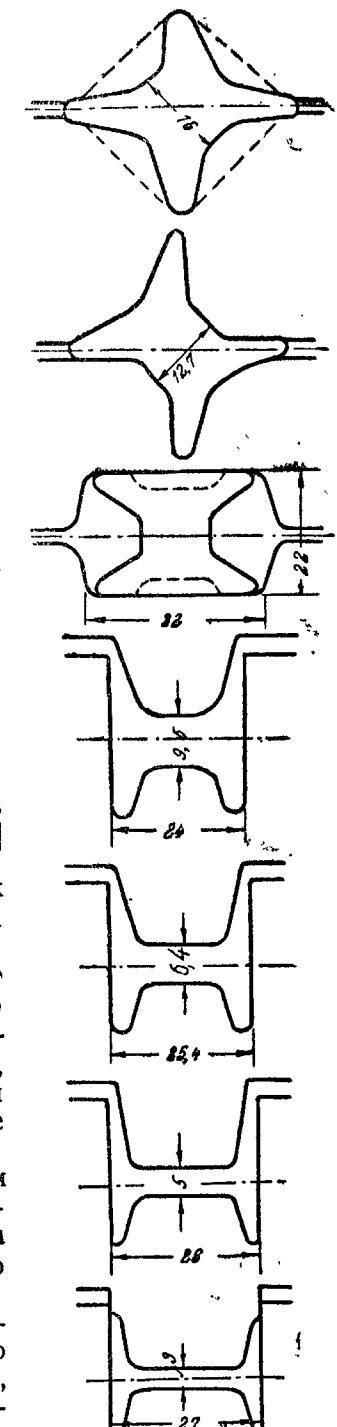


Рис. 240. Схема калибровки балки по «диагональному» методу.

заготовка должна быть толще. При больших балках, профилировка заготовки должна быть начата еще на блуминге, который в этом случае выпускает профилированную балочную заготовку грубого двутаврового сечения.

Во избежание чрезмерного уменьшения высоты фланцев разрезной калибр должен обжимать лишь небольшую часть ширины

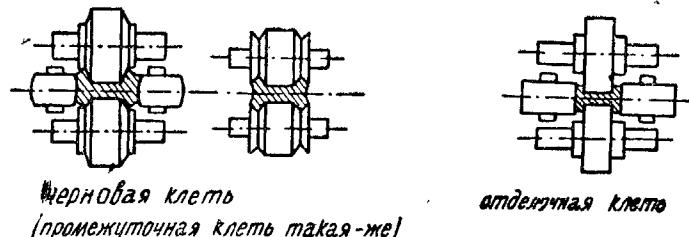


Рис. 241. Схема прокатки балок по способу Грея.

профиля, как показано на рис. 243. Явление втягивания фланцев при обжатии средней части было подробно изложено в первой части. Разрезной калибр должен быть закрытым, так как сильно сжатая средняя часть профиля не может удлиняться, удерживаемая краями, и раздается в ширину, создавая выпучивание и даже заусенцы в открытом калибре.

После профилировки, допустимые обжатия определяются или диаметром валков стана (прочностью валков и их игрой) или же условиями хорошего захвата полосы валками. Не должно иметь

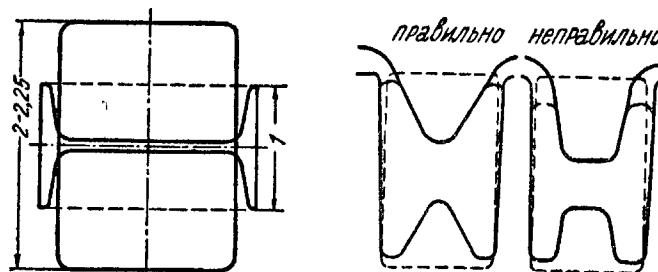


Рис. 242. Исходная заготовка для прокатки балок (до № 20).

Рис. 243. Прокатка в разрезном калибре.

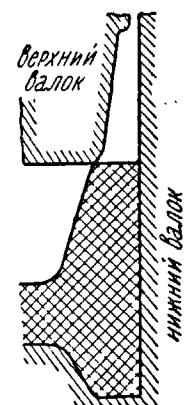


Рис. 244. Недопустимое положение при захвате.

места при захвате положение, изображенное на рис. 244.

Поскольку фланцы, лежащие в закрытой части калибра, могут быть обжаты лишь незначительно, а противоположные фланцы претерпевают сильное обжатие, распределение напряжений в профиле весьма неравномерно. Однако напряжение не накапливается в какой-либо одной части профиля, ибо каждый фланец попадает поочередно то в закрытый, то в открытый калибр.

Поэтому двутавровые балки особенно удобно прокатывать на стане трио. В Европе же они часто прокатываются на дуо и штука

олжна или переворачиваться после каждого пропуска, или переворачиваться в другую клеть, где калибры перевернуты. К концу прокатки обжатия уменьшаются, так как незначительный уклон фланцев допускает лишь все меньшее боковое обжатие. Уменьшение обжатий по этой причине удачно сочетается с тем, что к концу прокатки балка успевает значительно остыть, а сильное обжатие холодного профиля вызывает сильный износ валков. При недостаточном диаметре валков, число пропусков должно быть увеличено и, во избежание сильного охлаждения балки, необходимо ограничить ее длину.

В конце прокатки необходимо стремиться к возможному выравниванию обжатий фланцев и стенки. Обычно принято обжимать фланцы сильнее, чтобы получить готовую балку с остаточными сжимающими напряжениями во фланцах и растягивающими в стенке, особенно, если фланцы значительно толще стенки. Здесь возможный интервал довольно узок. Если обжатие стенки будет слишком велико, она будет выпучиваться, а уширение зажмет балку в валках. При чрезмерном же обжатии фланцев, они не будут хорошо выполнять, станут волнистыми и будут застревать в валках. На некоторых станах, во избежание плотного охватывания валка фланцами балки, стенка делается несколько толще у фланцев, чем посередине профиля.

Теперь, после всех этих объяснений, можно обратиться к примеру калибровки по рис. 245, где указаны все размеры и расположение калибров. В двух последних пропусках приняты обжатия, дающие следующие уменьшения сечения:

	Уменьшение сечения в %	
	Фланец	Стенка
Предотвраточный	11,1	8,3
Отделочный	5,7	5,3

Изменение толщины профиля при том же номере осуществляется раздвижением валков. Этот способ конечно мало рационален и диктуется экономическими соображениями. Он применим только в узких пределах, так как при нем толщина стенки возрастает быстрее, чем толщина фланца.

Механизм обжатия двутавровой балки ясен из исследования калибров методом сечений (рис. 246).

2. Косая калибровка. При этом методе калибровки можно применять большие обжатия и пользоваться меньшим уклоном фланцев. Зато весьма большая часть тела валков бесполезно пропадает, занятая буртами. Этот метод применим для малых и средних номеров и, как указано выше, для широкофланцевых балок, если в распоряжении завода нет универсального стана.

При прокатке по этому методу стандартных балок, последние калибры должны все же быть горизонтальными, чтобы допустить прокатку балок разной толщины путем увеличения расстояния между валками. Этот метод неприменим для прокатки больших балок вследствие слишком глубоких врезов в теле валка, диаметр которого относительно меньше при крупных профилях.

ПРИМЕЧАНИЕ
 Т - верхний балок.
 М - средний ---
 В - нижний - - -

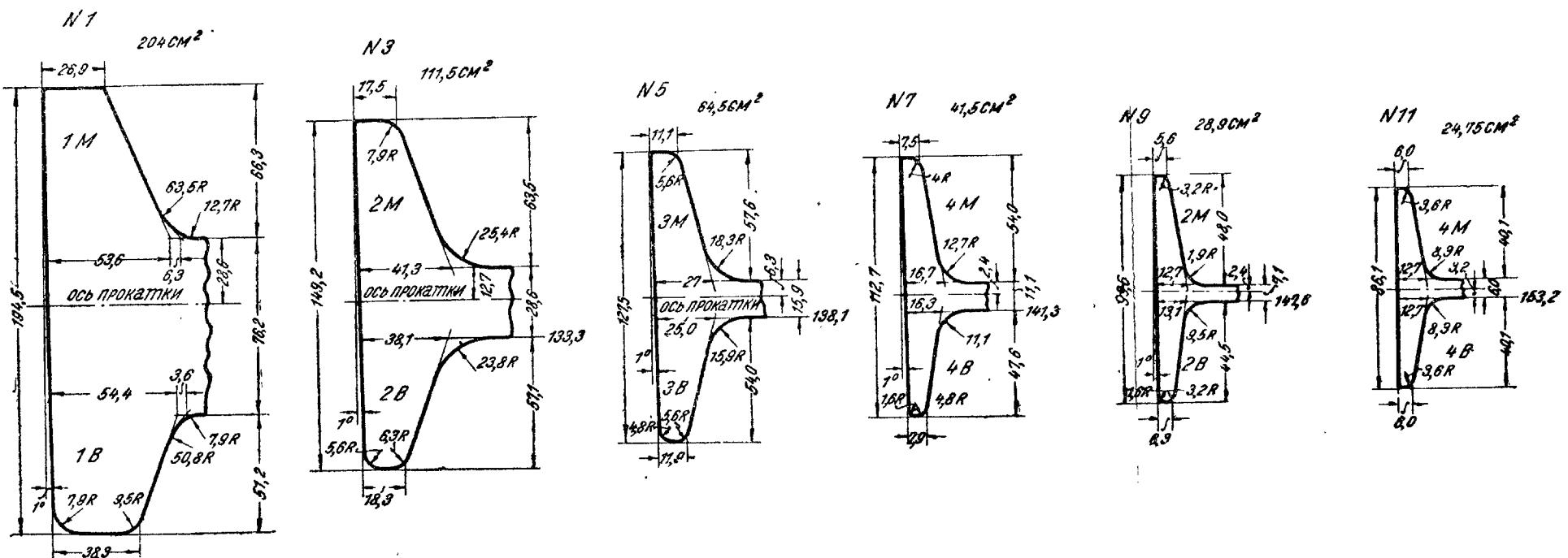
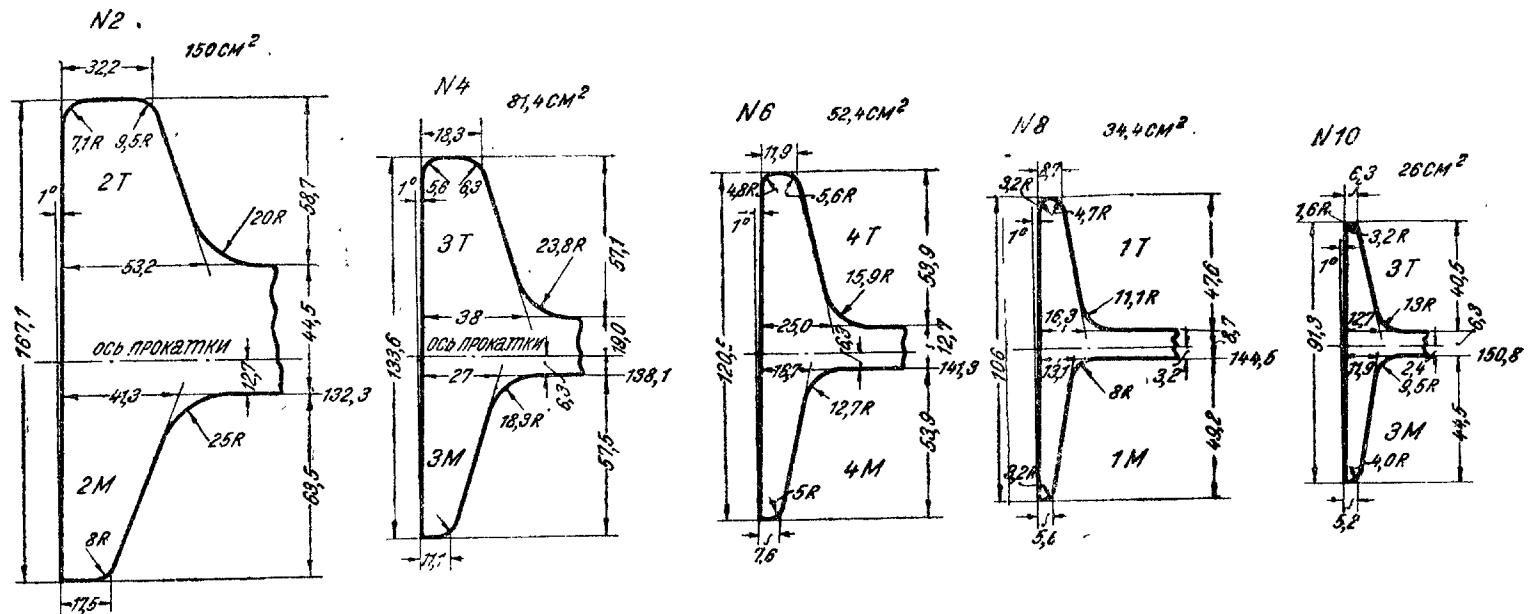


Рис. 245. Пример калибровки двутавровой балки.

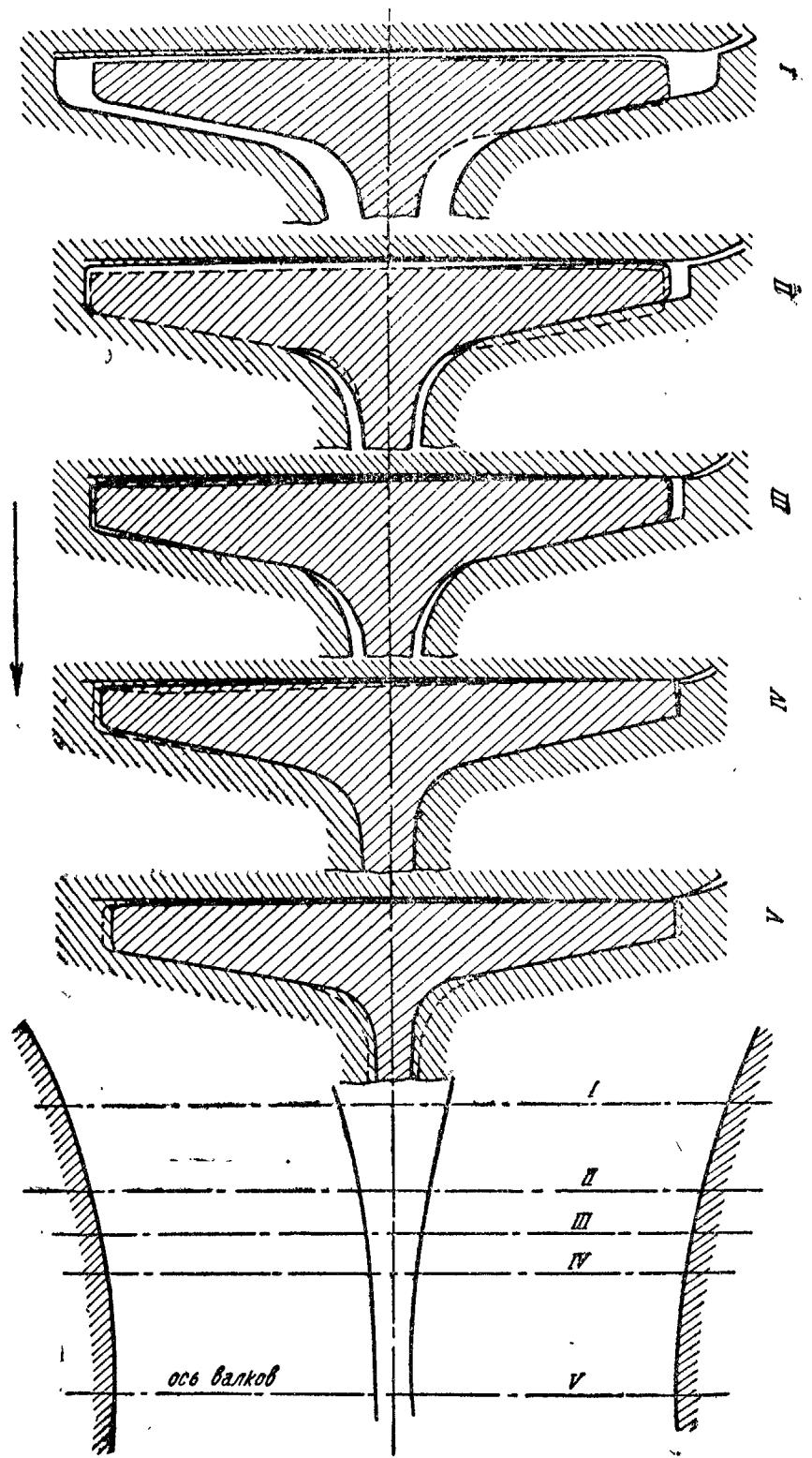


Рис. 246. Исследование прокатки двутавровой балки методом сечений.

На рис. 247 изображены косо расположенные чёрновые калибры для малой нормальной балки, а на рис. 248 — для широкофланцевой балки. Эти рисунки не нуждаются в пояснениях.

3. Метод Слика. При этом способе прокатки можно иметь такие же большие обжатия, как и при предыдущем, но без потери места на бочке валков на бурты. Однако этот метод применяется весьма редко, не только вследствие патентных ограничений, но и вследствие высокой стоимости валков, не окупаемой какими-либо особыми преимуществами калибровки.

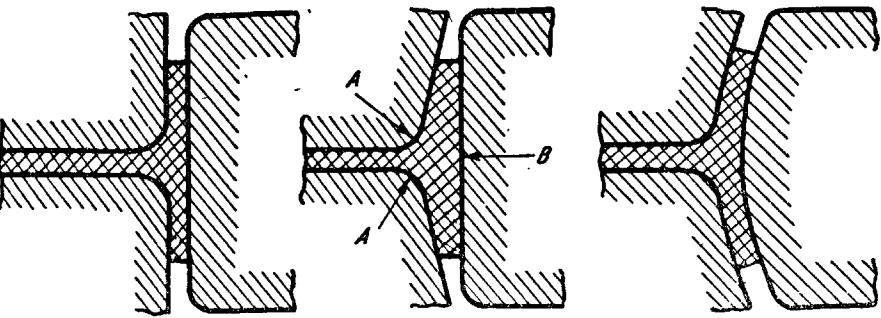


Рис. 249. Прокатка балки по способу Грея.

