

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

А. П. Чекмарев, М. С. Мутьев, Р. А. Машковцев

# КАЛИБРОВКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Днепропетровск  
1965

1966 г. Днепропетр. обл. кц. тип. Зак. № 1622-м-18

## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
<b>Введение .....</b>	<b>I</b>
<b>Глава I. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА УГОЛОВОЙ СТАЛИ.</b>	
1. Существующие способы прокатки и калибровки угловой стали .....	2
2. Методы расчета калибровки уголка.....	4
3. Примерный расчет калибровки равнобокого уголка № 10 .....	21
4. Примерный расчет калибровки неравнобокого уголка № 12, 5/8.....	33
5. Заводские калибровки угловой стали.....	45
<b>Глава II. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК.</b>	
1. Стами для прокатки фасонных профилей ...	50
2. Особенности прокатки и калибровки двутавровых балок.....	67
3. Основы калибровки двутавровых балок.....	74
4. Примерный расчет калибровки балки № 24..	89
5. Заводские калибровки двутавровых балок..	98
<b>Глава III. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ИВЕЛЛЕРОВ.</b>	
1. Методы прокатки и калибровки ивеллеров..	102
2. Основы расчета калибровки ивеллеров.....	104
3. Примерный расчет калибровки ивеллера № 24	107
<b>Глава IV. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ.</b>	
1. Способы прокатки железнодорожных рельсов	124
2. Методы расчета калибровки железнодорожных рельсов.....	131
3. Заводские калибровки железнодорожных рельсов.....	139
<b>Глава V. ОСОБЕННОСТИ ПРОКАТКИ И КАЛИБРОВКИ РАЗЛИЧНЫХ СЛОМЫХ ПРОФИЛЕЙ.</b>	
1. Прокатка и калибровка зетовой стали.....	142
2. Прокатка и калибровка оконнорамных профилей.....	143

стр.

3. Прокатка и калибровка автосбода . . . . .	144
4. Прокатка и калибровка бортового кольца . . .	147
5. Прокатка и калибровка подкладки для железнодорожных рельсов . . . . .	149
6. Прокатка и калибровка накладки изолирующих стыков к железнодорожным рельсам . . . . .	150
7. Прокатка и калибровка полособульбовых профилей . . . . .	151
8. Прокатка и калибровка лемашной полосы . . . .	152
9. Прокатка и калибровка тавровых профилей . . .	153
10. Прокатка и калибровка шпунтовых свай . . . .	156
11. Продольная прокатка периодических профилей . .	157
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	160

В В Е Д Е Н И Е

В первой части пособия [1] изложены методы расчета калибровки простых профилей: режим обкатки на бломинге, калибровка непрерывных заготовочных станов, обжимных станов тро, калибровка круглой, квадратной и полосовой стали.

В настоящем пособии представлены расчеты по калибровке фасонных профилей: угловой стали, двутавровой балки, ивеллера, железнодорожных рельсов и других профилей.

В соответствии с программой спецкурса для студентов специальности "Обработка металлов давлением" расчеты по калибровке угловой стали, двутавровой балки и ивеллера как наиболее распространенных фасонных профилей выполняются студентами в виде домашних заданий, поэтому расчеты для этих профилей в пособии излагаются более подробно.

Что касается калибровки других фасонных профилей /железнодорожных рельсов и других смежных профилей/, то примерные расчеты для них здесь не приводятся, а даются лишь общие принципы калибровки с ссылкой на литературу, в которой подробно изложены соответствующие расчеты.

В настоящем пособии рассмотрены различные методы расчета калибровок, предложенные советскими авторами, однако подробно представлены те методы, которые авторы излагают в своих лекциях по калибровке.

В конце пособия приведена литература по калибровке различных фасонных профилей. При выполнении дипломного проекта или при более глубоком изучении вопросов калибровки приведенная литература поможет студентам самостоятельно прорабатывать эти материалы.

## Глава 1. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА УГЛОВОЙ СТАЛИ

### 1. Существующие способы прокатки и калибровки угловой стали

Согласно государственным стандартам /2/ сталь прокатная угловая равнобокая по ГОСТ 8509-57 прокатывается на заводах от № 2 до № 25<sup>X/</sup>. Минимальная толщина полки составляет 3 мм для уголков № 2; 2,5; 3; 3,2; 3,6; 4; 4,5 и 5.

Крупные уголки, например, № 20 и 25 имеют максимальную толщину 30 мм. Каждый номер уголка имеет два, три, четыре и большие размеров по толщине. Например, уголок № 10 имеет по толщине 7 размеров: 6,5; 7; 8; 10; 12; 14 и 16 мм.

В ГОСТ указываются допускаемые отклонения по размерам профилей. Например, уголки № 10-14 имеют допускаемые отклонения по ширине полки  $\pm 2$  мм, по толщине  $\pm 0,60$  и  $\pm 0,65$  мм. Длина поставляемых профилей колеблется в широких пределах от 4 до 19 м.

Сталь прокатная угловая неравнобокая прокатывается по ГОСТ 8510-57 от № 2,5/1,6 до 25/15<sup>XX/</sup>. Минимальная толщина полок 3 мм, максимальная 20 мм. Для одного номера неравнобокого уголка также имеется несколько размеров по толщине.

Допускаемые отклонения по ширине полки составляют от  $\pm 1,0$  мм /для малых номеров/ до  $\pm 4,0$  мм /для крупных номеров/ по толщине полки отклонения составляют от  $\pm 0,40$  до  $\pm 0,70$  мм. Длина готовых уголков колеблется от 4 до 19 м.

<sup>X/</sup> Номер указывает размер полок в сантиметрах.

<sup>XX/</sup> Номер указывает размеры большой и малой полок в сантиметрах.

Угловая сталь прокатывается на станах линейных  $D=280\text{--}800$  мм/, зигзагообразных  $D=500$  и 300 мм/, шахматных  $D=350$  мм/, полуунепрерывных  $D=250$  мм/ и непрерывных  $D=250$ ; 300 и 350 мм/.

Этот профиль имеет очень широкое применение в железных конструкциях, машиностроении и т.д.

Существуют следующие основные способы прокатки и калибровки угловой стали [3]:

- 1/ прокатка с прямыми полками;
- 2/ прокатка с развернутыми полками в закрытых калибрах;
- 3/ прокатка в открытых калибрах;
- 4/ прокатка на непрерывных станах.

На рис. 1 представлены указанные основные способы прокатки уголка.

Прокатка уголка с прямыми полками /рис. 1, а/ является наиболее старым способом и в настоящее время почти не применяется. Недостатком прокатки и калибровки уголка с прямыми полками является наличие больших врезов в валки и, следовательно, большая разность катящих диаметров. Это приводит к ослаблению валков, увеличению расхода энергии, износу валков, возникновению напряжений в профиле и т.д. Из-за указанных недостатков приходится увеличивать число проходов, что вызывает снижение производительности прокатных станов.

Второй способ прокатки уголка с развернутыми полками в закрытых калибрах /рис. 1, б/ получил широкое применение. Благодаря изогнутым полкам врез калибров значительно уменьшается, можно применять более интенсивные обкатки при меньшем числе проходов, что обеспечивает более высокую производительность.

Третий способ прокатки уголка заключается в том, что черновые калибры делаются открытыми со свободным уширением /рис.1,в/. Это дает возможность в одних и тех же черновых калибрах вести прокатку уголков разных размеров по ширине и толщине полок. Такая калибровка обеспечивает меньший парк валков, более простую переточку валков, интенсивное обжатие и меньшее число проходов. Для обеспечения точных размеров предчистовой калибр делается закрытым.

Наконец, четвертый способ прокатки уголка /рис.1,г/ применяется на непрерывных станах и характеризуется тем, что прокатка ведется со свободным уширением, угол  $90^{\circ}$  у вершины образуется уже в первых калибрах, по мере прокатки происходит сгибание полок. Точность размеров полок обеспечивается прокаткой в вертикальных валках. Более подробно эта калибровка будет рассмотрена ниже при рассмотрении заводских калибровок.

За последнее время появились и другие способы прокатки уголка, например, диагональная калибровка /рис.1,д/ или пластовая калибровка, о которой также будет сказано дальше.

## 2. Методы расчета калибровки уголка

Методы расчета калибровки угловой стали разработали советские авторы: А.П.Чекмарев [4], Д.И.Старченко [5,10], Б.П.Бахтинов [3,6], М.М.Штернов [7,12], В.С.Смирнов, К.Н.Богоявленский, Н.Н.Шевлов [8], Б.В.Мерекин [9], Н.В.Литовченко [10] и др.

При разработке калибровки уголка по тому или иному способу приходится решать следующие вопросы:

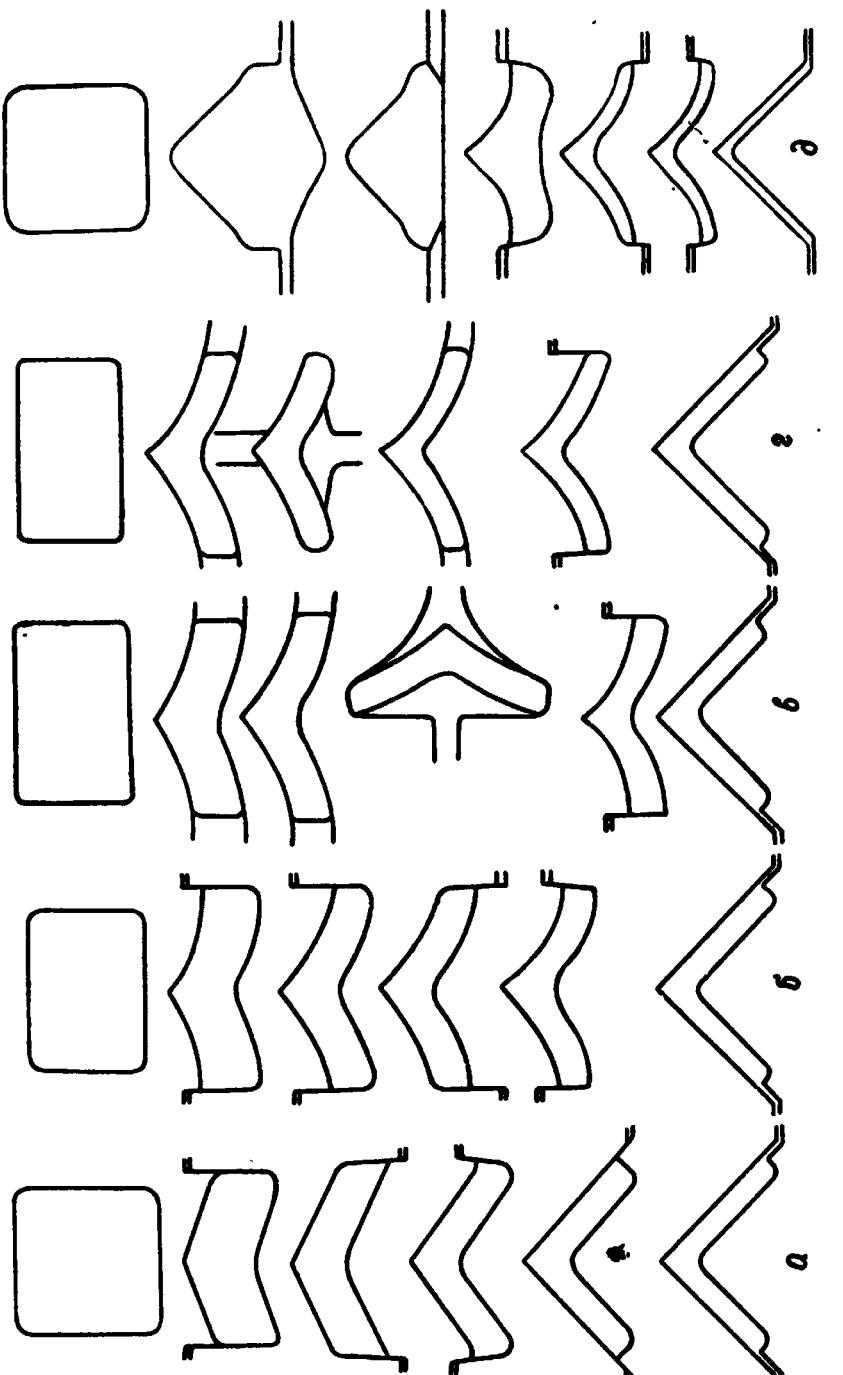


Рис. 1 Схема прокатки угловой стали.

1/ выбор числа проходов и величины коэффициентов уменьшения толщины полок по проходам; 2/ расчет уширения полок; 3/ определение углов закрытия по проходам; 4/ построение калибров с развернутыми полками; 5/ определение ширины /горизонтальной проекции/ калибров; 6/ определение радиусов закругления у вершины и у края полок; 7/ определение нейтральной линии калибра.

Рассмотрим ниже каждый из этих вопросов.

#### 1/ Выбор числа проходов и величины коэффициентов уменьшения толщины полок по проходам

При прокатке уголка обычно принимают 5 или 6 фасонных калибров. Исходная заготовка имеет прямоугольное или квадратное сечение. В отдельных случаях при прокатке мелких уголков на стане с достаточно большим диаметром валков можно иметь 4 фасонных калибра. С другой стороны, крупные уголки прокатываются за 7-8 проходов.

В наших расчетах будем принимать 5 проходов для уголков до № 10 и 6 проходов для более крупных уголков.

При выборе коэффициентов уменьшения толщины полок по проходам можно руководствоваться таблицей коэффициентов, приведенной в первой части пособия [1].

Если принять средний режим работы, то получим следующие коэффициенты по ходу прокатки

для 5 проходов: 1,6 . 1,6 . 1,6 . 1,45 . 1,25 = 7,41;

для 6 проходов: 1,6 . 1,6 . 1,6 . 1,6 . 1,45 . 1,25 = 11,9.

В соответствии с имеющейся высотой заготовки эти коэффициенты можно скорректировать. Выбор коэффициентов уменьшения толщины зависит также от конкретных условий прокатного стана

/диаметра валков, мощности двигателя, условия нагрева, наличия заготовки определенных размеров и т.п./.

Величины коэффициентов, рекомендуемые различными авторами /3,5,7/, находятся примерно в этих пределах.

Опыт работы завода им.Дзержинского и других заводов показывает, что для мелких уголков можно применять более интенсивный режим обкатки. Например, при прокатке в 4-х калибрах: 1,8 . 1,7 . 1,5 . 1,3 = 5,97 ;  
в 5 калибрах: 1,8 . 1,8 . 1,7 . 1,5 . 1,3 = 10,7.

Общий коэффициент уменьшения толщины полок достаточно иметь в пределах  $P = 6 \div 10$ . Остальные калибры применяются прямоугольной формы.

В первых по ходу прокатки фасонных калибрах следует проверить угол захвата, который не должен превышать допустимых значений в зависимости от скорости валков / см.график, рис.2/.

#### 2/ Расчет уширения полок

При расчете уширения полок необходимо учитывать два фактора - ограничение уширения в случае прокатки в закрытых калибрах и особенности деформации полок, сопровождающей их сгибом /закрытием угла/ при прокатке.

Можно принимать коэффициент ограничения уширения  $K = 0,7 + 0,8$ .

Следовательно, по формуле А.П.Чекмарева уширение равно:

$$\Delta b = \frac{2b_{cp} \Delta h K}{(H+h)[1+(1+\alpha)(\frac{R_s}{R_d})^m]} ,$$

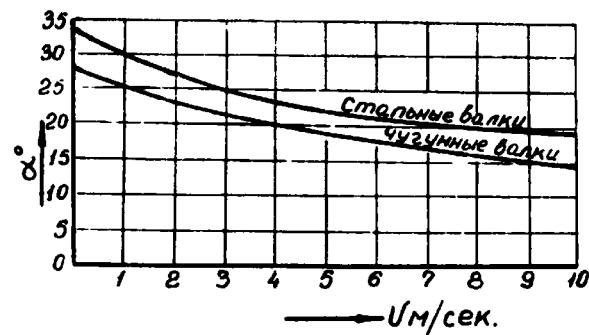


Рис. 2 График зависимости коэффициента трения от скорости прокатки .

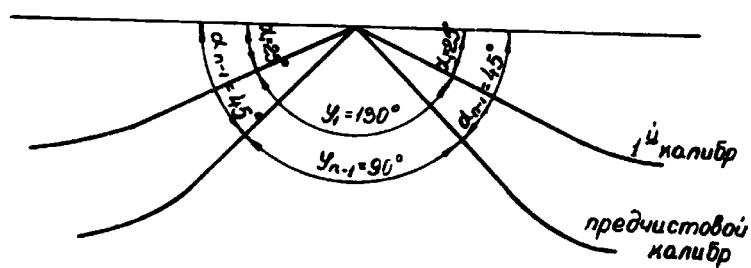


Рис. 3 Углы сгиба полок.