4. Метод «диагоналей». Этот метод представлен на рис. 240 и настолько ясен, что не требует пояснений. Он применим лишь для малых размеров.

5. Способ Грея или прокатка на универсальном стане. Прокатка по способу Грея не является интересным вопросом для калибровщика, ибо обжатия стенки и фланца можно регулировать независимо друг от друга, изменяя установку горизонтальных и вертикальных валков. Все три разновидности этого метода, изображенные на рис. 249, применяются с успехом, особенно правая, при которой валки стоят дольше и легче всего обтачиваются. В местах А и В валки сильно изнашиваются; в А — потому что металл течет вокруг углов, а в В — вследствие того, что в этой точке сосредоточено усилие от уширяющейся стенки. Профицированная заготовка с блуминга проходит несколько раз через клеть из двух валков, причем при движении вперед обжимают стенку, фланцы и края фланцев, а при движении назад — только стенку и фланцы. Балка пропускается несколько раз вперед и назад, пока не будет получена нужная толщина.

Высокие балки с узкими фланцами. При прокатке балок с узкими фланцами, соотношение между высотой фланцев и толщиной заготовки, изображенное на рис. 242, не имеет места. Так в балке рис. 250 врезание в середину полосы и постепенное расширение вреза для образования фланцев настолько утягивает их, что для

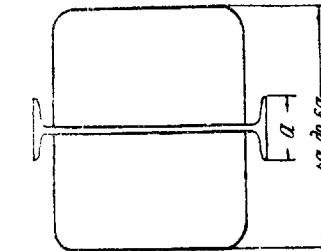


Рис. 250. Исходная заготовка для прокатки балок с узкими фланцами.

получения нужной высоты фланцев толщина заготовки должна быть не менее 4 и даже в 6 раз больше высоты последних. Это заставляет увеличивать и число пропусков.

Косая же калибровка этих балок со значительным их наклоном с целью получить быстрое обжатие невозможна, так как при этом получились бы слишком глубокие врезы в теле валков.

Большое число пропусков в свою очередь вызывает очевидные трудности, и Рендельман предложил метод прокатки балки с волнообразной стенкой с последующим постепенным выпрямлением и обжатием ее. Этот метод изображен на рис. 251. Сначала стенка получает две полных волны, которые затем выпрямляются, причем балка быстро увеличивает свою ширину. Растигивание балки происходит вследствие комбинированного действия сил, обжимающих стенку, а также вследствие растягивающих сил, приложенных к фланцам. Изучение рис. 251 показывает, что поперечное растягивание профиля, происходящее вследствие того, что фланцы в последующем калибре расставлены шире, чем в предыдущем, доведено до предела — полоса едва может войти в калибр. Только растяжение профиля силами, приложенными к внутренним краям фланцев, обеспечивает успех этой калибровки. Попытки прокатать таким образом другие профили потерпели неудачу — стенка образовывала складки, так как нельзя было растянуть ее. Испытания балок, прокатанных по этому методу, показали повышенные значения предела упругости и временного сопротивления против обычных для проката из мягкой стали.

Тавровое железо

Малые размеры таврового профиля до 80 мм применяются весьма часто, большие же гораздо реже, и в железных конструкциях заменяются двумя угольниками. С точки зрения калибровщика малые тавры сильно отличаются от больших следующими особенностями:

Рис. 251. Метод Рендельмана.

то, большие же гораздо реже, и в железных конструкциях заменяются двумя угольниками. С точки зрения калибровщика малые тавры сильно отличаются от больших следующими особенностями:

1) в малых таврах толщина ножки велика сравнительно с размером профиля, в больших — очень мала;

2) при малых профилях отношение размера профиля к диаметру валков стана значительно меньше, чем при больших;

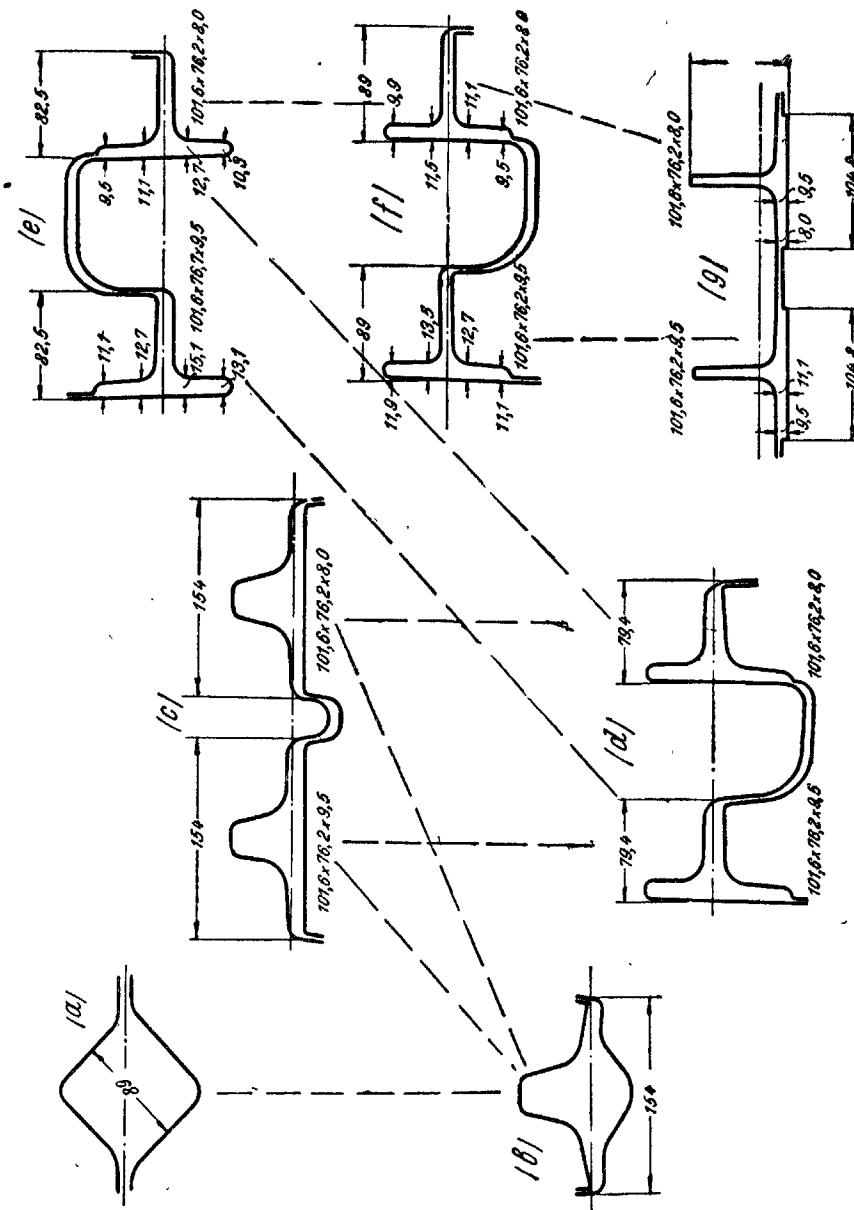


Рис. 252. Калибровка тавра.

3) последний калибр должен быть расположен так, что ножка профиля врезается в тело валка, что дает глубокий врез, опасный для прочности валка;

4) высокая ножка профиля с трудом высвобождается из валков.

Малые тавровые профили. Прокатка малых и средних размеров таврового железа начинается с квадрата, входящего по диагонали в ручей *b* (рис. 252), оттуда — без обжатия кромок — в ручей *c*. Получившийся зачаточный тавровый профиль проходит ребровой калибр, и будущей ножке дается сильное обжатие при малом обжатии подошвы. При таком неравномерном давлении ножка очень сильно удлиняется, так как подошва удерживает ее от удлинения.

На практике калибр полностью выполняется ножкой редко и она имеет различную высоту в разных сечениях полосы (волнистость). На рис. 253 детально показаны и входящее и выходящее из этого калибра сечение, взятые от недокатов рис. 66 и 67 первой части. Профиль рис. 253 является характерным для быстрой прокатки тавра, но не одобряется многими калибровщиками, так как, вследствие неравномерного обжатия, он стремится искривиться при выходе из валка и сильно давит на выводную проводку. Поэтому неизбежен большой процент брака вследствие застревания штуки в стане и размочаливания конца, затрудняющего вход в следующий калибр.

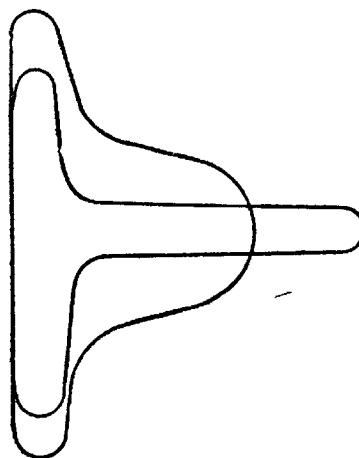


Рис. 253. Обжатие тавра в ребровом калибре.

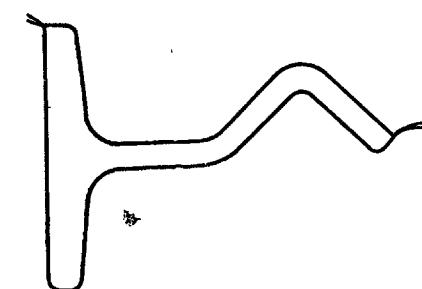


Рис. 254. Форма ребрового калибра для прокатки тавра с высокой ножкой.

Из ребрового калибра полоса поступает в отделочный калибр. Таким образом малые размеры таврового железа получаются из квадрата в четыре пропуска, средние требуют от 5 до 8 пропусков; в этом случае для сжатия и увеличения высоты ножки требуются два пропуска. Если высота ножки особенно велика, то ребровой калибр имеет форму согласно рис. 254, а следующий калибр делается тоже ребровым и выравнивает ножку.

Тавровое железо размером 30×30 мм прокатывается на станах 250—300 мм; 100×75 мм — на станах 400—450 мм.

Описанный метод прокатки таврового железа имеет широкое применение, но не является единственным. На рис. 255 изображена калибровка тавра $50 \times 50 \times 5$ мм или $50 \times 50 \times 6$ мм, где после каждого пропуска производится кантовка. Обращаем внимание на то, что пунктиром указанна различная установка валков для получения профиля с разной толщиной стенки. В тех пропусках, где подошва лежит плашмя, зажатая между двумя валками, следует обратить особое внимание на правильное распределение обжатий между нож-

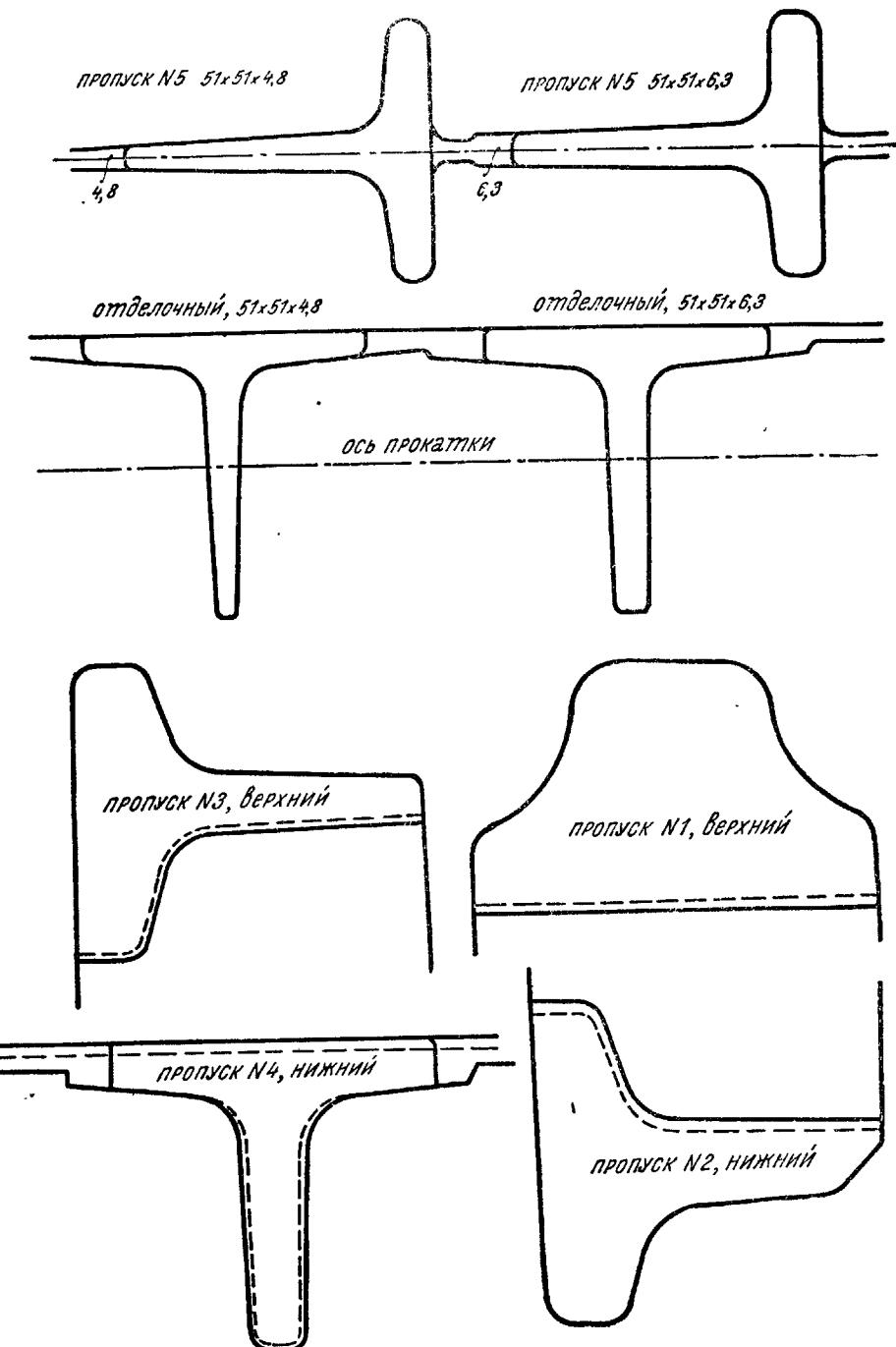


Рис. 255. Калибровка тавра $50 \times 50 \times 5$ мм.

кой и подошвой. Давление на ножку стремится зажать ее в калибре, в то время как подошва, удлиняясь, стремится укоротить ножку и вытащить ее из калибра.

Эта калибровка допускает свободное уширение подошвы, и края калибра не ограничены закраинами. Все сказанное относится и к отделочному калибру. Ножка обжимается на 10% по высоте, по краям оставлены небольшие зазоры во избежание застревания полосы в валках. Обжатие подошвы равно примерно 30%, но уменьшение сечения меньше этой величины вследствие уширения. Так как удлинение подошвы больше, чем ножки, последняя извлекается из калибра; относительно большая скорость выхода подошвы стремится изогнуть штуку книзу, чему можно частично противодействовать, несколько приподняв нейтральную линию калибра относительно средней линии валков.

Если края калибра не ограничены закраинами, то ширина подошвы тавра может изменяться в зависимости от температуры металла. Поэтому при прокатке очень точных профилей число пропусков увеличивается, и с боков подошвы калибр закрывается. В этом случае уширение в отделочном калибре должно быть весьма малым (от 0,8 до 1,6 мм). Вследствие малого обжатия подошвы, ножка стремится застремлять в калибре, если не дать части подошвы, прилегающей к самой ножке, более сильного обжатия. У краев подошвы обжатие может быть равно 10%, в то время как в средней ее части оно доходит до 40% и более. На рис. 252 дана калибровка двух размеров таврового железа. Следующая табличка дает обжатия в последних четырех ручьях этой калибровки.

Уменьшение толщины подошвы				Уменьшение ширин подошвы %	Уменьшени. толщины ножки %		Пропуск	Сечение готового профиля
Верхняя часть		Нижняя часть			Основание	Вершина		
Середина	Край	Середина	Край					
—	—	6,2	14,3	24,7	66,0	46,8	—	d
22,3	25,0	—	—	11,0	28,6	18,8	—	e
—	—	12,5	7,7	4,5	20,0	23,1	—	f
17,2	20,0	14,3	16,7	—	—	—	14,4	g
—	—	—	13,3	28,9	63,0	40,0	—	d
23,8	17,7	—	—	9,5	30,4	22,2	—	e
—	—	15,8	15,1	4,5	12,5	14,3	—	f
17,7	20,0	12,5	14,3	—	—	—	14,4	g
				Тавровое 101,6×76,2× ×9,5				

Из таблицы видно, что половина подошвы, лежащая в закрытом калибре, не обжимается по толщине. Каждая половина подошвы находится поочередно в закрытой и открытой части калибра, а так как перед отделочным калибром имеется всего три подготовительных калибра такой конструкции, то входящий в отделочный калибр профиль имеет обе половины подошвы разной толщины. Сле-

довательно обжатие в отделочном калибре однобоко, что конечно вызывает у штуки стремление изогнуться по выходе из валков. Из таблицы видно далее, что обжатие подошвы у краев больше, чем по середине. Эта особенность калибровки обеспечивает полное заполнение ножки. Во избежание же заклинивания ножки, калибр ее предусматривает 7—10% уширение.

Представленная калибровка, хотя и не является наилучшей, дает очень хороший продукт.

Специальный профиль тавробимс имеет утолщение на вершине ножки. Он прокатывается подобно обычному тавру и изображен на рис. 256. Прокатка же более сложных Т-образных профилей рассматривается в главе о неправильных и сложных сечениях.