где  $K' = 0,7 \div 0,8$  ;

$b_{cp} = 2b$  - ширина двух полок равнобокого уголка, считая по средней оси.

При прокатке неравнобокого уголка  $b_{cp} = b_m + b_b$  , т.е.  $b_{cp}$  равна сумме малой и большой полок.

Длина полки по средней оси равна

$$b_n = b - 0,5h,$$

где  $b_n$  - длина наружной полки;  $h$  - толщина полки.

Если прокатка ведется в свободных калибрах / рис.1,в/, то для всех калибров принимаем  $K=1$ .

При расчете уширения следует также учитывать особенности деформации в калибрах, когда полки изогнуты под определенным углом.

По указанной формуле определяется уширение при прокатке не изогнутой полосы. Для уголка с полками, расположенными под углом, уширение будет больше, так как при значительном наклоне каждая полка уширяется как бы самостоятельно.

На основе практических данных необходимо рассчитанное по формуле уширение увеличить, пользуясь поправочным коэффициентом  $K''$  для учета наклона полок, т.е. угла у вершины  $\alpha$ .

Поправочный коэффициент  $K''$  в чистовом калибре равен  $K''_n=2$ , в первом фасонном калибре его можно принять  $K'' \approx 1,2$ , в промежуточных калибрах значение  $K''$  находится между указанными величинами.

При прокатке уголка в 5 калибрах произведение  $K'K''$  при

$K' \approx 0,8$  будет равно

$$K' \cdot K'' = 0,8 \cdot 1,2 = 1,0;$$

$$K'_2 \cdot K''_1 = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2;$$

$$K'_3 \cdot K''_2 = 0,8 \cdot 1,7 = 1,4;$$

$$K'_4 \cdot K''_3 = 0,8 \cdot 1,9 = 1,5;$$

$$K'_5 \cdot K''_4 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ /свободное уширение/.}$$

Таким образом, уширение, рассчитанное как свободное, должно быть увеличено путем умножения на указанные поправочные коэффициенты.

И.М. Штернов [7] предлагает график увеличения уширения в зависимости от угла  $\varphi$  между полками. Характер изменения коэффициента  $K''$  по графику получается примерно такой, как в приведенных выше данных.

### 3/ Определение углов сгиба между полками по отдельным калибрам

В соответствии с практикой калибровки и рекомендацией большинства авторов [3, 5, 7] угол у вершины в предчистовом и чистовом калибрах равен  $\varphi = 90^\circ$ .

В первом фасонном калибре принимаем  $\varphi = 130^\circ$ . Эта величина отвечает данным заводских калибровок [4] и обеспечивает получение правильной ширины /горизонтальной проекции/ по отдельным калибрам / рис. 3/.

В промежуточных калибрах угол  $\varphi$  уменьшается постепенно от  $\varphi = 130^\circ$  до  $\varphi = 90^\circ$  в чистовом калибре.

Уменьшение угла  $\varphi$  рассчитываем пропорционально величинам обжатия полок в отдельных калибрах.

Если суммарное обжатие в промежуточных калибрах, начиная от 2-го до  $n-1$ -го равна  $\sum \Delta h$ , а уменьшения угла

$\varphi$  равен  $\sum \Delta \varphi = 130^\circ - 90^\circ = 40^\circ$ , то в отдельных калибрах будут следующие величины угла  $\varphi$  при 5 проходах:

$$\varphi_1 = 130^\circ;$$

$$\varphi_2 = 130^\circ - \Delta \varphi_1 = 130^\circ - \frac{\sum \Delta \varphi}{\sum \Delta h} \Delta h_1;$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 - \Delta \varphi_2 = \varphi_2 - \frac{\sum \Delta \varphi}{\sum \Delta h} \Delta h_2;$$

$$\varphi_4 = 90^\circ;$$

$$\varphi_5 = 90^\circ.$$

Углы сгиба следует округлить до целых градусов. Графический метод определения углов сгиба прост и отражает условия деформации в калибрах – чем больше обжатие, тем интенсивнее можно давать сгиб полок.

### 4/ Построение калибров с развернутыми полками

Одним из основных условий для правильной калибровки является построение калибров с развернутыми полками, начиная от предчистового, и выбор параметров для их построения, обеспечивающих лучшие условия деформации металла и службы валков.

Как видно из рис. 4, такими параметрами являются: длина прямого участка полки  $b'$ , радиус очертания /изгиба/, разворота/ полок  $R$ , высота вреза калибра в валки  $H$ , ширина /горизонтальная проекция/ калибра  $B=2X$ .

Чем больше прямой участок полки  $b'$ , тем легче задавать полосу в чистовой калибр и легче идет выпрямление полок.

Радиус очертания  $R$  характеризует кривизну /изгиб/ полок. Чем больше  $R$ , тем более плавный изгиб полки, обеспечивающий лучшее качество поверхности уголка без морщин и складок.

Глубина вреза  $H$  определяется исходя из прочности валков и их диаметра. Чем меньше диаметр валка, тем меньшую величину  $H$  следует принимать.

Важное значение имеет также правильный выбор ширины калибра  $B$  и расстояние от середины ширины калибра до центра радиуса  $R$  /рис.4/. Ширина калибра  $B$  и значение  $X$  должны выбираться так, чтобы было обеспечено удобная задача полосы в калибр, т.е. ширина калибра должна быть несколько больше ширины задаваемой полосы.

Указанные параметры  $b', R, H, X$  связаны между собой геометрическими зависимостями, которые нетрудно вывести.

Ниже приводим некоторые формулы зависимостей для указанных параметров /рис.4/, которые необходимы нам для дальнейших расчетов:

$$1/ \alpha = 90^\circ - 0.5\psi;$$

$$2/ R = \frac{b - b'}{\alpha_{\text{рад}}} \frac{b - b'}{0.01745\alpha} ;$$

$$3/ X = b' \cos \alpha + R \sin \alpha - 0.5B ;$$

$$4/ H = b' \sin \alpha + R(1 - \cos \alpha) ;$$

$$5/ R = \frac{X}{\sin \alpha} - \frac{b'}{\tan \alpha} ;$$

$$6/ X = H \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} - b' .$$

Если угол у вершины для предчистового калибра равен  $\psi = 90^\circ$ , то для равнобокого уголка получим следующие значения указанных параметров:

$$1/ \alpha = 45^\circ ;$$

$$2/ R = \frac{b - b'}{0.785} = 1.275 /b - b'/ ;$$

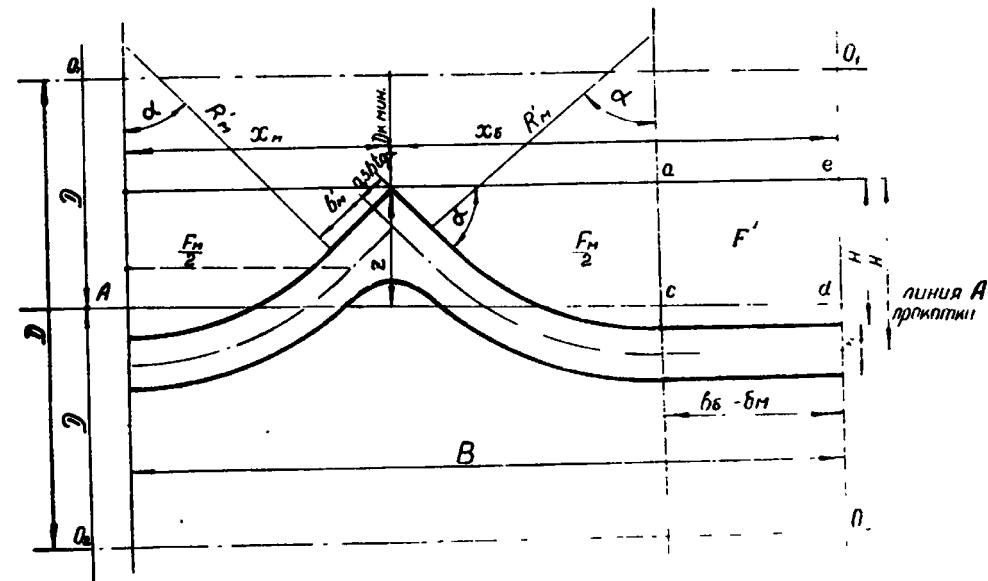


Рис.4 Основные параметры при построении калибра.