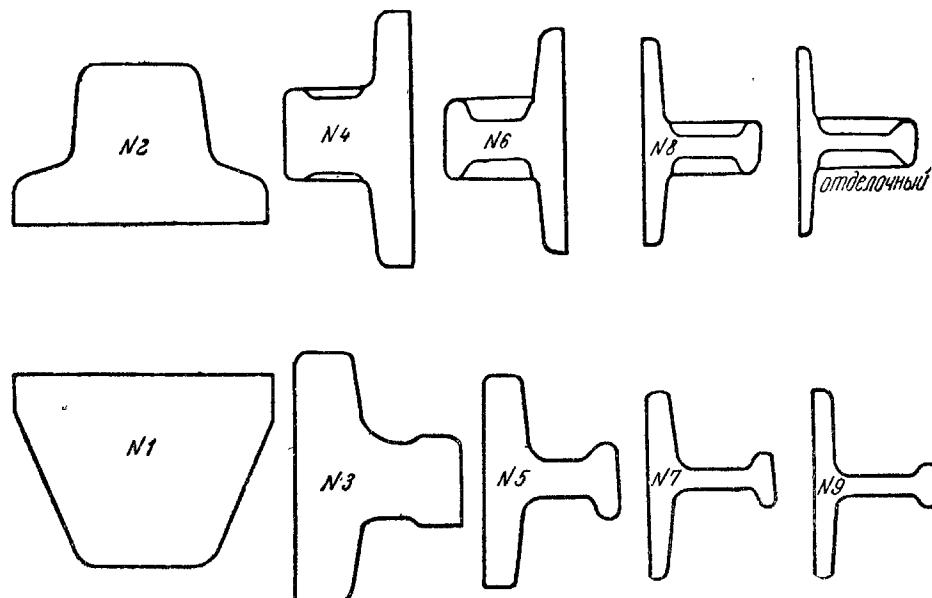
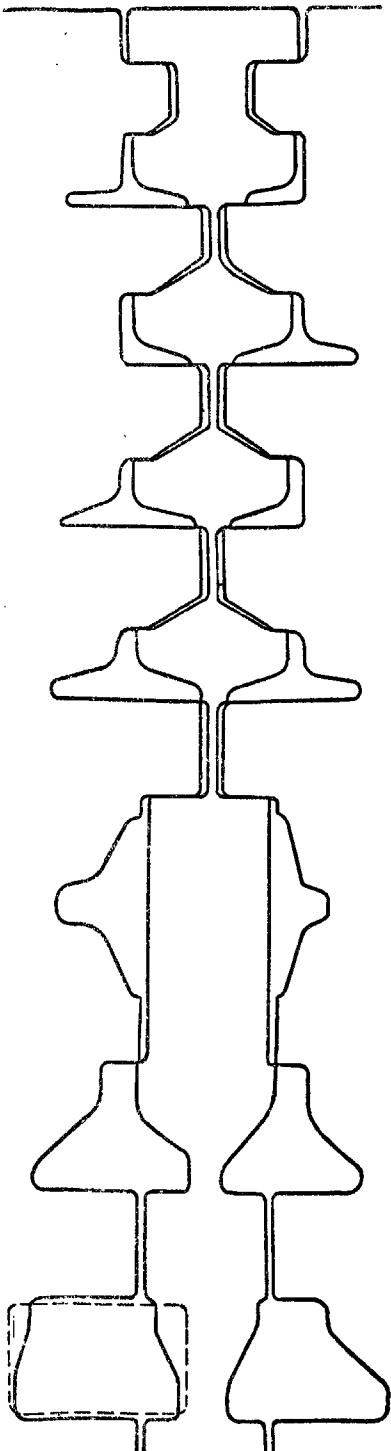


Рис. 256. Схема калибровки тавробимса.

Большие тавровые профили. Как сказано выше, прокатка больших тавровых профилей затруднительна и встречается редко. Они прокатываются из прямоугольной заготовки, одна сторона которой равна удвоенной ширине подошвы профиля, а другая — $1\frac{1}{8}$ высоты ножки.

В первый калибр заготовка подается на ребро (рис. 257), и обжатия правой и левой части профиля различны, вследствие чего выходящая из валков полоса стремится изогнуться вбок. Этому частично препятствуют как бурты валков, так и выводные проводки; однако, вследствие значительных напряжений, выводные проводки быстро изнашиваются и нуждаются в частой регулировке и замене. Форма выходящего профиля очевидно будет отличаться от формы калибра, так как менее обжимаемая сторона профиля будет утягиваться соседней, более сильно обжимаемой и быстрее выходящей из валков частью. После нескольких, например четырех, про-



104

Рис. 257. Схема калибровки большого тавра.

пусков, штука кантуется на ребро и обжимается как подошва, так и ножка. Затем производится ребровая прокатка, подобно тому, как прокатываются многие другие строительные профили — поочередно обжимается одна из половин профиля, причем ножка и подошва получают примерно одинаковые обжатия.

Калибровка тавровых сечений по Жезу. Калибровка тавровых сечений по Жезу видна из рис. 258; в этой калибровке подошва и ножка подвергаются обжатию поочередно. Калибровка эта приводится здесь как курьез, а не как заслуживающий подражания прием. При прокатке тавра по рис. 258 почти невозможно добиться того, чтобы полоса выходила прямо. Большой процент брака и недоката почти вывел этот способ из употребления.

Прокатка рельс

Характерной особенностью рельса, как прокатного профиля, является наличие толстой, массивной головки, тонкой ножки или шейки и широкой подошвы (фланцев). Рельсы изготавливаются из сравнительно твердой стали и потребители весьма строго относятся к точности профиля продукта.

Прокатка рельс с ребровыми калибрами. Этот метод применяется почти исключительно в США и изображен на рис. 259. Подошва начинает образовываться уже в первых проходах путем уширения полосы. После 90° кантовки, начинается образование шейки путем врезывания в профиль так же, как в двутавровых балках. Однако разница ширины головки и подошвы делает возможным применение характерного ребрового калибра, в котором подошва сильно обжимается и уширяется. Сильное обжатие подошвы при отсутствии обжатия

остального профиля не дает смещаемому объему металла пойти на удлинение профиля, и весь он идет на увеличение ширины подошвы

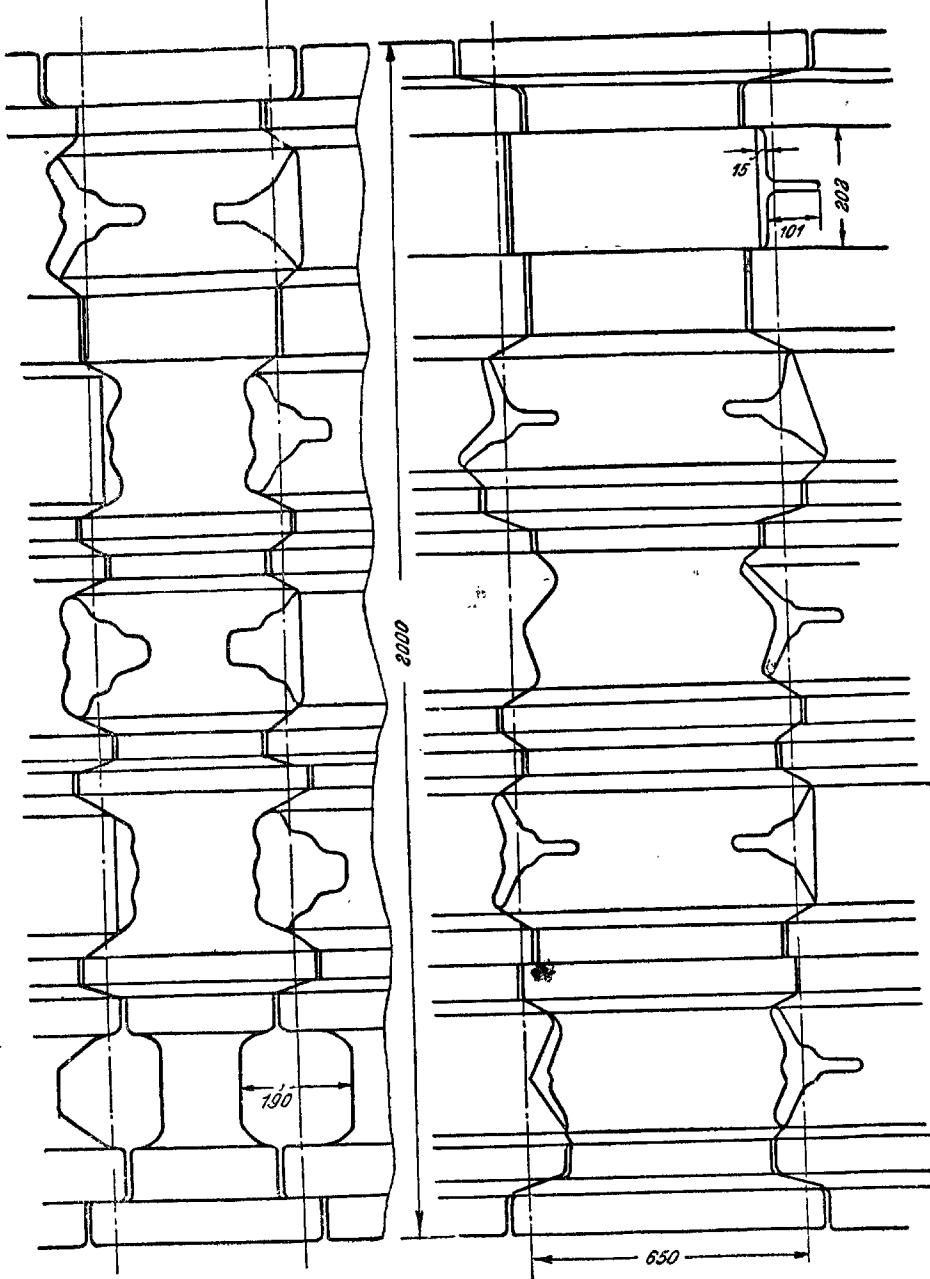


Рис. 258. Калибровка тавра по Жезу.

(обжимаемая часть профиля незначительна по отношению к общей площади сечения). Далее прокатка производится аналогично уже

Таблица 24

Пропуск №	Площадь см ²				Обжатия %			
	Головка	Шейка	Подошва	Всего	Головка	Шейка	Подошва	Всего
1	—	—	—	350	—	—	—	—
2	—	—	—	281	—	—	—	19,70
3	—	—	—	246,5	—	—	—	12,40
4	—	—	—	213,5	—	—	—	13,30
5	74,0	35,7	73,3	183	—	—	—	14,40
6	64,5	31,0	63,2	158,7	12,70	13,00	13,75	13,20
7	60,9	27,2	60,1	148,2	5,60	8,20	5,00	6,60
8	54,8	24,4	51,6	130,8	10,00	10,50	14,00	11,50
9	40,4	20,3	42,4	103,1	26,20	16,50	18,00	21,20
10	33,5	18,0	34,0	85,5	17,00	11,50	19,50	17,00
11	31,2	16,6	32,2	80,0	6,95	7,40	8,00	7,55

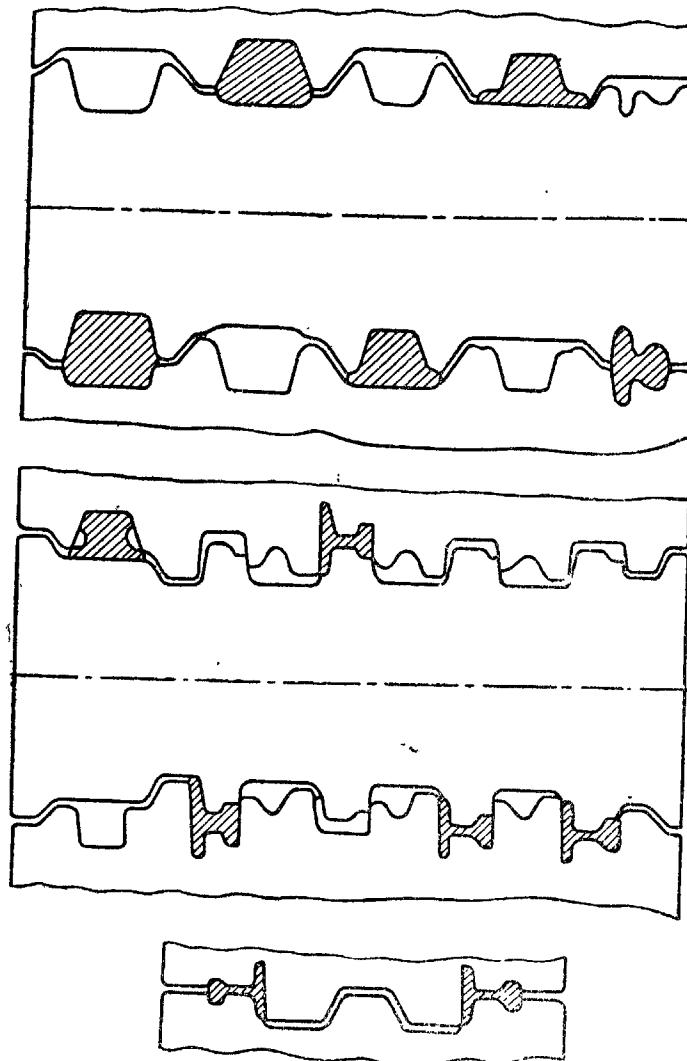


Рис. 259. Схема калибровки рельса по американскому способу.

В зависимости от профиля и размера рельса, последний может быть прокатан из квадратного блума в 9—11 пропусков.

Обжатия при прокатке рельса весом 62 кг (на погонный метр) даны в таблице 24.

Разделение профиля на головку, шейку и подошву в первых пропусках конечно невозможно. Распределение обжатий между

этими элементами профиля отличается от такового в швеллерах и двутавровых балках.

Косая калибровка рельс. Обжатие головки и фланцев рельса может быть осуществлено путем наклонного расположения калибра и использования частично прямого обжатия фланцев. Метод этот представлен на рис. 260.

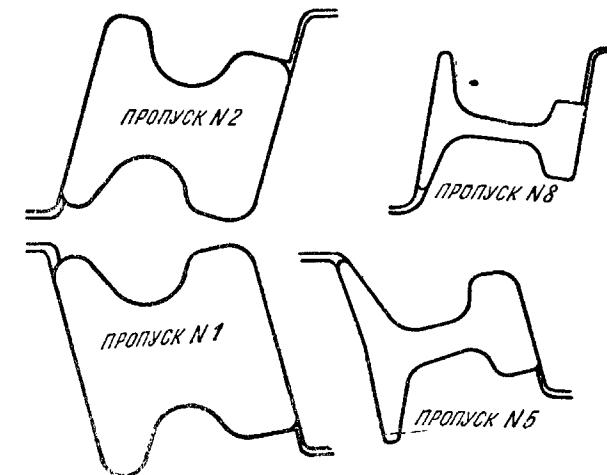


Рис. 260. Косое расположение калибров.

Выдающееся достоинство этого метода заключается в легкости, с которой можно отрегулировать изношившиеся и поэтому расстроившиеся валки. Часто выдвигается возражение против этого метода, заключающееся в том, что при нем значительная часть валка занимается буртами. Однако занятая ими часть валка не так уж велика и это соображение не имеет практического значения.

Этот метод калибровки применялся прежде исключительно для легких рельс, в настоящее же время он встречается и при прокатке

самых тяжелых профилей, если только диаметр валков стана достаточно велик.

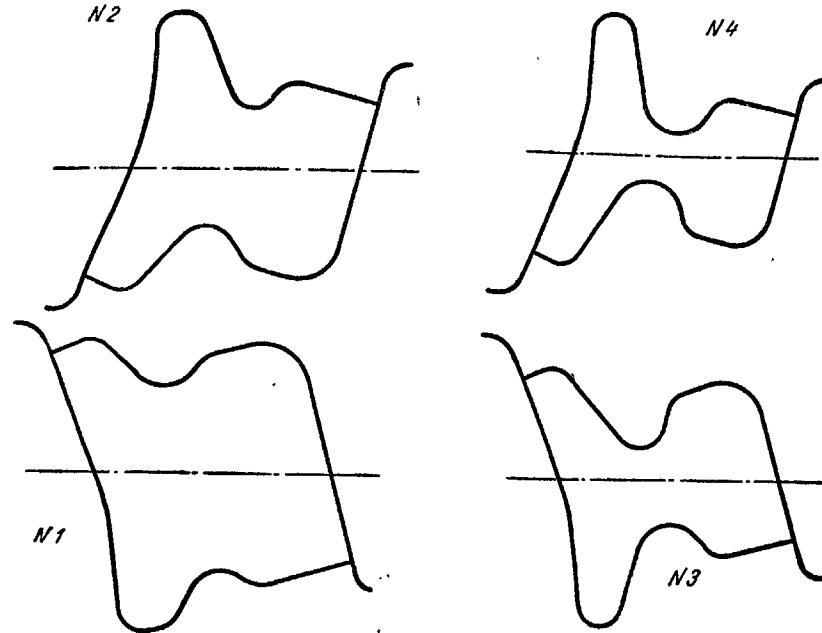


Рис. 261. Косое расположение калибров.

Во Франции и Бельгии косо строятся первые четыре калибра, остальные же — по прямому методу. На рис. 261 и 262 представлен этот способ калибровки. Особенno интересен пропуск 5, где обжима-

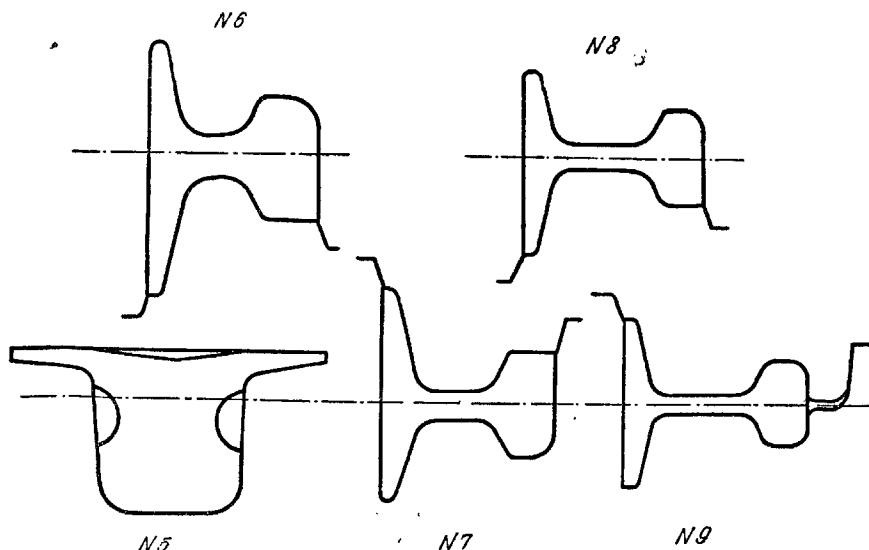


Рис. 262. Прямое расположение калибров.