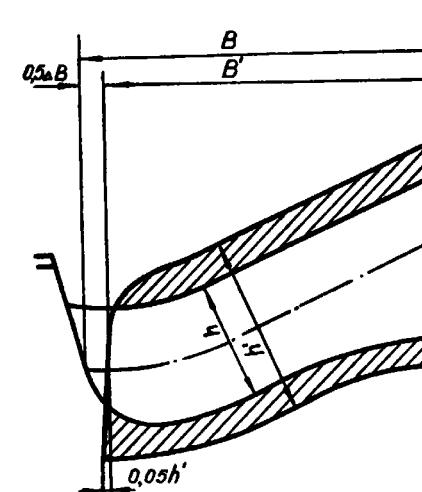


Рис.5 Приращение ширины калибра

$$3/ X = 0,707 b' + 0,707 R = 0,5 B;$$

$$4/ H = 0,707 b' + 0,293 R;$$

$$5/ R = 1,414 X - b';$$

$$6/ X = 2,414 H - b'.$$

Отдельные авторы в своих методах расчета построения предчистового калибра задаются двумя параметрами и находят остальные. Например, Б.П.Бахтинов<sup>x/</sup> и М.И.Штернов / 2,6 / задаются величиной  $H$  и  $R$  и находят затем  $X$  и  $B$ .

М.И.Штернов рекомендует брать для равнобоких уголков  $b'$ .

$$H = 0,4 + 0,45 / b';$$

$$R = 1,0 + 0,95 / b' - \text{const}$$

Для неравнобоких уголков

$$H = 0,4 + 0,45 / \frac{b_n + b_{an}}{2};$$

$$R_n = 1 + 1,1 / l_n - \text{const};$$

$$R_{an} = 0,7 + 0,8 / l_{an} - \text{const}.$$

В предлагаемой нами методике расчета в основу построения калибров с изогнутыми полками взята величина прямого участка  $b'$ , которая может изменяться в пределах

$$b' = 0,20 + 0,6 / b,$$

где  $b$  - длина полки, по средней линии.

Задаваясь величиной  $b'$ , можно определить по приведенным выше формулам величину радиуса изгиба  $R$ , высоту вреза  $H$ , ширину калибра  $B = 2X$ .

<sup>x/</sup> При построении предчистового калибра Б.П.Бахтинов принимает величины для  $H$  и  $R$  не от средней оси полки, а от ее верхней грани.

В таблице 1 приводятся данные определения  $R, H, X, B$  в зависимости от величины  $b'$  для предчистового калибра равнобокого уголка при  $\alpha = 45^\circ$ .

Таблица 1

Значение  $R, H, X, B$  в долях  $b_{n-1}$  в зависимости от величины прямого участка  $b_{n-1}$  для предчистового калибра

$\frac{b'}{b_{n-1}}$	$\frac{R_{n-1}}{b_{n-1}}$	$\frac{H_{n-1}}{b_{n-1}}$	$\frac{X_{n-1}}{b_{n-1}}$	$\frac{B_{n-1}}{b_{n-1}}$
0,20	1,020	0,440	0,861	1,722
0,25	0,955	0,457	0,852	1,704
0,30	0,893	0,473	0,842	1,684
0,35	0,827	0,489	0,830	1,660
0,40	0,764	0,507	0,823	1,646
0,45	0,701	0,523	0,810	1,620
0,50	0,637	0,541	0,803	1,606

Как видно из табл.1, при заданном значении прямого участка  $b_{n-1}'$  все остальные параметры определяются по приведенным выше формулам. При большом значении параметра  $b_{n-1}'$  /напр., 0,50  $b_{n-1}$ / радиус изгиба  $R_{n-1}$  уменьшается, а высота вреза  $H_{n-1}$  увеличивается. В связи с этим уменьшается полная ширина калибра, что затрудняет установление соответствующих ширин предыдущих калибров.

Учитывая выбор ширины калибров, постепенно уменьшающихся от предчистового, к первому калибру, принимаем прямой участок в пределах  $b_{n-1}' = 0,2 + 0,40 / b_{n-1}$ , соответственно получаем следующие значения для других параметров уголка:

$$\begin{aligned} R_{n-1} &= 1,02 + 0,764 / b_{n-1} ; \\ H_{n-1} &= 0,440 + 0,507 / b_{n-1} ; \\ X_{n-1} &= 0,861 + 0,823 / b_{n-1} ; \\ B_{n-1} &= 1,992 + 1,646 / b_{n-1} - 2X_{n-1} . \end{aligned}$$

При построении калибров для мелких и средних равнобоких уголков принимаем, что весь отрезок изгибается по радиусу, равному

$$R = \frac{b - b'}{0,01745 \alpha}$$

Калибры для крупных уголков /примерно от № 16/ имеют горизонтальный участок конца полки, что увеличивает ширину калибра. В калибрах для неравнобоких уголков большая полка всегда имеет горизонтальный участок.

##### 5/ Определение ширины /горизонтальной проекции/ и остальных параметров черновых калибров.

Ширина предчистового калибра определяется по приведенным формулам /см. таблицу 1/ и должна быть достаточна, чтобы обеспечить нормальную задачу полосы в калибре.

Каждый предыдущий калибр /считая по ходу прокатки/ должен быть несколько уже последующего. Величину уменьшения ширины калибра можно определить из величины выпусков /уклонов/ боковых стенок калибра /рис.5/.

Принимая уклоны около 10%, можно принимать уменьшение ширины калибра примерно на  $0,1 h'$ , где  $h'$  высота задаваемой полосы [4]. Другие авторы [7] принимают меньшие значения для уменьшения ширины калибров.

В наших расчетах будем принимать каждый предыдущий калибр на 1+2 мм уже последующего.

$$B' = B - (1 \div 2) \text{мм},$$

где  $B'$  - ширина предыдущего калибра;

$B$  - ширина следующего по ходу прокатки калибра.

Следует отметить, что ширину калибра необходимо вычислять с шириной полок, получаемой на основе расчета /шарнир/, углом сгиба полок  $\varphi$  и величиной прямого и изогнутого участка  $b'$  и  $b-b'$ .

Чем больше угол  $\varphi$ , тем при прочих равных условиях шире будет калибр, что можно видеть из сопоставления предчистового и первого калибров.

Согласно приведенным формулам ширина калибра равна

$$B = 2X - 2b' \cos \alpha + 2R \sin \alpha - 2b' \cos \alpha + 2 \frac{b-b'}{0,01745 \alpha} \sin \alpha,$$

где  $\alpha = 90^\circ - 0,5\varphi^\circ$ .

В предчистовом калибре при  $\varphi = 90^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  ширина калибра равна / см.табл.1/

$$\begin{aligned} B_{n-1} &= 2,1,414 b'_{n-1} + 2,1,414 R_{n-1} = 2,1,114 + 2,1,18 /b_{n-1} - b'_{n-1} = \\ &= 2,1,800 b'_{n-1} - 2 \cdot 0,386 b_{n-1} , \end{aligned}$$

где  $b'_{n-1}$  - величина прямого участка полки;

$b_{n-1}$  - ширина всей полки;

$$R_{n-1} = \frac{b_{n-1} - b'_{n-1}}{0,785} - \text{радиус изгиба полки.}$$

В первом черновом калибре при  $\varphi = 130^\circ$  и  $\alpha = 25^\circ$  ширина калибра равна

$$B_1 = 2,0,906 b_1 + 2,0,423 R_1 = 1,312 b_1 + 0,846 R_1 = 1,94 b_1 - 0,111 b_1$$

$$\text{где } R_1 = \frac{b_1 - b'_1}{0,436} .$$

Если принять прямой участок  $b' = 0,40b$ , то  $B_{n-1} = 1,646b_{n-1}$   
а  $B_n = 1,889b$ .

Ширина полки в первом калибре меньше ширины полки в предчистовом калибре на величину уширения, но не настолько, чтобы ширина первого калибра получилась меньше ширины предчистового калибра  $B_{n-1}$ , особенно для крупных номеров уголка.

Чтобы ширина калибров, считая по ходу прокатки, увеличилась, необходимо при конструировании предчистового калибра брать меньшую величину прямого участка  $b'_{n-1}$ , соответственно чему будет увеличиваться изогнутый участок и вся ширина предчистового калибра. С другой стороны, необходимо в первом калибре принимать прямой участок больше, например,  $b \approx 0,5b$ , что даст меньшую ширину первого калибра. Таким способом можно обеспечить постепенное увеличение ширины калибров по ходу прокатки. В предчистовом калибре следует принимать прямой участок, равный  $b'_{n-1} = /0,2 + 0,4 / b_{n-1}$ .

После установления ширины калибров с учетом увеличения их по ходу прокатки находим параметры для промежуточных черновых калибров пользуясь формулой

$$0,5B - x = b' \cos \alpha + \frac{b - b'}{0,01745 \alpha} \sin \alpha,$$

откуда определяем прямой участок  $b'$  для данного калибра.

$$b' = \frac{b \frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha} - 0,5B}{\frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha} - \cos \alpha};$$

радиус очертания полок

$$R = \frac{b - b'}{0,01745 \alpha};$$

высоту вреза калибра

$$H = b' \sin \alpha + R(1 - \cos \alpha)$$

Так как в первом калибре нами принимается угол  $\gamma = 130^\circ$  и угол  $\alpha = 25^\circ$ , то для первого калибра получим следующие формулы:

$$b' = \frac{b, \frac{0,423}{0,436} - 0,5 B,}{\frac{0,423}{0,436} - 0,906} = 15,6 / 0,97 b, - 0,5 B, /;$$

$$R, = \frac{b, - b'}{0,436} = 2,29 / b, - b' /;$$

$$H, = 0,423 b, + 0,094 R,$$

Сначала зададимся в предчистовом калибре  $b'_{n-1} \approx 0,3 b_{n-1}$ , определим его ширину и ширину первого калибра. Если по приведенным формулам прямой участок  $b'$  получится очень большим /например  $b' > 0,6 b$ ,/, то сделаем пересчет предчистового калибра, приняв  $b'_{n-1} = /0,2 + 0,25 / b_{n-1}$ .

При расчетах калибровки крупных уголков, например, № 16+25 возможны случаи, когда ширина предчистового калибра при

$b'_{n-1} = 0,2 b_{n-1}$  получится все же недостаточной по сравнению с предыдущими калибрами.

В этом случае можно сделать первый и второй калибры более узкими, если край изогнутой части полки не выйдет на горизонтальную линию /рис. 6/. Если принять  $b' = /0,6 + 0,7 /$ , то скорректированный радиус изгиба полок  $R'$  следует принять

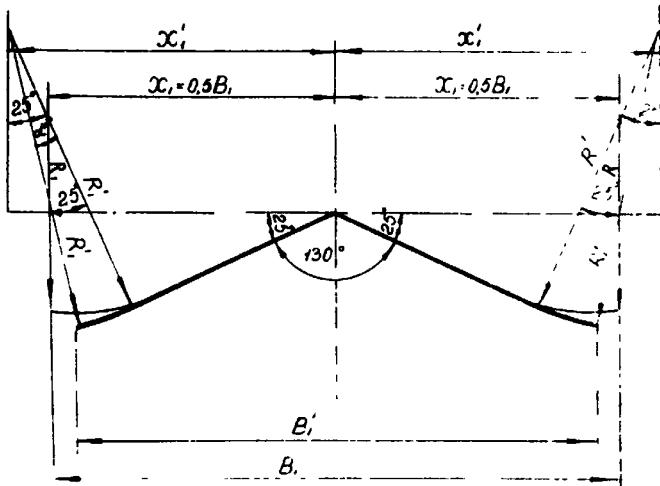


Рис.6 Построение первого калибра

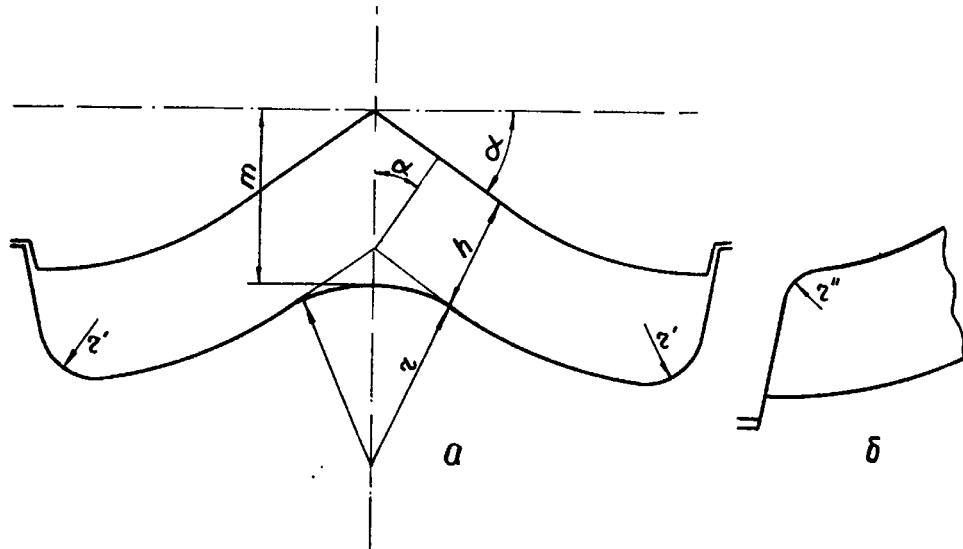


Рис.7 Радиусы закругления в калибре

больше  $R$ ,

$$R'_i > R_i = \frac{10,4 + 0,3}{\alpha_{ped}} = \frac{10,4 + 0,3}{0,436} = 10,916 \approx 10,7 / \beta, \quad ,$$

где  $\alpha_{\text{под}} = 0,436$  - угол наклона полки в первом калибре в радианах соответственно  $\alpha = 25^\circ$ .

Тогда скорректированная ширина первого калибра  $B'$ , будет меньше  $B$ .

$$B' = R \cos 25^\circ + R \sin 25^\circ - R \sin(25 - \alpha^\circ) < B.$$

$$e \partial e \quad \alpha := \frac{b - b'}{R} 57,3.$$

Аналогичную корректировку в случае необходимости можно применить и для второго калибра.

При выборе ширины заготовки исходим из ширины первого калибра, причем берем небольшой простор на уширение в пределах 2-10 мм для лучшего центрирования заготовки. Уширение подсчитываем исходя из толщины полки и толщины заготовки, однако выбором соответствующего ограничения уширения устанавливаем ширину заготовки с небольшим простором на уширение.

#### 6/ Определение радиусов закругления у вершины и у края полок

Радиус закругления у вершины должен обеспечить хорошее заполнение угла, для чего вытяжку в вершине чистового калибра рекомендуют брать несколько больше, чем в полке.

Рассмотрим коэффициент уменьшения высоты по вершине калибра. Согласно рис.7,а толщина  $M$  по вершине равна

$$m = \frac{h}{\cos \alpha} + \frac{\tau}{\cos \alpha} - 2 = \frac{h + \tau(1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha}.$$

При  $\alpha = 45^\circ$  эта величина равна

$$m = \frac{h + 0,293 \tau}{0,707}$$

Если углы  $\alpha$  для чистового и предчистового калибра равны, то принимая

$$h = ph \text{ и } \tau = p\tau,$$

получим коэффициент уменьшения высоты по вершине

$$\frac{m'}{m} = \frac{ph + 0,293p\tau}{h + 0,293p\tau} = p,$$

где  $p$  - коэффициент уменьшения высоты.

Здесь размеры со штрихом относятся к задаваемой полосе. Как видим в чистовом калибре по вершине и по полке коэффициент уменьшения высоты одинаковый, если взять  $\tau' = p\tau$ . Однако для лучшего заполнения следует брать радиус закругления у вершины в предчистовом калибре больше, чем  $p\tau$ .

Можно рекомендовать следующие коэффициенты для радиуса закругления у вершины для 5 проходов

$$\tau_5; \tau_4 = p_4 \tau_5; \tau_3 = p_3 \tau_4; \tau_2 = p_2 \tau_3; \tau_1 = p_1 \tau_2.$$

Как видим, радиус закругления умножается на коэффициент уменьшения высоты в данном калибре, пропуская коэффициент  $P_5$ . При среднем режиме обжатий получим

$$\tau_5, \tau_4 = 1,45 \tau_3; \tau_3 = 1,6 \tau_2; \tau_2 = 1,6 \tau_1; \tau_1 = 1,6 \tau_2$$

Радиус закругления у края полок согласно рекомендации Б.П.Бахтинова [6] можно брать следующие / при 5 проходах/.