ется и уширивается подошва. Заслуживает упоминания то обстоятельство, что первые четыре пропуска являются общими для ряда профилей рельса различного веса, в то время как последующие являются специальными для данного профиля (легковесного). Следует иметь в виду, что обжатие в пятом пропуске на глаз кажется преувеличенным, ибо рис. 262 вычерчен в меньшем масштабе, чем рис. 261.

Метод разреза и изгиба подошвы. Этот метод, изображенный на рис. 263, описывается здесь ввиду его оригинальности. Он подтверждает высказанное выше утверждение, что многие профили могут быть прокатаны весьма различными способами. Рисунок заимствован из немецкого курса калибровки Дегеца. Автор указывает, что калибровка эта может применяться только на таких станах, где возможен медленный ввод полосы в валки (реверсивные станы дуо). Поскольку большинство рельсовых станов (в США) являются становами трио с постоянной скоростью валков, очевидно, что эта калибровка не могла иметь успеха. Она очень заманчива при возможности медленной прокатки в обжимных калибрах, но не имеет данных на большое распространение, так как отличается еще и значительной стоимостью валков.

Первые два пропуска служат для образования подошвы, трений и последующие — для образования ножки и придания рельсу окончательной формы.

Характерный пропуск рельсовой калибровки. Рис. 264 изображает исследование ребрового пропуска методом сечений. Во избежание изгиба шейки, обжатие всего сечения должно быть очень небольшим. Значительное уширение подошвы. При желании оно могло бы быть еще увеличено; в данном же примере оно не так велико, ибо калибровка предусматривает два ребровых калибра. В дальнейших пояснениях рис. 264 не нуждается.

Охлаждение рельса. После окончания прокатки рельс, массивная головка и сравнительно массивная средняя часть подошвы имеют заметно более высокую температуру и остывают медленнее, чем тонкая шейка. Поэтому при охлаждении рельса, он стремится искривиться, причем это стремление более или менее ясно выражено в зависимости от пропорции размеров профиля. В качестве борьбы с искривлением рельса с тонкой шейкой при охлаждении, в отделочном калибре дают более сильное обжатие концам шейки, чем ее середине, и шейку в целом обжимают меньше, чем головку и подошву. Основание этого приема лежит в придании шейке напряженного состояния, что, по крайней мере частично, противодействует неравномерному сжатию рельса при охлаждении.

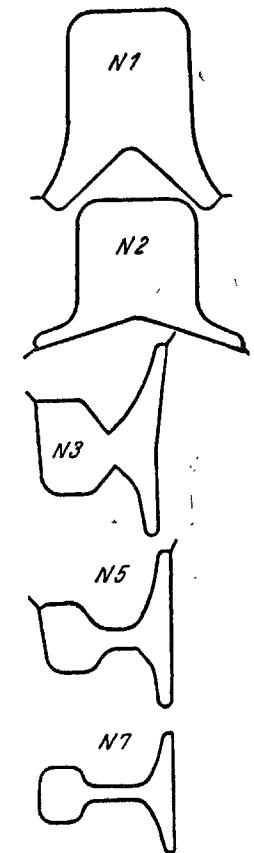


Рис. 263. Схема калибровки рельса по методу разреза и изгиба подошвы.

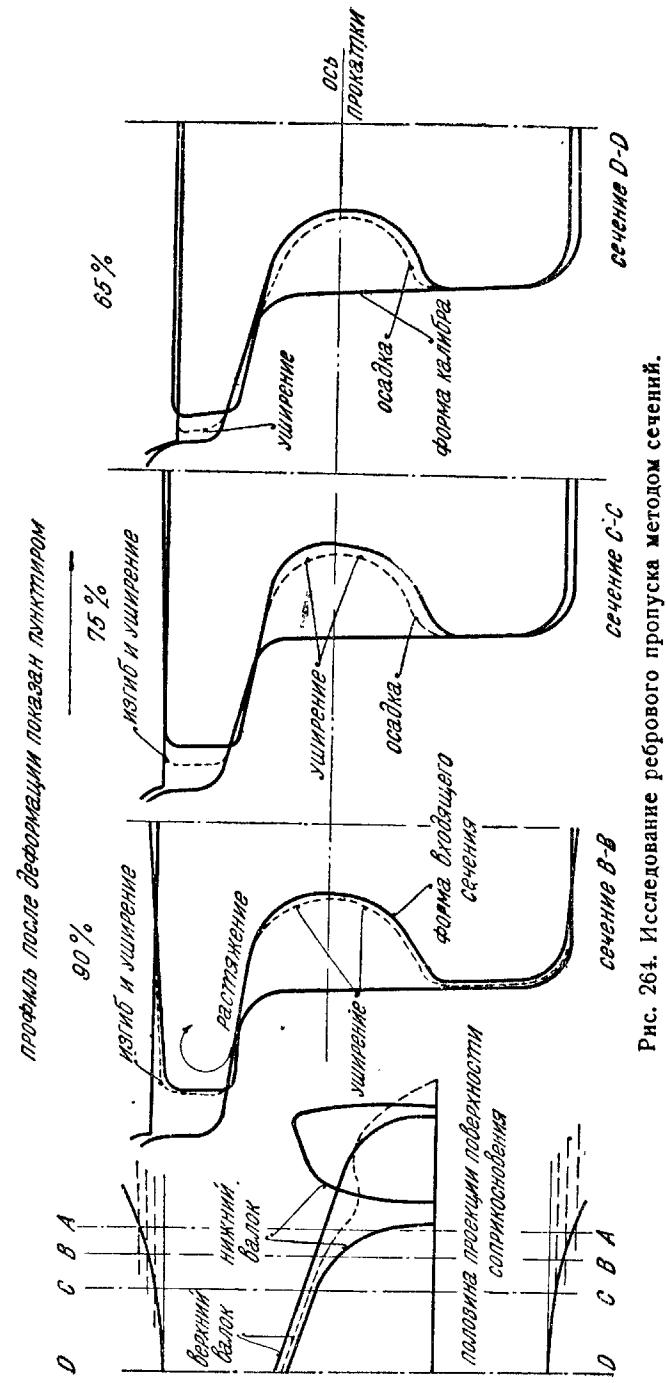


Рис. 264. Исследование ребрового пропуска методом сечений.

Однако, как указывалось в первой части, полностью уничтожить действие неравномерного охлаждения таким образом невозможно, и поэтому рельс при охлаждении искривится, если его не выгнуть в противоположном направлении, пока он еще горяч. Для этого применяется специальная машина для выгибания рельс, состоящая из трех вертикальных валков, являющаяся в сущности не чем иным, как правильным станком. Можно также выгибать рельсы системой рычагов, размещенных на холодильнике, но этот метод требует некоторого искусства.

Желобчатые рельсы. Желобчатые рельсы применяются для трамвайных путей и раньше (в США) прокатывались в больших коли-

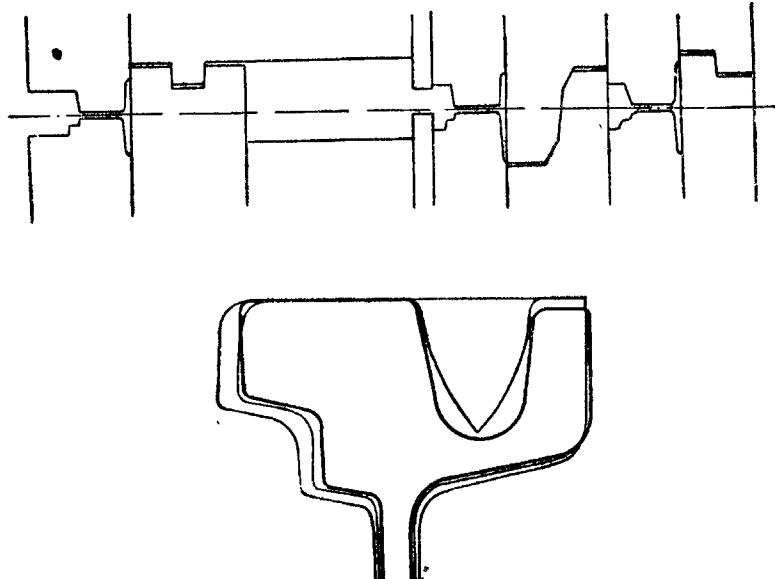


Рис. 264а. Прокатка желобчатых рельс.

чествах. С развитием автомобильного движения производство этих рельс упало и сейчас ограничивается количеством, необходимым для смены изношенных.

Однако желобчатые рельсы, как они прокатываются в США, имеют два характерных пропуска, заслуживающих описания.

Эти рельсы прокатываются так же как и обыкновенные (рис. 259). Обычно имеются два ребровых пропуска; разница относится к отделочной клети. На рис. 264а показан верх рельса после предъ-отделочного и отделочного пропусков. Эти пропуска характерны, так как для получения желобка в головке рельса применяются вертикальные дисковые ролики.

Диск помещается у самого края валков (слева) между их шейками (на рисунке не показано) и разрезает головку рельса при прохождении им предъ-отделочного пропуска. В отделочном пропуске диск, помещающийся в вырезе около средины валков, закругляет разрез, полученный в предыдущем пропуске. Дисковые ролики являются наиболее беспокойной частью стана.

Если подшипники дисковых роликов сделаны достаточных размеров, чтобы предотвратить быстрый износ, то при этом слишком ослабляются главные валки. Приходится искать компромиссное решение. Фибровые подшипники с охлаждением водой работали довольно успешно на дисковых валках. Врезание в головку рельса производит довольно сильное уменьшение сечения. Частью это идет на уширение, главным же образом на вытягивание полосы. Это означает, что в пропуске, предшествующем предъотделочному, шейке и подошве должно быть дано достаточное обжатие, почти равное тому, какое получает головка при разрезании. В отделочном калибре обжатие нормальное. Благодаря желобку в головке обжатие в отделочном пропуске получается только за счет боковой работы (горизонтальное сжатие).

Перекатка старых рельс

Изношенные в эксплуатации рельсы перекатываются в меньшие размеры (для узкоколейных дорог), или переплавляются. Обычно применяемый метод перекатки рельс изображен на рис. 265. Как видно из рисунка, здесь применен метод косой калибровки.

Главной задачей в данном случае является возможность перекатывать рельсы различных сечений и различно изношенные в хорошие легкие рельсы, пользуясь при этом минимальным парком валков. Представленный на рис. 265 валок является примером обжимных валков, где эта задача разрешена исключительно удачно. На рис. 266 изображены отделочные валки, а на рис. 267 — исследование методом сечений одного из пропусков.

Неправильные и сложные профили

Прокатные профили, не описанные в предыдущих параграфах, обычно называются специальными, хотя нельзя провести точное разделение между обычными и специальными профилями. Некоторые из них очень незначительно отличаются от ранее описанных и не представляют затруднений для калибровки, в то время как калибровка других может потребовать от автора чрезвычайной изобретательности и остроумия. Все же общие принципы калибровки применимы ко всем без исключения профилям. Здесь мы рассмотрим некоторые из особо интересных специальных профилей и применим на практике положения, изложенные в первой части.

Большинство специальных профилей являются мелкосортными и применяются в сельскохозяйственном машиностроении, для оконных рам, пищущих машин, автостроения и т. д. Из крупных специальных профилей можно упомянуть накладки и подкладки для ж.-д. рельс, шпунтовые сваи и т. п.

На рис. 268 изображена ж.-д. подкладка с одним средним ребром, на рис. 269 — с двумя средними ребрами. Эти профили прокатываются подобно швеллерам и не нуждаются в детальном объяснении. Среднее ребро этого профиля не может получить ни прямого ни бокового давления. После 3-го пропуска полоса кантуется на 180°. Обратим впрочем внимание на большую высоту (100 мм) начального сечения по сравнению с высотой готового профиля

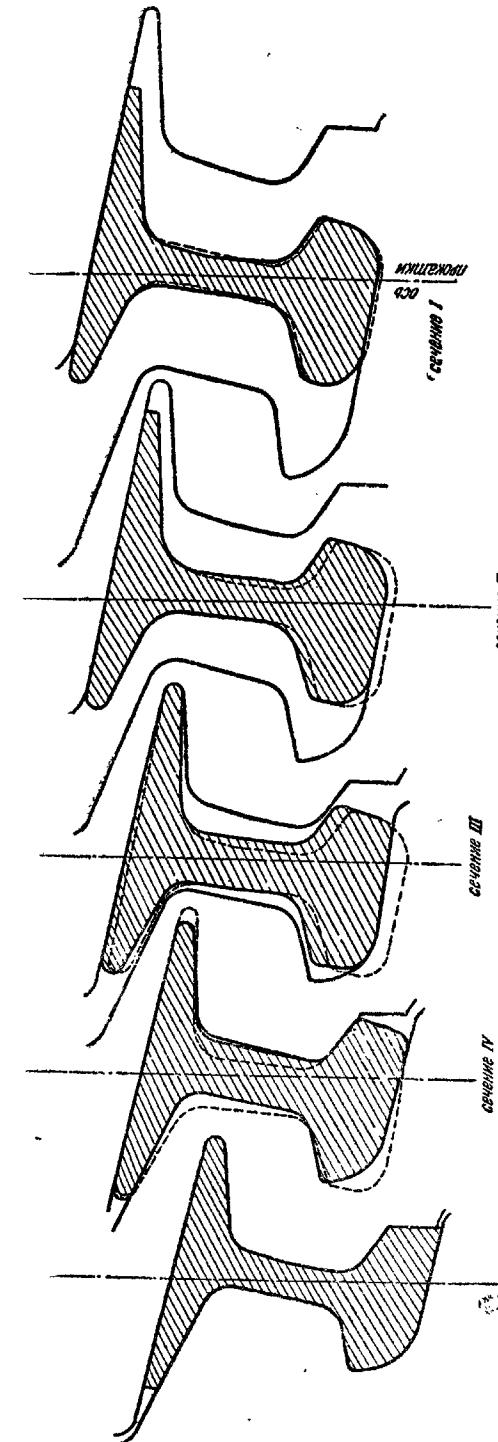


Рис. 267. Исследование калибра для перекатки рельс методом сечений.

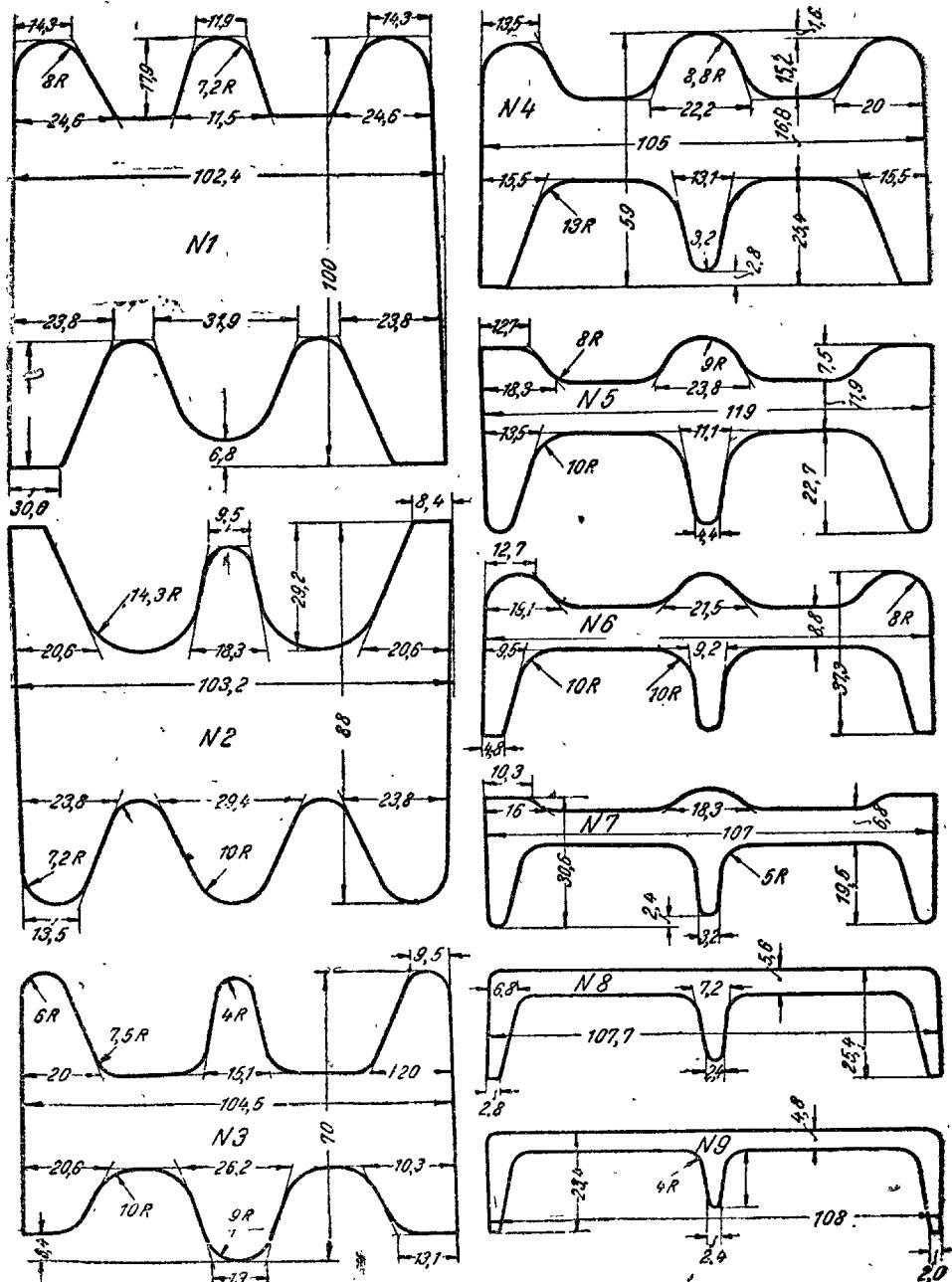


Рис. 268. Калибровка ж.-д. подкладки с одним средним ребром.

(23,4 мм). Отсюда видно, что в данной калибровке имеет место значительная утяжка фланцев и ребер. Семь пропусков рис. 269 соответствует первым семи пропускам рис. 268 и за ними следуют не показанные на рисунке предотделочный и отделочный калибры.

Измерение площадей калибров рис. 269 показывает, что обжатие в первых двух пропусках равно около 20% в каждом, а в последующих пяти — около 30% в каждом. Видно также, что уклон внутренних граней фланцев почти постоянен в последних четырех пропусках. Уклон фланцев профиля рис. 269 больше чем в нормальных швеллерах и поэтому здесь возможны значительные обжатия.

На рис. 270 изображена калибровка подкладки более современного типа. Здесь видно стремление, пользуясь в начале прокатки калибрами с неравномерным распределением обжатия по сечению,

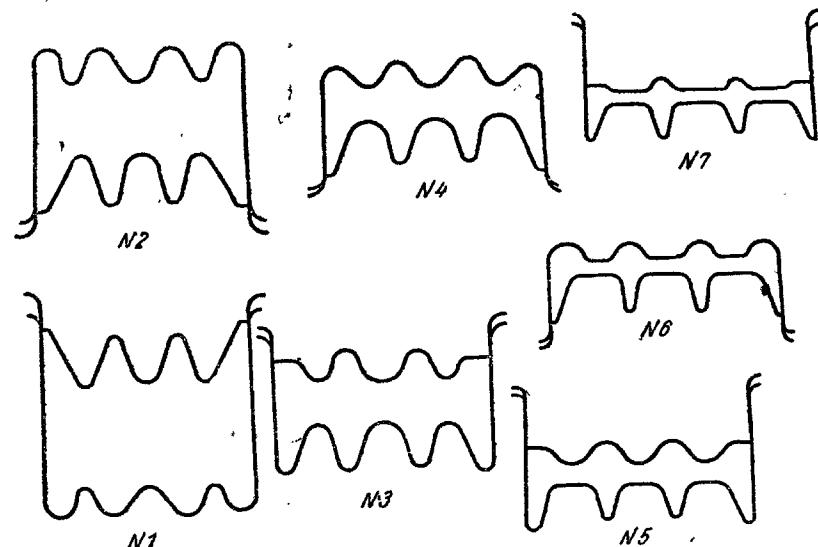


Рис. 269. Калибровка ж.-д. подкладки с двумя средними ребрами.

сравнять их по сечению в последних калибрах. В этой калибровке применен прием ложных фланцев, описанный в калибровке швеллера. Боковое давление, необходимое для обработки кромок, заменяется и здесь, как во многих предыдущих примерах, ограничением уширения. Углубление в нижней части первого пропуска служит вероятно для насечки. Возможно, что придание большего уклона боковым стенкам сильно улучшило бы эту калибровку, удешевив переточку валков.

На рис. 271 изображена калибровка накладки. Последний пропуск изображен на рис. 271а. Не надо думать, что первые калибры выполняются полностью. Действительно, выпуклость в верхней части профиля могла бы без ущерба для дела быть более плавной. Данный рисунок страдает некоторой схематичностью — калибры показаны так, как если бы прокатка производилась на стане дуо, тогда как, в действительности калибры расположены попарно между средним и верхним валками, то между средним и нижним. Это относится ко второму пропуску во второй клети этой кали-

бровки. Верхний калибр в точности соответствует нижнему, но конечно перевернутуть, что избавляет от необходимости переворачивать полосу. И в этом примере видно стремление быстро достичь нужного очертания профиля в первых пропусках и равномерно распределить обжатия по сечению последних калибров.

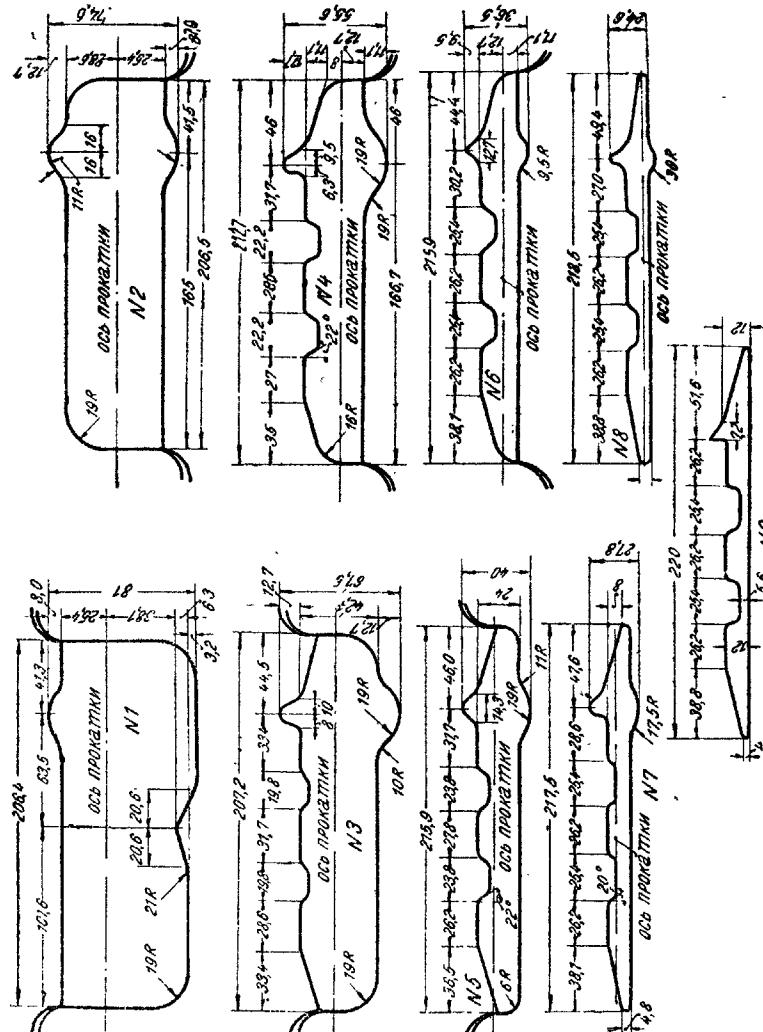


Рис. 270. Калировка подкладки с применением ложных фланцев.

Весьма интересный профиль изображен на рис. 272 — шпунтовая свая. Общее число пропусков этой калибровки равно 10. Метод прокатки напоминает прокатку высокой двутавровой балки с узкими фланцами (рис. 251) в том отношении, что стенка прокатывается волнообразной, и впоследствии волны выпрямляются прямым давлением и поперечным растяжением профиля. Прокатка этого профиля начинается из прямоугольной заготовки сечением

330×343 мм, подвергающейся в первом калиbre весьма глубокому разрезанию. Если верить рисунку, то угол захвата в этом калибре

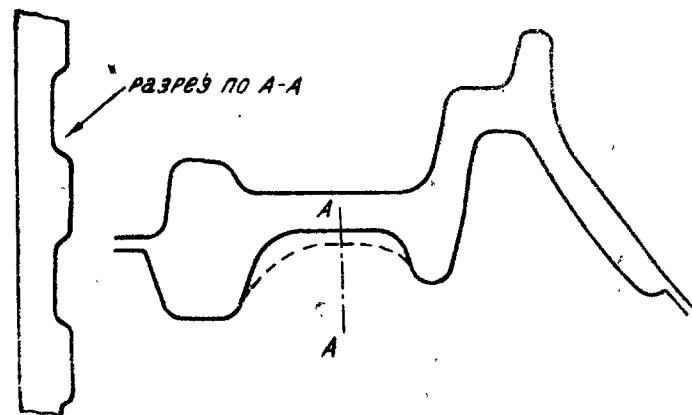


Рис. 271а. Форма последнего калибра при прокатке накладки.

равен 47° . Последние 7 пропусков рис. 272 изображены вероятно перевернутыми на 180° , ибо прокатывать их так, как они показаны, нельзя — острые концы профиля будут сминаться на рольганге.

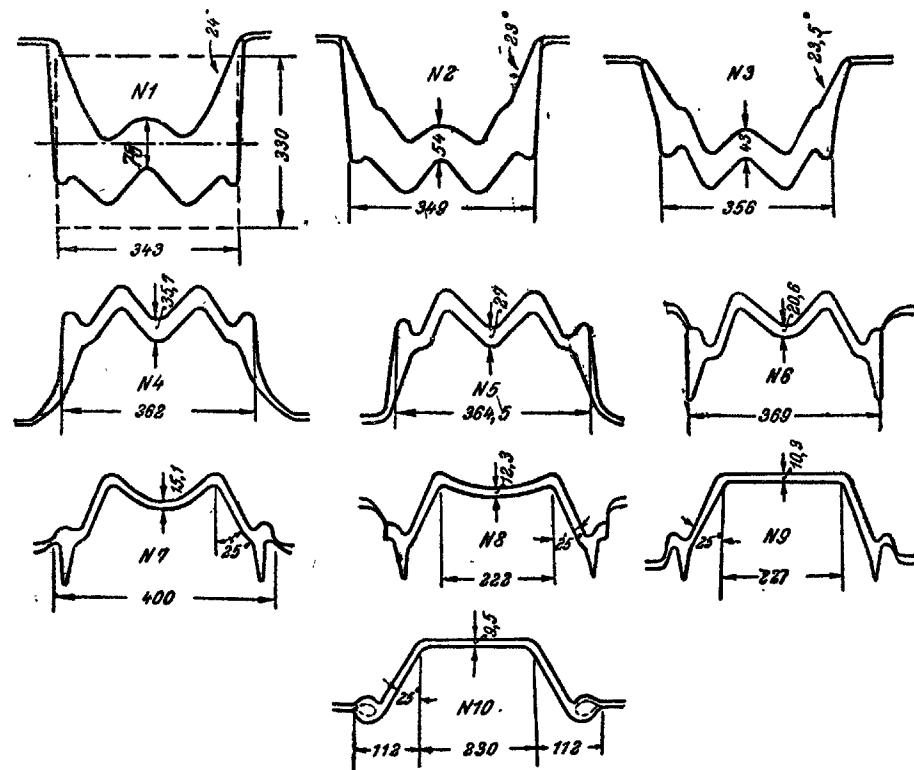
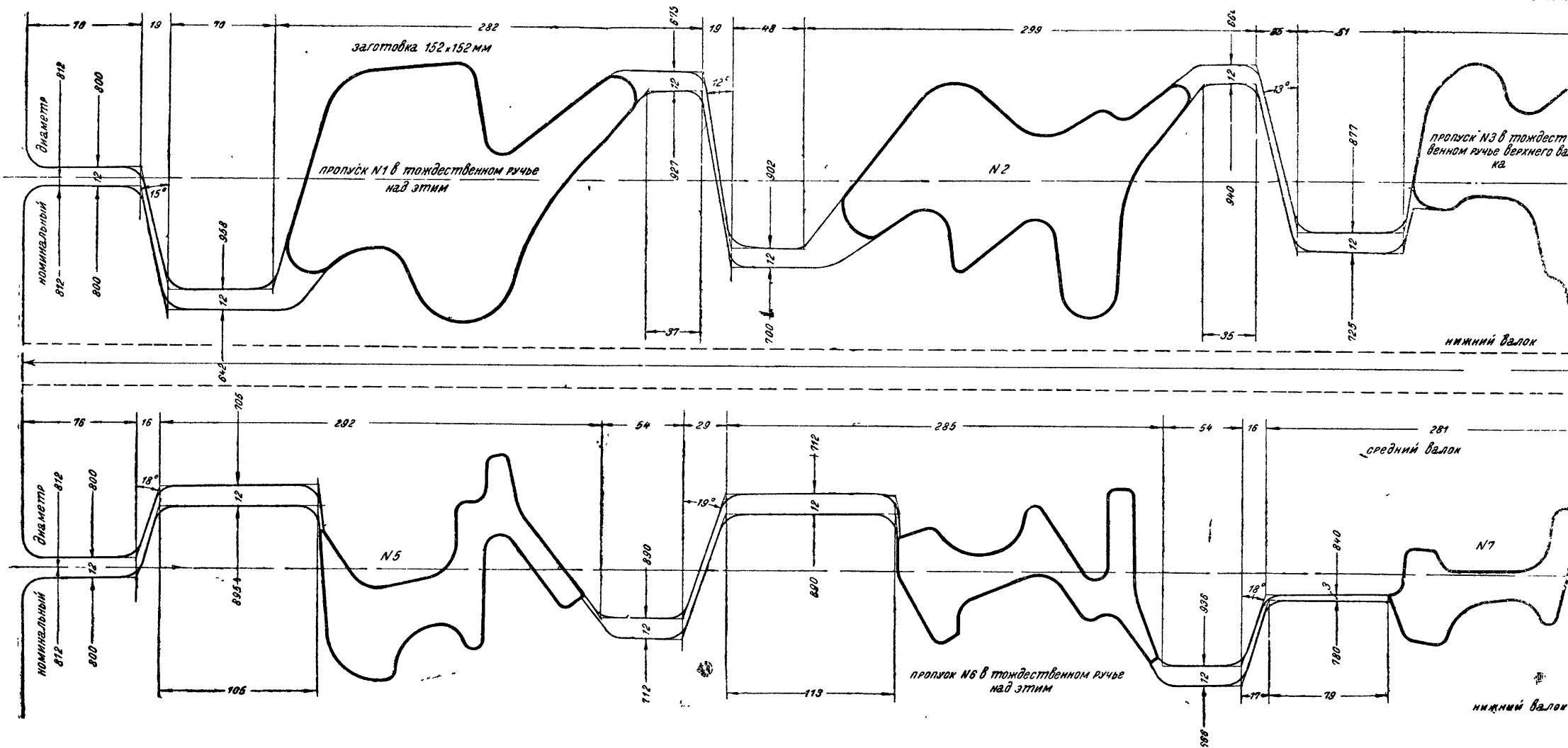
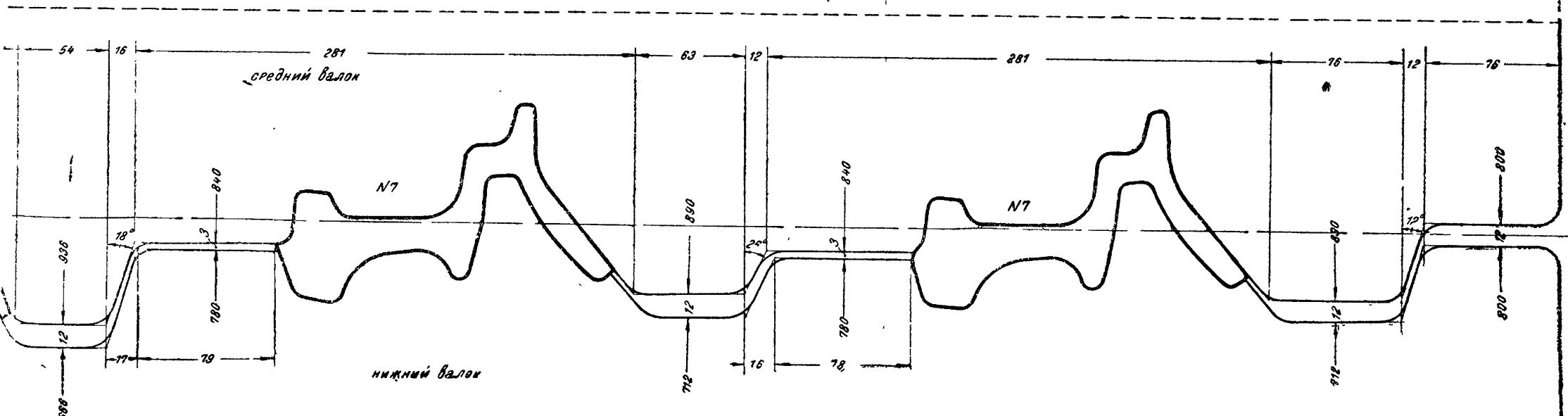
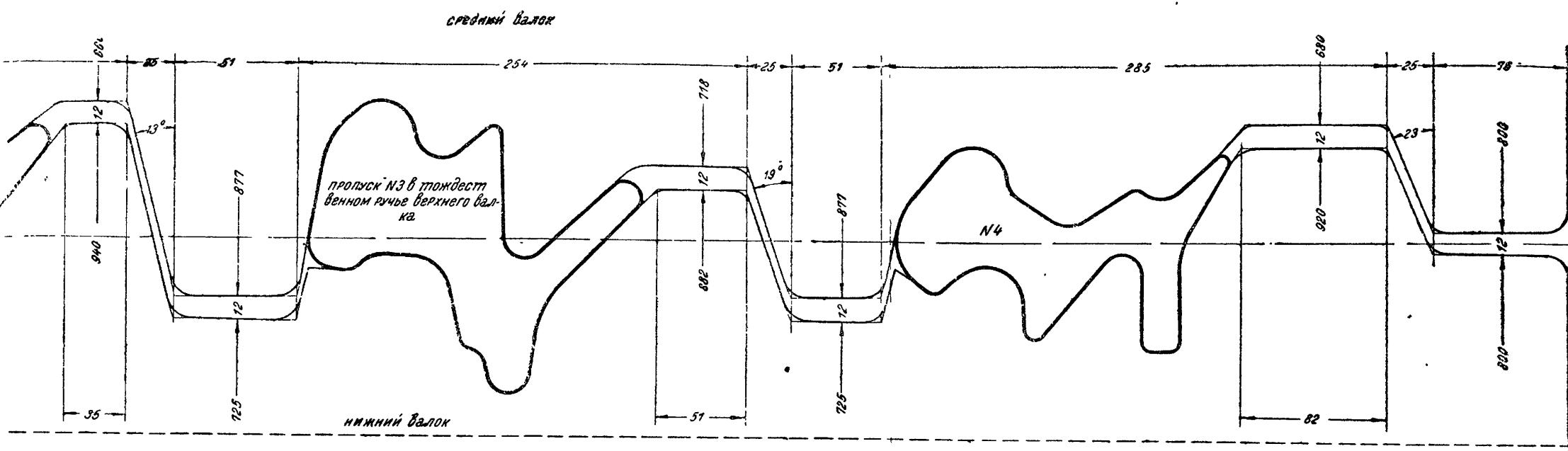


Рис. 272. Калировка шпунтовой сваи.