Для нижнего края полки, когда разъем находиться /рис.7,б/ принимаем

$$\tau'_4 = \tau'_5 + \Delta h_5; \tau'_2 = \tau'_3 + \Delta h_3$$

Для верхнего края полки, когда разъем снизу, принимаем

$$\tau''_3 \approx \Delta h_4; \tau'_1 = \Delta h_2$$

Можно также принимать

$$\tau' \approx 0,6h; \tau'' \approx 0,35h.$$

### 7/ Определение нейтральной линии калибра и среднего катающего диаметра

На рис.8,а дано расположение калибра на валках. Средний диаметр верхнего и нижнего валков одинаковый и равен линия АА - линия прокатки. Средняя высота калибра зеркало  $h_c = \frac{Q}{B}$ ,

где  $Q$  - площадь калибра,

$$B = b \cos \alpha + R(1 - \cos \alpha) - \text{ширина калибра.}$$

Средний катающий диаметр представляет собой сумму всех катающих диаметров по ширине калибра, деленную на ширину калибра

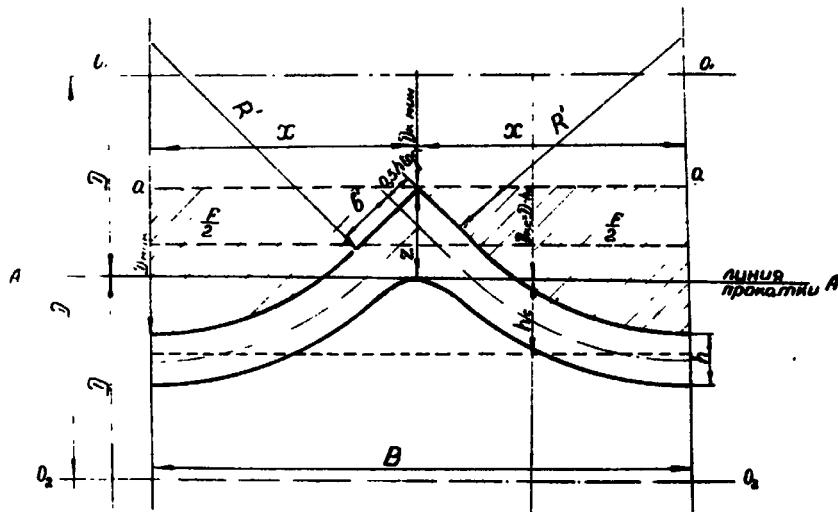
$$D_{kc} = \frac{\sum D_k}{B}$$

Нейтральная линия калибра совпадает с линией прокатки АА и делит площадь калибра так, что обеспечивается равенство катающих диаметров верхнего и нижнего валков.

Из рис.8,а видно, что

$$D_{kc} = D - h_c = D - \frac{Q}{B}$$

$$\therefore D_{kc} = D_{kmin} + \frac{2F}{B} = D - 2x + \frac{2F}{B},$$



где

$R_{\min}$  - минимальный катающий диаметр верхнего валка;  
 $Z$  - расстояние от линии прокатки / нейтральной линии калибра / до вершины калибра;  
 $F$  - площадь, заключенная между верхним очертанием калибра и горизонтальной линией  $aa$ , проходящей через вершину угла.

Из сопоставления последних двух равенств находим

$$Z = \frac{F + 0.5Q}{B}.$$

Аналогичные формулы получим и для нижнего валка, однако для уголка удобнее подсчитать площадь  $F'$ , следовательно, величину  $Z$  по верхнему очертанию калибра.

Исходя из геометрических соотношений, полученных при построении равнобокого уголка, можно определить площадь калибра  $Q$  и вспомогательную площадь  $F'$ , которые равны без учета закруглений / рис.8, а/

$$Q = 2bh;$$

$$F' = (x + R'sin\alpha)(b' + 0.5hlg\alpha)sin\alpha + R'^2 \left( \frac{\sqrt{3}\alpha^2}{180} - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right),$$

где  $X$  - горизонтальная проекция полки;

$R'$  - радиус изгиба верхней грани полки;

$b' + 0.5hlg\alpha$  - прямая часть полки, считая по верхней грани полки.

Для неравнобоких уголков площадь калибра равна /5/

$$Q = h(b_n + b_b).$$

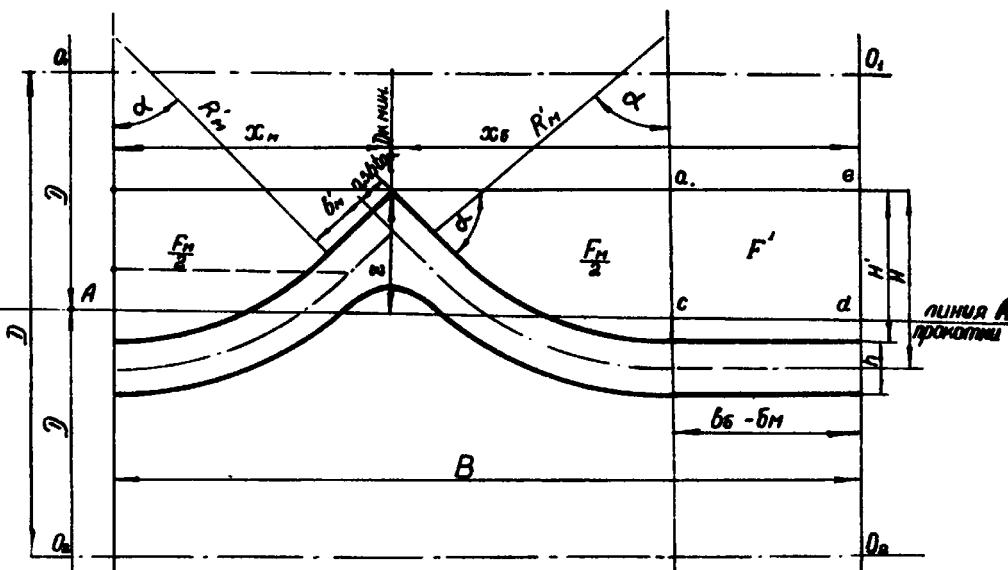


Рис.8 Построение нейтральной линии калибра

а - для равнобокого уголка

б - для неравнобокого уголка.

Вспомогательная площадь  $F$  равна / рис.8,6/

$$F = F_m + F' = (X_m + R's \sin \alpha) (b' + 0,5 h \tan \alpha) \sin \alpha + R'^2 \left( \frac{b \alpha}{180} - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) + F'.$$

где  $F' = (b_b - b_m) H'$  - площадь прямоугольника  $acde$  ;

$H' = H - 0,5h$  - высота от вершины до верхней грани калибра;

$H = b_m \sin \alpha + R(1 - \cos \alpha)$  - высота калибра от вершины до средней оси.

Для чистового калибра с прямыми полками нетрудно найти нейтральную линию калибра, определив площадь калибра  $Q$ , вспомогательную площадь  $F$  и ширину калибра  $B$ .

### 3. Примерный расчет калибровки равнобокого уголка № 10

#### Исходные данные

1. Провести расчет калибровки равнобокого уголка

$100 \times 100 \times 6,5$  -16 /ГОСТ 8509-57/, ст.3 /ГОСТ 535-58/.

2. Диаметр валков  $D=500$  мм,  $n=120$  об/мин.

3. Допуски по ГОСТ

по ширине полки  $\pm 2$  мм

по толщине полки  $\pm 0,60$  /для толщин  $-6,5; 7,8$  мм  
 $\pm 0,65$  /для толщин  $10; 12; 14; 16$  мм/.

4. Радиус внутреннего закругления /у вершины/  $R=12$  мм,

радиус закругления полки  $\gamma=4$  мм.

5. Площадь профиля /для толщины полки  $h=10$  мм/ -  
 $F=19,20 \text{ мм}^2$ .

Расчет ведем для прокатки уголка толщиной  $h=10$  мм.

О получении меньшей и большей толщин сказано ниже. Определяем горячие размеры профиля, принимая неполный минусовый допуск.