Калибревка валков, ч. II. 1256

Рис. 271. Калибровка накладки.



271. Калибровка накладки.

Обращаем внимание на изгиб концов ножек в последнем профиле, возможный только при хорошем металле.

Многие прокатные профили должны выпускаться с острыми углами, равными 90° , и поэтому калибры должны располагаться наклонно. Хорошой иллюстрацией этого правила является рис. 273. Радиус закругления нижнего угла пятого пропуска должен быть подобран таким образом, чтобы в следующем, шестом, пропуске получить острый угол. Что касается правого верхнего угла шестого пропуска, то недовыполнение или перевыполнение (заусенец) в нем зависит от уширения, в свою очередь зависящего от качества металла, его температуры и от гладкости валков, и подлежит определению на опыте в каждом частном случае. Осторожный калибратор сделает сначала в пятом калибре закругление большого ра-

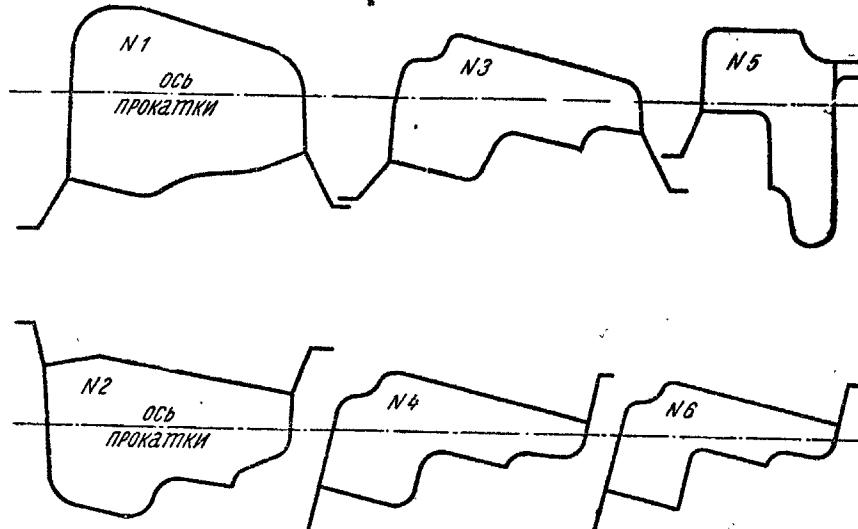


Рис. 273. Косое расположение калибров при прокатке специального профиля.

диуса и, испробовав валки, уменьшит его при недовыполнении угла шестого пропуска. И в этой калибровке очевидно стремление получить близкое к окончательному очертанию профиля уже в двух первых пропусках.

Интересный уродливо-тавровый профиль изображен на рис. 276. Изучая калибровку, отметим следующие ее особенности. Первые четыре пропуска являются обычными обжимными калибрами для тавра, с пятого же начинается специфическая калибровка. Ножка пятого калибра заключена между стенками калибра, принадлежащими одному валку (закрытый калибр), и поэтому подвергна только прямому давлению. В то же время подошва подвергается не только сильному давлению, особенно в правой части, но и изгибу. Неравномерное распределение обжатий, а также слишком большое сечение ножки, которая не может быть вытянута стремящейся удлиниться подошвой, вызывает значительное уширение. Пятый пропуск спроектирован так, что металл подошвы не может уширяться вправо. Поэтому комбинированные изгиб и уширение, напра-

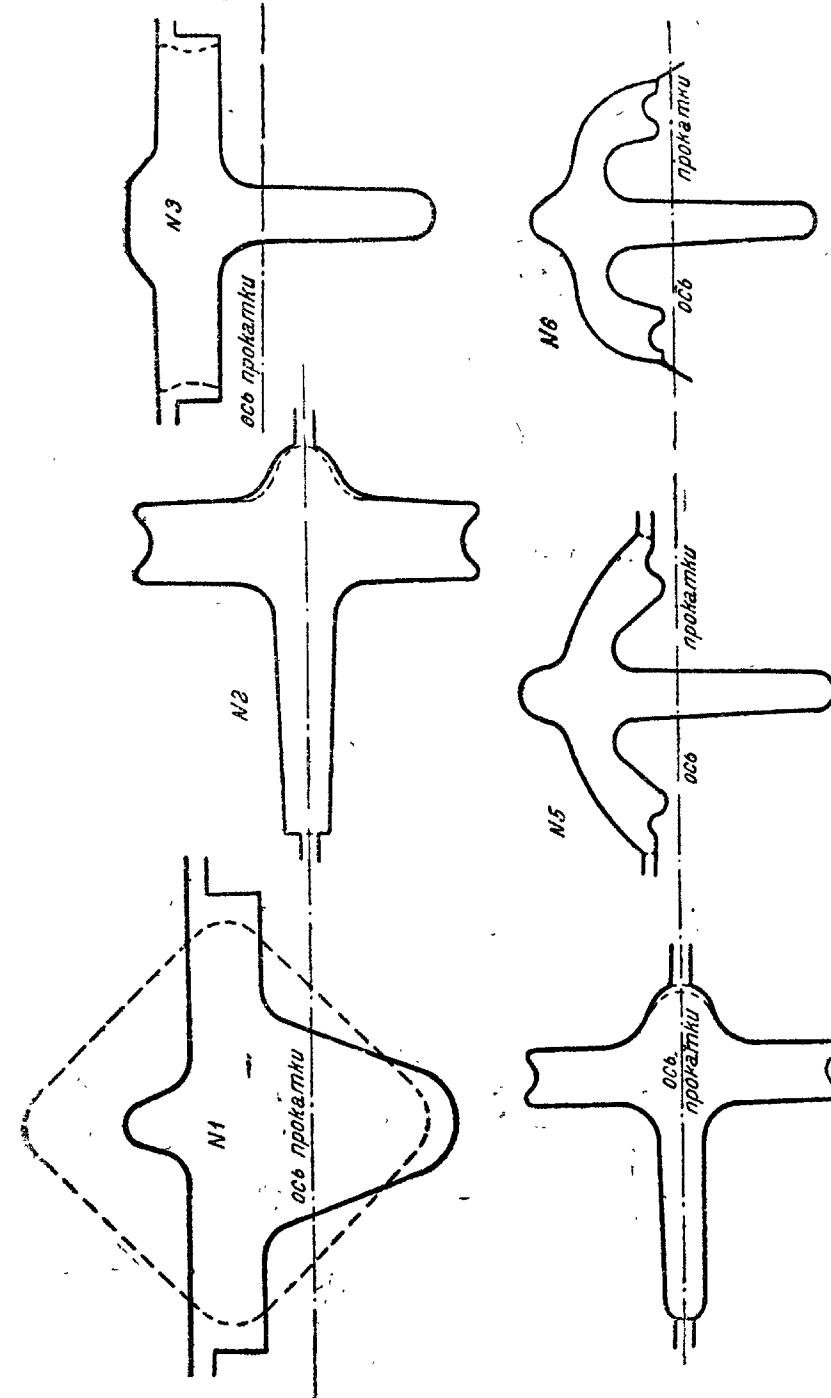


Рис. 274. Схема калибровки рамы для фонарей.

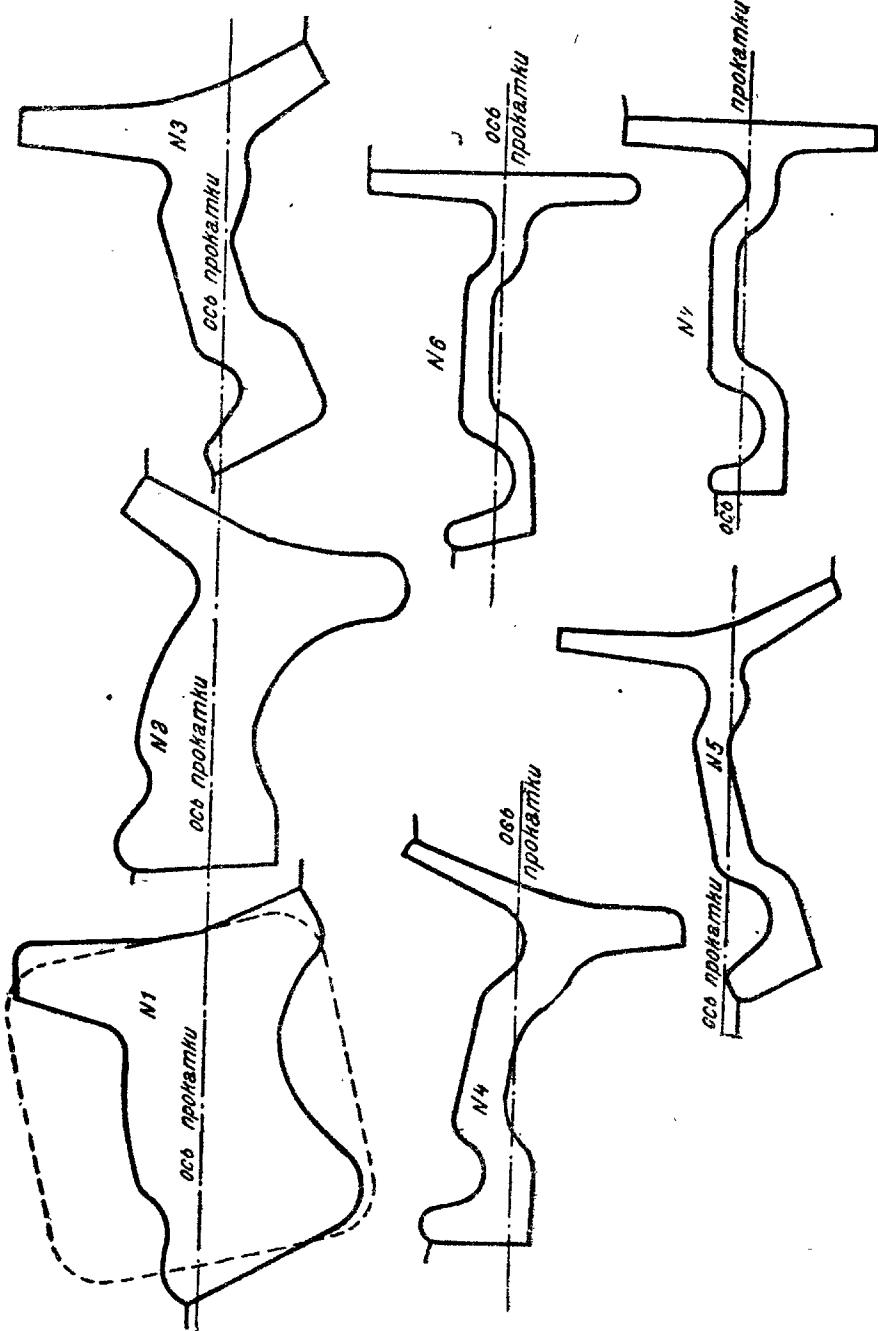


Рис. 275. Косая калибровка специального профиля.

вленные влево, образуют фланец, что дает профиль, близко подходящий к требуемому. Кроме образования выемки в нижней части профиля в шестом пропуске, обжатия в дальнейшем распределяются по сечению сравнительно равномерно. Тот факт, что полоса кантуется перед третьим, шестым, седьмым и восьмым пропусками, показывает, что калибрювщик стремился использовать кантовку возможно лучше для хорошей обработки кромок и использовал достоинства прямого давления.

В «Калибровке валков» Dehez дает ряд интересных и сложных калибровок. В заимствованном оттуда профиле для рам световых фонарей (рис. 274) прокатка начинается с квадрата, задаваемого в первый пропуск по диагонали. Калибровка отличается от калибровки нормального таврового профиля тем, что в кромках подошвы образуются желобки, что фланцы подошвы получают неравномерное обжатие, и что в отделочном пропуске фланцы изгибаются. Подошва этого профиля у ножки сильно обжимается, что препятствует застrevанию последней в калибре.

Весьма интересен также рис. 275, заимствованный из того же источника. Вследствие наличия фланцев по обеим сторонам профиля, ребровые калибры не применимы. Однако можно применить косое расположение калибров, что допускает некоторое прямое давление и обработку краев профиля. Обращаем внимание на поочередную обработку фланцев как при косой прокатке двутавровых балок. Заметно также перемещение оси прокатки¹ по отношению к центру тяжести профиля.

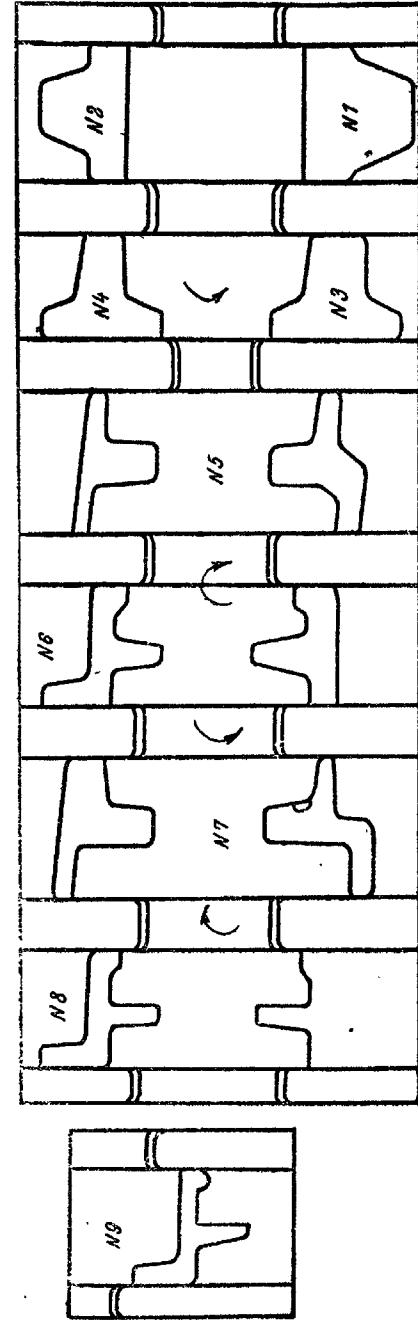


Рис. 276. Схема калибровки специального таврового профиля.

¹ Т. е. линии прокатки. Прим. ред.

Глава пятая

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОКАТКА

Если форма калибра меняется вдоль окружности вала, то прокатка в таком калибре называется периодической прокаткой. Раньше она производилась путем укладки в калибр специальных вкладышей или штампов, откуда происходит английское название периодической прокатки (*die rolling*). При этом виде прокатки поперечное сечение полосы получается в разных местах различное и периодически повторяется. При периодической прокатке особенно необходимо, чтобы оба вала врашались всегда с одинаковыми угловыми скоростями, так чтобы обе половины ручья всегда соответствовали друг другу.

Для правильной установки валков по отношению друг к другу как правило применяются микрометрические механизмы.

Весьма обычными общеизвестными примерами периодической прокатки являются kleймение рельс и балок путем гравирования букв на поверхности ручьев, прокатка шахматного (рифленого) железа, специального арматурного железа для железо-бетонных конструкций, а также железа для украшений. Однако во всех этих примерах нет необходимости соблюдения точной длины периода, т. е. одинакового расстояния между повторяющимися очертаниями профиля по всей длине штуки.

При резких изменениях поперечного сечения штуки по длине ее, возникают известные трудности, если необходима постоянная длина периода. Этот вопрос является главным предметом нашего последующего изложения. Периодическая прокатка всегда производится в один пропуск, ибо задать штуку в валки точно в нужный момент невозможно. Исключение делается только для таких станов, где рабочий калибр занимает около половины окружности вала, а половина остается холостой и имеет значительно меньший диаметр. Полоса задается в рабочую часть валков и затем вытаскивается обратно в тот момент, когда валки повернуты друг к другу холостыми частями.

В таких станах прокатываются короткие заготовки, а не длинные полосы. Такая прокатка является по существу ковкой в вращающихся штампах. Вследствие периодичности процесса и ручной работы, скорость вращения валков должна быть весьма умеренной.

Для всех примеров периодической прокатки имеет большое значение опережение полосы. Так например, если маркировочные знаки, вырезанные в теле вала, очень глубоки, т. е. обжатие отделоч-

ного калибра слишком значительно, буквы смазываются и теряют четкость, так как они удерживаются на месте в то время, как полоса скользит вперед. Поэтому буквы делаются не глубже 0,8 мм и с хорошими радиусами закругления. Остро выступающие буквы даже при небольшой их высоте получаются смазанными. При толстом сечении заготовки они могут быть глубже.

Действительно, выступы (рифы) шахматного железа, железобетонной арматуры и т. п. могут быть выше чем маркировочные знаки на рельсах и балках. Далее опережение зависит от температуры штуки и сходит на нет, если штука очень горяча; поэтому более

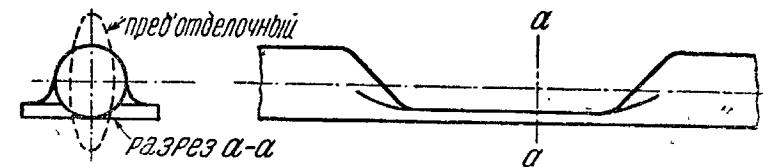


Рис. 277. Пример прокатки с заусенцем.

массивные изделия могут иметь более высокие выступы. При толстом и горячем исходном профиле выступы и впадины могут достигать 6 мм, особенно в случае закругленных переходов.

Периодическая прокатка при сильно различных профилях изделия в разных сечениях встречается со следующими трудностями.

При открытых калибрах, сильно обжимаемые части полосы образуют заусенцы; если стараться избегать заусенцев, то в этих местах не получается выполненного профиля. Иногда заусенец считают неизбежным злом и после прокатки срезают его, считая это неизбежной операцией данного технологического процесса. В дру-

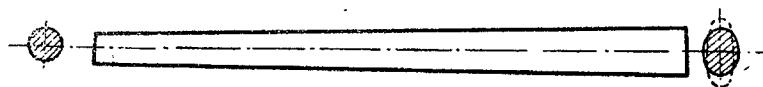


Рис. 278. Колесная спица.

гих случаях считаются с образованием заусенца, используя его в конструкции изделия. Примером служит рис. 277, где овальный предотделочный профиль вводится в периодический кругло-плоский ручей. Получающееся изделие служит хомутом, например для крепления автомобильных бензиновых баков, — плоское сечениегибает бак, а круглые концы нарезаются под гайки.

Примером изделия, могущего прокатываться в открытом калибре без переполнения его является колесная спица рис. 278, овальная на одном конце и круглая на другом. Предотделочным профилем является очень плоский овал, сечение которого достаточно для образования обоих концов и промежуточных сечений спицы без образования заусенцев.

Создание формы изделий, удовлетворительной для потребителя и могущей прокатываться без заусенцев в открытых калибрах, потребовало многочисленных совещаний между изготовителями и потребителями. В неблагоприятных случаях приходится прибегать

к закрытым калибрам, примером которых может служить рис. 279. Если валки плотно прилегают друг к другу, заусенец не образуется. Очевидно однако, что метод закрытых калибров применим только к прямоугольным или почти прямоугольным сечениям.

Одним из наиболее характерных примеров изделий, которые не могут быть прокатаны в открытых калибрах без заусенцев, явля-

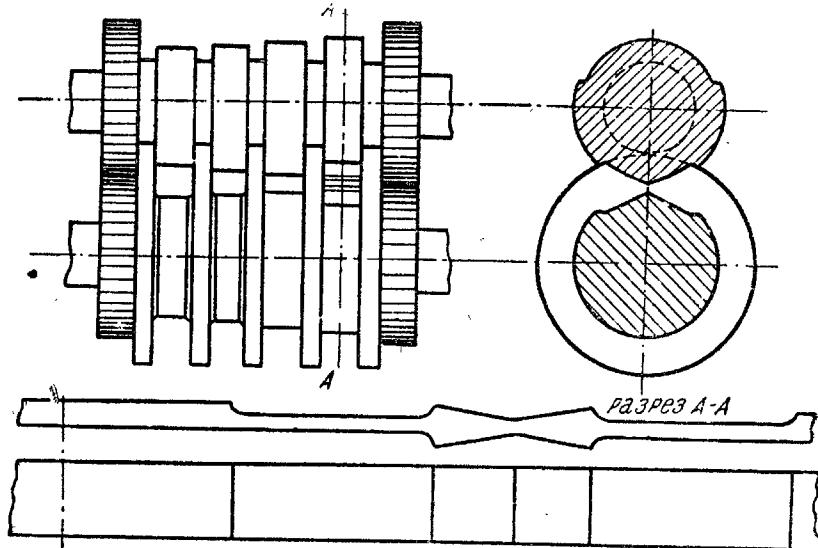


Рис. 279. Закрытые калибы для периодической прокатки.

ются круглые стержни переменного диаметра, подобные схематически изображенному на рис. 280. Предотделочный профиль подбирается так, чтобы он как раз заполнял наибольшее сечение калибра и переполнял все меньшие, образуя заусенцы. Чем больше отношение диаметров различных сечений, тем шире образующийся

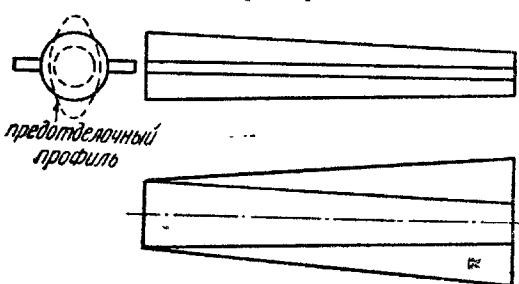


Рис. 280. Стержень переменного диаметра.

ко велик, что транспортные соображения диктуют расположение мастерской вблизи сталеплавильного цеха.

В связи с соблюдением точной заданной длины изделий, полученных путем периодической прокатки, возникает несколько важных задач. Здесь имеет громадное значение положение рабочего, действительного радиуса валков и оси прокатки (см. первую часть). Эти величины изменяются с обжатием, с температурой штуки и вал-

ков, с их шероховатостью и с формой проекции поверхностей соприкосновения металла с валками. Если при прокатке образуется заусенец, поверхность его соприкосновения с валками также имеет значение. Вследствие же того, что заусенец обычно образуется в конце прокатки данного сечения, т. е. образуется последним, когда калибр уже выполнен, в месте выхода полосы из калибра (в плоскости, проходящей через оси валков) полоса сжимается особенно прочно и опережение ее незначительно.

Для получения нужного расстояния между одинаковыми периодами профиля, прокатчик может пользоваться следующими мероприятиями.

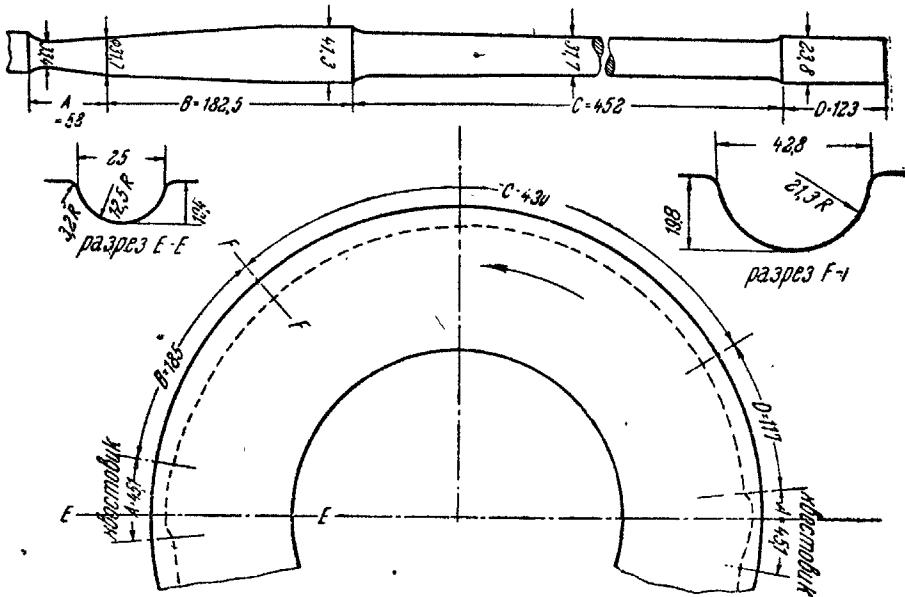


Рис. 281. Специальный периодический профиль.

1. Увеличение сечения предотделочной штуки увеличивает обжатие и опережение, при чем длина полосы увеличивается.

2. Понижение температуры штуки увеличивает опережение и удлиняет полосу. Это средство может применяться только для небольшой подрегулировки, ибо прочность металла сильно возрастает с падением температуры, и холодный металл сильно изнашивается валки. Говоря на заводском жаргоне — «холодный металл выжигает валки». При широких заусенцах эффект от такой регулировки очень мал.

3. Изменение скорости прокатки. При малых скоростях, повышение скорости увеличивает длину полосы, так же как и при обычной прокатке. При больших скоростях повышение скорости укорачивает полосу, так как валки начинают скользить в момент ускорения. Этот метод для контроля длины очень ненадежен и применять его не следует.

4. Изменение количества воды, поливающей валки. Сухие валки дают более короткую штуку вследствие скольжения их по полосе.

Пользование этим методом опасно, так как сухие валки сильнее изнашиваются и трескаются.

Все эти мероприятия способны изменить длину периода лишь в очень узких пределах, особенно при большом заусенце. Порядок их ясен из рис. 281 и табл. 25, содержащих данные о прокатке конических круглых стержней.

Таблица 25 (к рис. 281)

Температура полосы °C	Число оборотов в минуту	Средняя длина			
		A	B	C	D
970	53	57	180	455	124
810	51	57,8	181	456	123
808	37	57,8	181	456	124

При прокатке этого сечения опережение, по сравнению с путем проходящим внешними краями калибра, равно 7,52% при 970° и 7% при 810°. Из изложенного в первой части можно было бы сожидать, что при низкой температуре опережение будет больше. Это

оправдывается только в случае прокатки, без заусенцев, но в данном случае широкие заусенцы препятствуют

ют опережению. Вследствие сильной деформации, заусенец заметно горячее остальной части полосы. При холодной полосе, заусенец создает большее сопротивление деформации, и больше механической энергии превращается в тепло, так что температура заусенца почти не меняется с температурой задаваемой полосы. Разница же между опережениями 7,52% и 7,50% может быть объяснена ошибкой измерения.

При конструировании валков периодической прокатки следует иметь в виду следующее.

1. Вследствие быстрого износа валков, необходима частая их переточка. Каждая же переточка уменьшает длину окружности валков и следовательно длину периода. Таким образом изделия становятся все короче. Для некоторых изделий, например для железобетонной арматуры это не имеет значения, для других же это в известных пределах допустимо, а для третьих — недопустимо совершенно. К первым принадлежат например железнодорожные подкладки (рис. 282) и зажимы для проволоки (рис. 283). Первые являются балками равного сопротивления и служат для поддержания рельс между шпалами. При переточке валков, они выходят несколько короче нормальных, что не является большим недостатком. Новые же валки для этих подкладок калибруются для изделия длиннее нормального, что удлиняет срок его службы (увеличивает число переточек). Это же относится и к рис. 284. Здесь только надо иметь в виду, что данный зажим является парным изделием, и пары надо подбирать одной длины. Этому помогает возможность регулировки длины изделия путем изменения предотделочного сечения или температуры штукки.

При сложных профилях с узкими допусками по длине между последовательными периодами оставляется свободный промежуток (шейка), который укорачивается при каждой переточке, так что длина профилированной части ручья остается постоянной; валки

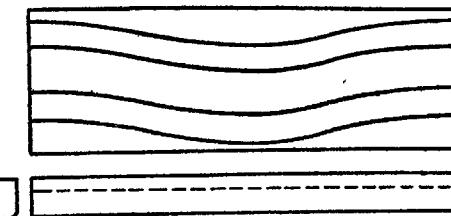


Рис. 283. Зажим для проволоки.

приходят в негодность только тогда, когда весь этот промежуток использован. Применение этого способа предполагает конечно возможность удлинения ручья. Так он неприменим для рис. 284, на

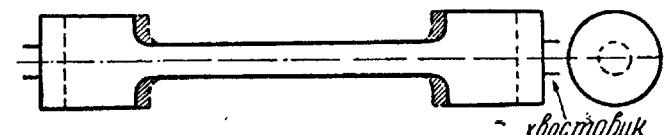


Рис. 284. Периодический профиль, допускающий изменение длины периода.

котором профиль после переточки изображен пунктиром; очевидно, что заштрихованные площадки должны были бы быть заполнены, что сделать невозможно.

2. При вычерчивании валка, профиль калибра которого имеет мелкие и глубокие углубления, длина a (рис. 285) мелкого углубления намерено делается несколько больше требуемой. При необходимости исправления, оно может быть легко произведено путем уменьшения размера a , в то время как увеличение его очевидно невыполнимо.

3. В конических частях калибра положение нейтральной линии иное, чем в цилиндрических. Для объяснения этого рассмотрим рис. 286 и 287, где изображена разница между моментом, когда сечение полосы уменьшается или увеличивается. Соответствующие цифровые данные приведены в табл. 26, значения которой дают длины полосы в направлении прокатки. Для примера параллельного, расширяющегося и суживающегося пропуска обратимся вновь к рис. 281, где первому соответствует часть D , второму — часть B и третьему — начало части C .

Строго говоря, следовало бы сравнивать горячий размер профиля с горячим же размером калибра, но гораздо удобнее измерять полосу в холодном состоянии. Так как коэффициент сжатия при охлаждении

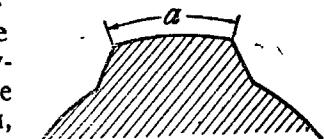


Рис. 285. Сечение периодического профиля с выступами

ждении равен около 1,5%, то фактическое укорочение в расширяющемся калибре равно всего около 0,4%, чем практически можно было бы пренебречь; однако разница между поведением полосы в

Таблица 25 (к рис. 281).

Параллельный пропуск		Расширяющийся пропуск		Сужающийся пропуск	
Калибр	Полоса	Калибр	Полоса	Калибр	Полоса
118	123	199	181	430	453
Удлинение — 5,03%		Укорочение — 2,11%		Удлинение — 5,69%	

расширяющемся и сужающемся калибре значительна и пренебрегать ею нельзя.

Калибровщик обязан учитывать эту разницу явлений в коническом калибре, направленном по направлению прокатки, или против него, и назначать новый профиль так, чтобы его легко можно было исправить дополнительной подправкой калибра после прокатки пробной штуки. При трудных случаях калибровки такой метод многократной подправки неизбежен.

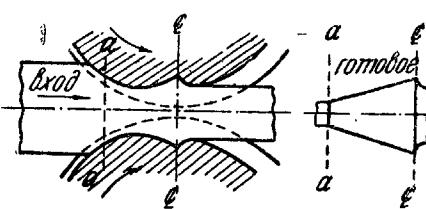


Рис. 286. Первый случай прокатки в конической части калибра.

сильно изменяется, вследствие колеблющегося соприкосновения металла с валком. Это надо учитывать при назначении глубины калибра, как показано на рис. 281 на разрезах *EE* и *FF*. Величина игры определяется по методу, изложенному, в первой части, и на основании произведенного по этому методу подсчета калибр делается несколько мельче, чем следовало бы без учета игры валков. До точных размеров калибр доводится после прокатки нескольких пробных штук.

Для обеспечения экономически выгодной периодической прокатки необходимо иметь широкий сбыт продукта, т. е. большой заказ на данные изделия; в противном случае их выгоднее производить методом горячей штамповки под молотом.

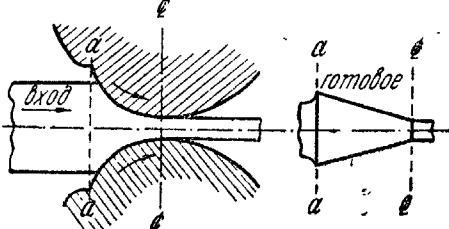


Рис. 287. Второй случай прокатки в конической части калибра.

Глава шестая

СОПРОТИВЛЕНИЯ В ПРОКАТНОМ СТАНЕ

(Расход энергии при прокатке)

Определение сопротивлений в прокатном стане, сводящееся в конечном счете к определению крутящего момента, который должен развивать двигатель, важно для определения достаточных размеров трофов, муфт, шпинделей, зубчатых передач, а также, конечно, для определения мощности парового или электрического двигателя, необходимой для прокатки данного изделия на данном стане. При освоении нового сравнительно крупного профиля, калибровщику приходится произвести полную проверку прочности всех частей стана, передающих энергию от двигателя к валкам, и определить, может ли данный двигатель развить достаточную мощность. Прежде всего конечно проверяют прочность стана и валков, и только, если она достаточна, переходят к проверке мощности двигателя.

При проверке существующих станов, нормальным ходом проверки мощности двигателя будет следующий. Если на стане прокатывается профиль подобный исследуемому, но заведомо находящийся в пределах мощности стана, и, если двигатель паровой, снимаются индикаторные диаграммы, а если электрический, то записываются показания ваттметра. Обрабатывая полученный материал и вводя поправки на коэффициент полезного действия двигателя, определяют крутящий момент, развиваемый двигателем.

Крутящий момент

$$M_{кзм} = \frac{716 N_1}{n} = \frac{975 N_2}{n},$$

где N_1 — мощность двигателя в л. с., N_2 — в киловаттах, n — число оборотов в минуту.

Если требуется проверка только мощности двигателя, то можно не определять его момента по этой формуле, но следует судить о его достаточности для заданного профиля по расходу энергии при прокатке подобного малого профиля, пользуясь изложенными ниже соображениями. Если же требуется проверка прочности зубчатых колес, валов, шпинделей, муфт или трофов, то определение крутящего момента, развиваемого при прокатке пробного профиля, необходимо, а момент при прокатке заданного сечения определяется по изложенному ниже методу.

Из первой части известно, что в прокатном стане равнодействующая всех сил, действующих между полосой и валком, проходит вертикально под прямым углом к направлению прокатки¹ и что величина ее зависит от площади проекции поверхности соприкосновения металла с валком, от состава прокатываемого металла, от его температуры, от коэффициента трения металла о валки и от скорости сжатия (интенсивности деформации). Кроме величины силы, для определения крутящего момента необходимо знать ее плечо, теоретическое и экспериментальное определение которого (рис. 288) встречает некоторые трудности.

Для практика-калибровщика мы предлагаем следующий метод. Можно предположить, что подобные профили при подобной их калибровке имеют подобные проекции поверхностей соприкосновения металла с валком, и отсюда заключить, что отношение плеча r к расстоянию a от оси валков до центра тяжести проекции соприкосновения металла с валком будет постоянно в обоих случаях. Таким образом, если отношение линейных размеров пробного и заданного профиля равно m , то отношение площадей проекций соприкосновения металла с валком равно m^2 , и отношение плеч — m . Далее, считая, что напряжение на единицу площади проекции для подобных фигур одинаково, заключаем, что отношение моментов равно m^3 . Например, если линейные размеры двух профилей относятся как 1 : 1,2, то отношение крутящих моментов при соответственных пропусках равно $1^3 : 1,2^3 = 1 : 1,73$, конечно при одинаковых калибровках и процентах обжатия.

После определения требуемого крутящего момента, поверяют прочность деталей стана и привода, пользуясь обычными методами, известными из курсов прикладной механики (деталей машин); однако поверка специальных и сложных деталей, например изображенной на рис. 289 головки шпинделя, не может быть осуществлена обычным методом. Что касается трефов (рис. 290), то обычно поверяют на скручивание площадь круга, эквивалентную площади сечения трефа; этот прием при его простоте дает достаточно близкие к истине результаты.

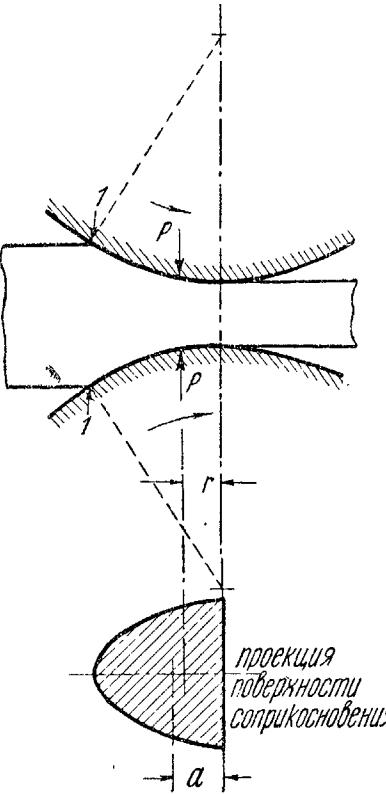


Рис. 288. Положение равнодействующей силы.