#### Ширина полки

$$b_1 = /100 - 1,5/ . 1,013 = 100 \text{ мм}$$

#### Толщина полки

$$h_1 = /10 - 0,5/ . 1,013 = 9,6 \text{ мм}.$$

Длина полок по средней линии /развернутая ширина уголка/

$$2b_{ср} = 2 /100 - 0,5 . 9,6 / = 190,4 \text{ мм}$$

Выбираем 5 фасонных калибров. Коэффициенты уменьшения высоты принимаем / для среднего режима прокатки/

$$\sum \frac{H}{h} = 1,6 . 1,6 . 1,6 . 1,45 . 1,25 = 7,11$$

#### Высота заготовки

$$h_0 = 9,6 . 7,11 = 71 \text{ мм}, \text{ принимаем } 70 \text{ мм.}$$

#### Толщина полок по проходам:

$$h_1 = 70 : 1,6 = 44 \text{ мм}$$

$$h_2 = 44 : 1,6 = 27,5 \text{ мм}$$

$$h_3 = 27,5 : 1,6 = 17,0 \text{ мм}$$

$$h_4 = 17 : 1,45 = 12,0 \text{ мм}$$

$$h_5 = 12 : 1,25 = 9,6 \text{ мм.}$$

#### Обкатие по проходам:

$$\Delta h_1 = h_1 - h_0 = 70 - 44 = 26 \text{ мм}$$

$$\Delta h_2 = h_2 - h_1 = 44 - 27,5 = 16,5 \text{ мм}$$

$$\Delta h_3 = h_3 - h_2 = 27,5 - 17,0 = 10,5 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = h_4 - h_3 = 17,0 - 12,0 = 5,0 \text{ мм}$$

$$\Delta h_5 = h_5 - h_4 = 12,0 - 9,6 = 2,4 \text{ мм}$$

Проверим обкатие в первом проходе по углу захвата при

$$D_{min} \approx 450 \text{ мм.}$$

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_1}{D_{min}} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{26}{450-44} \right) = 20^\circ 36'.$$

При числе оборотов  $n = 120$  об/мин окружная скорость равна

$$V = \frac{\pi D_k n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,406 \cdot 120}{60} = 2,56 \text{ м/сек.}$$

Допустимый угол захвата по приближенному графику /рис.2/

$$\alpha_{\text{ доп}} \approx 25^\circ$$

Последующие проходы по условию захвата не проверяли.

Определяем уширение в каждом калибре.

#### 5-й калибр - чистовой

Угол захвата в радианах

$$\alpha_5 = \arccos /1 - \frac{2,4}{450-9,6}/ = 6^030 \text{ или } \alpha_5' = 0,11.$$

Уширение равно

$$\Delta b_5 = \frac{2b_4 h_5 K'K}{(h_4 + h_5) [1 + (1 + \alpha_5) (\frac{b_4}{R \alpha_5})^2]} = \frac{2 \cdot 190,4 - 2,4 \cdot 2,0}{12+9,6 / \left[ 1 + (1+0,11) \left( \frac{190,4}{220,2,0,11} \right)^2 \right]} = 1,2 \text{ мм.}$$

#### 4-й калибр - предчистовой

Ширина полосы по средней линии в 4-ом калибре

$$2b_4 - 2b_5 - \Delta b_5 = 190,4 - 1,2 = 189,2 \text{ мм.}$$

Угол захвата в радианах

$$\alpha_4 = \arccos /1 - \frac{5}{450-12}/ = 8^040 ; \alpha_4' = 0,152.$$

Уширение составляет

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 189,2 \cdot 5 \cdot 1,5}{17+12 / \left[ 1 + /1+0,152/ \left( \frac{189,2}{219,0,152} \right)^2 \right]} = 3,5 \text{ мм}$$

#### 3-й калибр черновой

Ширина полосы в 3-м калибре

$$2b_3 - 2b_4 - \Delta b_4 = 189,2 - 3,5 = 186,7 \text{ мм.}$$

Угол захвата

$$\alpha_3 = \arccos /1 - \frac{10,5}{450-17}/ = 12^015; \alpha_3' = 0,214.$$

Уширение равно

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 186,7 \cdot 10,5 \cdot 1,4}{/27,5+17 / \left[ 1 + /1+0,214 / \left( \frac{186,7}{215,5 \cdot 0,214} \right)^2 \right]} = 5,9 \text{ мм.}$$

#### 2-й калибр черновой

Ширина полосы во 2-м калибре

$$2b_2 - 2b_3 - \Delta b_3 = 186,7 - 5,9 = 180,8 \text{ мм;}$$

$$\alpha_2 = \arccos /1 - \frac{16,5}{450-27,5}/ = 16^0; \alpha_2' = 0,279.$$

Уширение

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 180,8 \cdot 16,5 \cdot 1,2}{/44+27,5 / \left[ 1 + /1+0,279 / \left( \frac{180,8}{211,3 \cdot 0,279} \right)^2 \right]} = 7,7 \text{ мм.}$$

#### 1-й калибр - черновой

Ширина полосы в 1-м калибре

$$2b_1 - 2b_2 - \Delta b_2 = 180,8 - 7,7 = 173,1 \text{ мм.}$$

Угол захвата

$$\alpha_1 = \arccos /1 - \frac{26}{450-44}/ = 20^030; \alpha_1' = 0,335;$$

Уширение

$$\Delta b_1 = \frac{2 \cdot 173,1 \cdot 26 \cdot 1}{/70+44 / \left[ 1 + /1+0,335 / \left( \frac{173,1}{1203,0,335} \right)^2 \right]} = 9 \text{ мм.}$$

Ширину заготовки определим по ширине 1-го калибра / см. ниже/. Определим углы сгиба в отдельных калибрах.

Угол сгиба в первом калибре принимаем  $\varphi_1 = 130^\circ$ . В чистовом и предчистовом калибрах, согласно вышеизложенному, принимаем  $\varphi_4 = 90^\circ$  и  $\varphi_5 = 90^\circ$ .

Для определения углов сгиба  $\varphi$  во втором и третьем калибрах находим суммарное обжатие во втором, третьем и четвертом калибрах

$$\sum \Delta h = \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 = 16,5 + 10,5 + 5 = 32 \text{ мм.}$$

Суммарное уменьшение угла  $\sum \Delta \varphi$  в указанных трех калибрах составляет

$$\sum \Delta \varphi = \Delta \varphi_2 + \Delta \varphi_3 + \Delta \varphi_4 = 130 - 90 = 40^\circ.$$

Коэффициент пропорциональности равен

$$m = \frac{\sum \Delta \varphi}{\sum \Delta h} = \frac{40}{32} = 1,25.$$

Тогда угол сгиба во втором калибре равен

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \Delta \varphi_2 = 130 - 1,25 \cdot 16,5 = 109,4^\circ.$$

Принимаем окруженно  $\varphi_2 = 109^\circ$ .

Угол сгиба в третьем калибре

$$\varphi_3 = \varphi_2 - \Delta \varphi_3 = 109 - 1,25 \cdot 10,5 = 95,9^\circ = 96^\circ.$$

Полученные данные заносим в таблицу 2, на основании которой производим построение отдельных калибров.