нность деталей стана и привода, пользуясь обычными методами, известными из курсов прикладной механики (деталей машин); однако поверка специальных и сложных деталей, например изображенной на рис. 289 головки шпинделя, не может быть осуществлена обычным методом. Что касается трефов (рис. 290), то обычно поверяют на скручивание площадь круга, эквивалентную площади сечения трефа; этот прием при его простоте дает достаточно близкие к истине результаты.

¹ Как уже упоминалось выше, это утверждение автора неверно. Равнодействующая сил, действующих между металлом и валком, направлена радиально (т. е. по направлению радиуса валка). Прим. ред.

При невозможности прокатать сечение, подобное заданному, или получить архивные опытные материалы о прокатке подобных сечений в аналогичных условиях, задачу приходится разрешать приближенным методом.

Нам в точности неизвестно, как распределяется давление по проекции площади соприкосновения металла с валком. При очень медленной прокатке и сравнительно большой интенсивности сжатия в районе точки 1 (рис. 288), точка приложения равнодействующей смещается с центра тяжести рисунка причем отношение $r : a$ может доходить до 1,25. При нормальной же прокатке изменение интенсивности сжатия теряет свое значение и r становится равным или почти равным a , т. е. равнодействующая проходит через центр тяжести проекции поверхности соприкосновения. При прокатке же тонких сечений, охлаждение калибра и возрастающее внутреннее трение в тонких частях приближают равнодействующую к оси валков, так что плечо r может быть равным всего 0,8 a и даже 0,75 a .

Очевидно, что колебание плеча r от 1,25 a до 0,75 a равно 0,75% среднего его значения $r = 1,00 a$, откуда следует, что неправильное его определение может привести к весьма большой ошибке в конечном выводе. Впрочем при обычных случаях калибровки r может быть принято равным a и ошибка не будет чрезмерной. В сложных же случаях пользоваться описанным выше методом совершенно необходимо, так как определение плеча r с достаточной точностью невозможно.

Даже при правильном определении силы и ее плеча, возникает затруднение при оценке величины коэффициента трения в шейках валков, во всяком случае при подшипниках обычной конструкции. В условиях нормальной работы стана, коэффициент трения шеек валков не может быть определен. Его пытались определить, прижимая валки друг к другу с известной силой и измеряя работу трения. Однако это не дало правильных результатов, так как при этом валки прижимаются друг к другу и не изгибаются

(рис. 291), в то время как при настоящей прокатке валки изгибаются и шейки опираются на подушки не всей своей длиной, но лишь углом, как на рис. 292 справа внизу. Это имеет большое значение, так как при этих условиях (рис. 292) масло выдавливается из места наибольшего давления, трение происходит всухую и коэффициент трения доходит до 30% и даже выше, в то время как опыты по рис. 291 дают его значение, равное всего от 3% до 7%.

К моменту вращения, необходимому для преодоления сопротивления прокатываемого металла и его деформации, значение которого учитывает и трение металла о валки, необходимо прибавить момент, затрачиваемый на преодоление трения в шейках валков. Этот момент равен произведению силы, сжимающей полосу (P), на

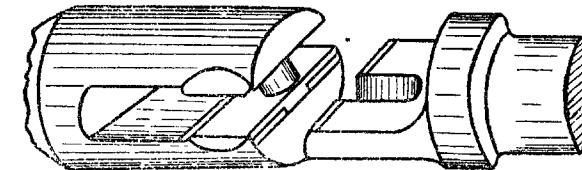


Рис. 289. Головка шпинделя.



Рис. 290. Площадь круга равновеликая площади сечения трефа.

радиус шейки (R) и на коэффициент трения (M). При шейках большого диаметра по сравнению с диаметром валков, величина трения в шейках в два или три раза превышает значение полезного крутящего момента. Это наблюдается в тонколистовых станах дуо. Именно вследствие чрезвычайного разнообразия потерь на трение, так трудно сравнение между различными станами; это сравнение возможно только при сходной их конструкции и при прокатке сходной продукции.

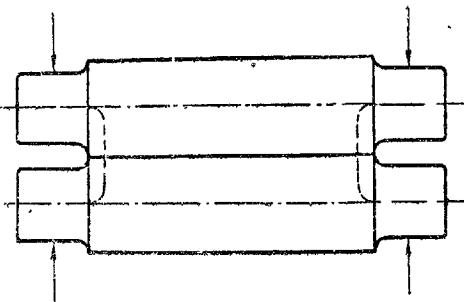


Рис. 291. Схема опыта для определения трения в шейках.

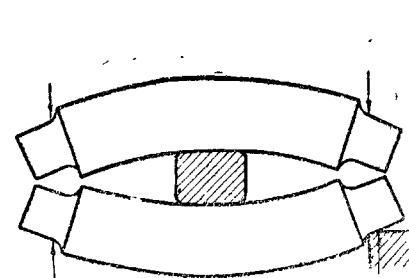


Рис. 292. Схема изгиба валков при прокатке.

Если шейки валков врачаются не в обычновенных, но в шариковых или роликовых подшипниках, то коэффициент трения шеек будет более однородным. Однако и в этом случае, вследствие прогиба валков, давление не распределяется равномерно по длине подшипника, и поэтому значение коэффициента трения несколько меняется в течение работы стана. Коэффициент трения также зависит от температуры подшипника и от его нагрузки. Коэффициент трения антифрикционного подшипника обычно принято выражать как плечо (рис. 293). Вертикальная сила P изображает нагрузку на шейку валка. При коэффициенте трения B касательная сила трения равна BP , момент ее — BPR , где R — радиус шейки. При антифрикционном же подшипнике коэффициент трения выражают через длину плеча момента b , так что момент силы трения равен Pb . При таком обозначении коэффициента трения, он должен быть выражен в единицах длины, например в сантиметрах. Для целей сравнения различных подшипников друг с другом, надо иметь в виду, что коэффициент трения, выраженный через плечо момента, равен отношению касательной силы трения к нормальному силе давления на валок, умноженному на радиус шейки. Коэффициент трения шарикового или роликового подшипника (выраженный через плечо момента) равен всего около 0,018 мм и иногда доходит до 2,5 мм, а отношение касательной силы к нормальному равно обычно от 0,001 до 0,02 и в среднем — 0,005.

Как уже сказано, момент трения шеек следует сложить с момен-

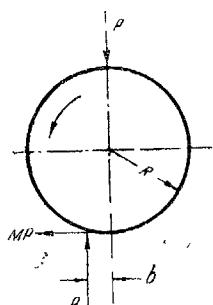


Рис. 293. Действие сил на шейку валка.

том деформации; таким образом полный крутящий момент, передаваемый шейке валка, равен:

$$M = P \cdot (A + BR) \text{ кгм},$$

где P — вертикальная сила, действующая между валками и полосой в кг.

A — плечо ее в мм,

B — коэффициент трения шеек валков, и

R — радиус шейки в мм.

Потребляемая же мощность для привода каждого валка равна:

$$N = \frac{P \cdot 2\pi n}{75 \cdot 60} \cdot (A + BR) \text{ л. с.},$$

где n — число оборотов в минуту.

Выражение $A + BR$ удобнее выражать через коэффициент трения K так, чтобы полезная энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления прокатываемого металла, но без учета трения, умноженная на коэффициент k , равнялась полному количеству энергии:

$$N = \frac{P \cdot A \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} \cdot k$$

и

$$k \cdot A = A + BR,$$

откуда

$$k = 1 + \frac{BR}{A}.$$

Из последнего соотношения очевидно, что k возрастает с уменьшением плеча действующей на валок вертикальной силы. Например, если B равно 0,07, R — 200 мм, а плечо действующей силы — 32,5 мм, то:

$$k = 1 + \frac{0,07 \cdot 200}{32,5} = 1,43,$$

т. е. полный расход энергии в 1,43 раза больше теоретически необходимого для деформации металла, или около 30% всего расхода энергии тратится на преодоление трения. При прокатке на этом же стане более тонкого профиля, с уменьшением плеча с 32,5 до 17,5 мм, значение k доходит до $1 + \frac{0,07 \cdot 200}{17,5} = 1,80$. В этом случае трение поглощает $0,80 : 1,80 = 42\%$ общего расхода энергии.

Полный расчет расхода энергии для двух конкретных примеров дан в табл. 27 и 28, из которых первая относится к прокатке полосы, причем проекция поверхности соприкосновения металла с валком представляет собой прямоугольник, и расстояние до центра тяжести его равно половине ширины проекции. В подобных случаях нет нужды вычислять положение центра тяжести; целесообразнее определить отношение плеча равнодействующей сил деформации к ширине проекции соприкосновения металла с валком. Как сказано выше, оно может быть равно от 0,35 до 0,70. Величины этого отношения и ширина проекции даны в столбцах 24 и 25 табл. 27.

Таблица 27

Определение усилий, температур и расхода энергии при про

катке ленты $760 \times 1,6$ мм из сляба $760 \times 76 \times 4260$ мм. Весом 1930 кг

1	Пропуск №	2	Толщина полосы	3	Ширина м.м.	4	Длина м.	5	Давление м.м.	6	Обжатие %	7	Диаметр валков	8	Длина проекции соприкосновения	9	Отношение длины соприкосновения (столб 8 \times столб 3) m^2	10	Площадь соприкосновения (столб 6 \times столб 3) m^2	11	Угол захвата градусы	12	Число оборотов валков в мин.	13	Скорость выхода полосы м/мин.	14	Температура входа °C	15	Время соприкосновения с валком сек.
0	76	760	4,26	1	45,7	760	7,1	2	30,7	40	405	77	1,27	590	22,3	19	24,3	1180	0,1955										
1	31,8	760	10,2	2	31,8	760	13,9	3	30,6	330	47,5	1,23	362	16,73	38	39,4	1150	0,0735											
3	19,1	760	17,1	4	9,5	760	34,2	5	50	330	45,4	1,785	345	15,9	38	39,4	1115	0,0697											
5	6,1	760	53,4	6	3,4	760	34,2	7	36	305	22,8	2,92	175	8,6	52	50	895	0,0276											
6	3,94	760	82,6	8	2,06	760	35,4	9	35,4	305	18,2	3,61	138	6,82	80	76,8	865	0,0142											
7	2,82	760	115	10	1,12	760	28,4	11	305	13,1	3,86	99,5	4,9	112	107	833	0,0073												
8	2,11	760	154	12	0,71	760	25,2	13	305	10,4	4,23	79	3,92	150	144	795	0,0044												
9	1,71	760	190	14	0,40	760	18,7	15	305	7,8	4,06	59	2,92	184	177	744	0,0027												
10	1,60	760	206	16	0,11	760	8,15	17	305	4,6	2,81	35,2	1,73	200	192	712	0,0014												

1	Из плавки	2	Повышение температуры от соприкосновения с валком °C	3	Интенсивн. обжат. (столб 2 \times столб 1) 1 сек.	4	Падение температуры от излучения °C	5	Момент для каждого вала, без учета трения шеек валков кг.м.	6	Коэффициент трения шеек валков л.с.	7	Пропуск №
17,5	—	1205	24	24,5	—	—	—	—	40,2	15350	1,20	957	0
17,3	5,3	1168	13,44	17,7	2,1	643	382	0,52	23,9	8390	1,20	1048	1
23,6	6	1139	13,55	23,5	4,2	970	354	0,50	9750	1,20	1220	2	
34	6,5	1098	23,6	60	5,7	1290	448	0,48	18,2	9980	1,20	1249	3
39	17	1163	32,4	128	8,3	1820	550	0,46	10,1	6240	1,30	1136	4
42	22	845	2,51	13	24,9	3570	495	0,43	7,8	3860	1,35	1140	5
44	17	806	1,80	11	38,9	3400	342	0,42	5,5	1870	1,40	805	6
46	14	763	1,33	10	54,3	3320	265	0,41	4,3	1110	1,50	696	7
45	12	711	1,09	8	70,5	3680	220	0,40	3,1	680	1,60	550	8
38	6	680	—	56,6	4200	153	0,39	0,43	278	1,70	256	9	10

Определение усилий, температур и расхода энергии при про

катке заготовки 63×60 мм из блума $230 \times 220 \times 2440$ мм весом 85 кг

1	Пропуск №	2	Максимальн. размсырь выход. сечения	3	Обжатие %	4	Максимальное давление м.м.	5	Минимальн. днам. метр валка м.м.	6	Площадь соприкосновения металла с валком m^2	7	Длина проекции соприкосновения с валком м.м.	8	Расст. до центра тяж. поверхн. соприкосновен. м.м.	9	Скорость выхода полосы м/мин.	10	Температура входа °C	11	Время соприкосновения с валком сек.	12	Падение температуры от излучения °C	13	Повышение температуры от соприкосновения с валком °C	14	Интенсивн. обжат. (столб 1 \times столб 15) 1 сек.	15	Падение температуры от излучения °C	16	Падение температуры от излучения °C	17	Повышение температуры от соприкосновения с валком °C	18	Литерные обозначения	19	Температура выхода о	20	Время излучения сек.	21	Сопротивление сжатию kN/m^2	22	Усилие между валком и полосой в моменте соприкосновения	23	Усилие между валком и полосой в моменте соприкосновения	24	Падение момента (столб. 16 \times столб. 24) м.м.	25	Момент для каждого вала, без учета трения шеек валков кг.м.	26	Коэффициент трения шеек валков л.с.	27	Расход мощн. необход. в шейках валков л.с.	28	Пропуск №
0,229	203,2	2,44	418	27	6,5	25,4	385	139	69	21,1	27,5	100	1130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0																				
1,203,2	203,2	2,59	391	46	11,7	25,4	396	142	70	20,7	28	104	1129	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1																					
2,178	207	2,95	345	46	13,7	28,7	410	133	75	21,1	30	107	1125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2																						
3,178	178	3,41	298	47	14,3	25,4	420	130	72,5	20,1	29	110	1175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3																						
4,152,4	181	4,00	255	43	11,6	28,7	435	120	78	21,1	31	114	1112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4																						
5,192,4	156	4,5	226	29	11,6	28,7	445	116	74	19,5	29,6	117	1110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5																						
6,127	160	5,42	187	39	17,1	25,4	445	116	74	22,0	34	120	1102	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6																						
7,127	130,5	6,50	157	30	16,2	33,3	455	109,5	85,5	22,0	34	120	1102	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7																						
8,101,6	136,5	8,05	127	30	19,2	28,7	474	95,5	73	17,9	29,4	124	1085	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8																							
9,111	109,5	8,4	121	7	4,5	25,4	460	80	76	19,2	30,3	121	1078	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9																							
10,122	140	10,0	102	19	11,3	24	452	68,4	81	20,9	32,3	132	1070	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10																							
11,113	125,5	11,8	86,5	15,5	15,2	27	459	59	78	19,8	31	133	1060	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11																							
12,101,6	121	14,7	69,4	17,1	19,5	24	472	53	69,5	17,1	27,7	138	1045	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12																							
13,92,1	106,5	17,5	58,2	11,2	16,2	28,5	480	53,6	81,8	19,9	32,8	140	1035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13																							
14,82,5	98	21,8	46,8	11,4	19,3	24	492	46,2	76	17,9	30,4	140	1020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14																							
15,82,5	89	22,4	45,6	1,2	2,7	19	490	33,5	62	14,7	25	140	1005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15																							

Примечания: 1. Число оборотов стана — 83,5 в минуту.

2. Пропуска № 10 — 15 включительно являются диагональными

и таблица дает диагональные размеры сечения.

Столбец 27 дает значения коэффициента трения в шейках валков применительно к антифрикционным подшипникам. Значения расхода энергии столбца 28 не учитывают потерь в шестернях, приводе и самом двигателе и должны быть поделены на общий коэффициент полезного действия этих механизмов, что дает полный расход энергии двигателем стана.

Столбцы 14—20 дают изменение температуры полосы при прокатке. Они подсчитаны по формулам, приведенным в первой части.

Табл. 28 является примером исследования процесса прокатки заготовки. Температуры и усилия определяются аналогично предыдущему примеру; значения крутящего момента определяют, задаваясь отношением плеча момента к расстоянию до центра тяжести проекции соприкосновения. Значения коэффициента трения шеек валков и расхода энергии даны в столбцах 28 и 29 и основаны на применении обыкновенных подшипников, с коэффициентом трения 0,07.

Табл. 27 и 28 даны здесь как примеры разрешения вопросов, с которыми приходится сталкиваться калибровщику прокатных валков, — ему приходится определять промежуточные и окончательную температуры полосы и расходы энергии в каждом пропуске.

Таким образом собственно калибровкой, т. е. определением формы и размеров ручьев, не заканчиваются функции калибровщика, так как возможность практического применения калибровки должна быть проверена для данного стана сопоставлением с его прочностью и мощностью двигателя. Однако полученные расчетом результаты проверки должны быть обязательно проверены и на опыте, так как расчеты наши основываются на коэффициентах, значения которых иногда резко изменяются даже при слабом изменении условий прокатки. Поэтому результаты расчетов следует рассматривать только как первое приближение к истине.

Расход энергии в прокатке часто выражается в киловаттчасах на тонну. Такое выражение расхода энергии имеет значение в частности для определения себестоимости, для калибровщика же оно интересно только тем, что он может определить из него потребную мощность. При этом окружная скорость валков принимается за скорость выхода полосы.

Отв. редактор Л. С. Гельберман.

Техн. редактор Е. Г. Дорфман.

Изд. № 61/д. Индекс МЧ-55-5-3. Тираж 4 000. Сдано в набор 2/X 1934 г. Подписано в печать 7/I 1935 г. Формат бумаги 62 × 94. Авторск. л. 10. Бум. л. 4¹/₄. + 6 вклейк. Печатных знаков в бумажном листе 101 000. Заказ № 1256. Ленгорлит № 35665. Выход в свет январь 1935 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.