$B_3 = 170$

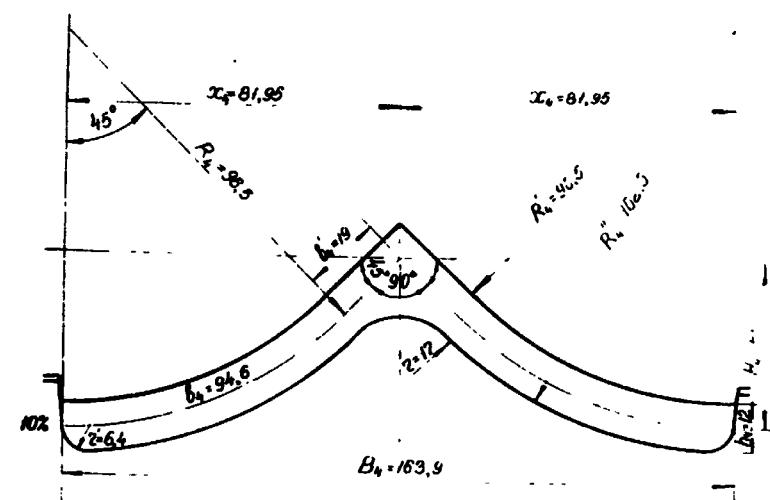
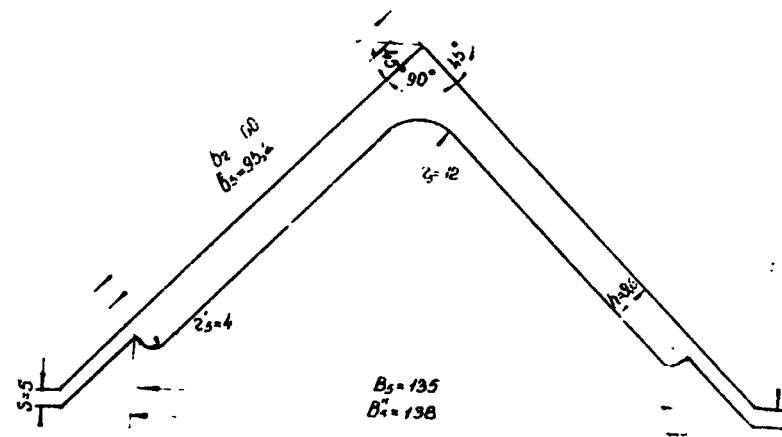
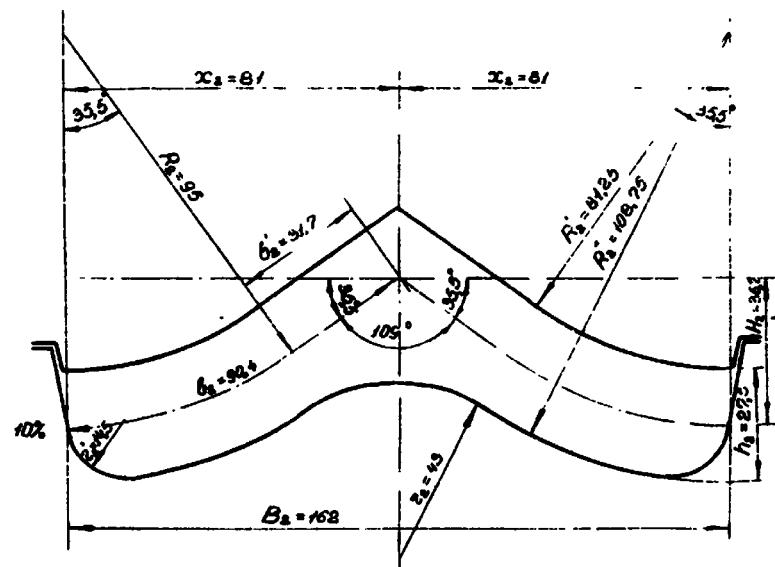
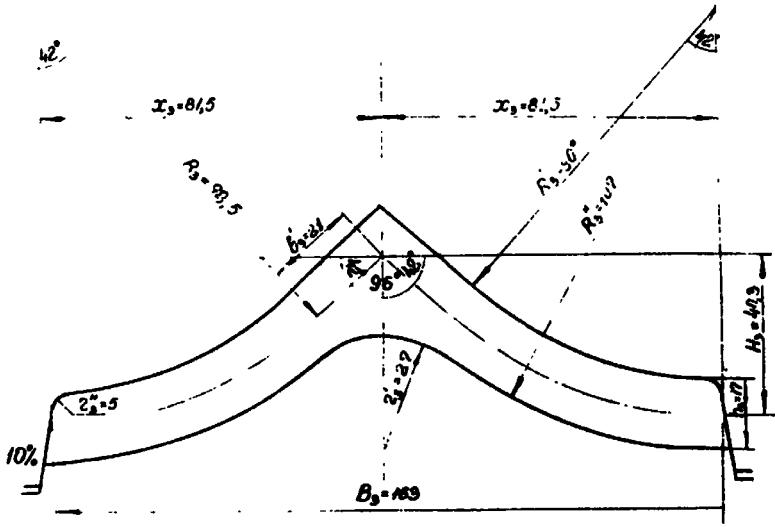
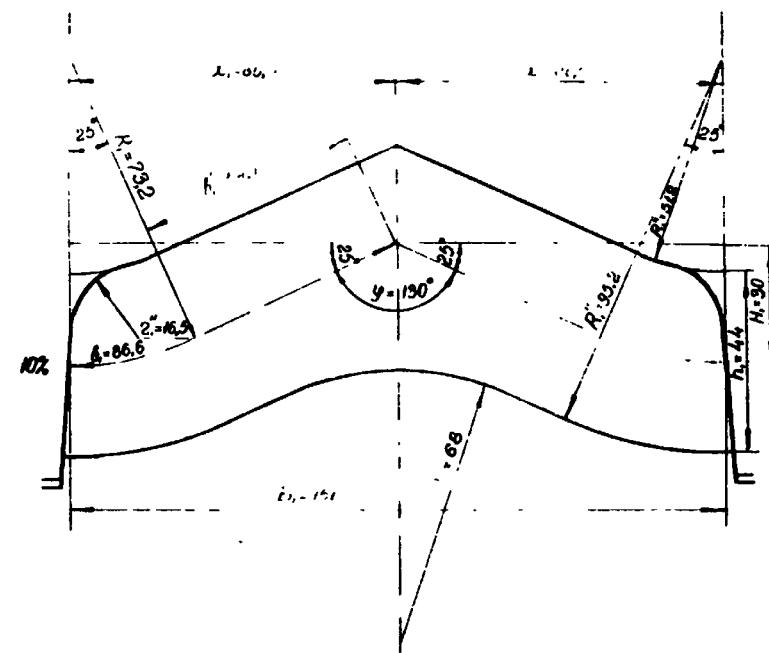


Рис.9 Калибры для угловой стали № 10

а - чистовой, 5 калибр ; б - предчистовой, 4-й ;



в - черновой, 3-й ; г - черновой 2-й ;



д - черновой, 1-й.

Таблица 2

Калибровка угловой стали 100x100x10 мм

последовательность калибров / коэффициент уменьшения ширины полок <i>P</i>	толщина полок <i>h</i> <sub>мм</sub>	разница полок <i>Δh</i> <sub>мм</sub>	общая ширина полок 26 мм	общее уширение полок <i>Δb</i> мм	угол сгиба полок <i>γ</i> <sup>o</sup>
0	Заготовка	70	-		
1	1,60	44	26,0	173,1	9,0      130 <sup>o</sup>
2	1,60	27,5	16,5	180,8	7,7      109 <sup>o</sup>
3	1,60	17,0	10,5	186,7	5,9      96 <sup>o</sup>
4	1,45	12,0	5,0	189,2	2,5      90 <sup>o</sup>
5	1,25	9,6	2,4	190,4	1,2      90 <sup>o</sup>

Переходим к построению отдельных калибров, начиная с чистового.

#### 5-й калибр - чистовой /рис.9.а/

Чистовой калибр имеет прямые полки. Радиусы закругления у вершины и у края полок, согласно ГОСТ 8509-57, равны  $R=12$  мм и  $\gamma'=4$  мм. Уширение в чистовом калибре свободное, поэтому длина полок калибра больше длины полок задаваемого уголка.

Для возможности прокатки, уголка разных толщин предусматриваем три чистовых калибра: для  $h=7$  мм;  $h=10$  мм;  $h=14$  мм. Промежуточные толщины получаем путем изменения зазора валков. Для уголка Ф 10 по ГОСТ имеется 7 толщин: 6,5; 7; 8; 10; 12; 14 и 16 мм.

Ширина чистового калибра

$$B_5 = 2b_5 \cos \alpha_5 = 190,4 \cdot 0,707 = 135 \text{ мм.}$$

Ширина калибра по верхнему валку

$$B'_5 = 1,7 b_5 = 1,7 \cdot 100 = 170 \text{ мм.}$$

Глубина вреза

$$H_5 = 0,5 B_5 = 85 \text{ мм.}$$

#### 1-й калибр - предчистовой /рис.9.б/.

Согласно таблице 2 длина одной полки в четвертом калибре равна  $b_4=94,6$  мм, толщина полки  $h_4=12$  мм. Угол сгиба  $\gamma_4=90^o$ , угол наклона полок  $\alpha=90 - 0,5\gamma_4 = 45^o$ .

Строим калибр с изогнутыми полками. Необходимо выбрать прямую часть полки  $b'_4$  так, чтобы обеспечить уменьшение ширины калибров против хода прокатки. Для этого определим ширину первого калибра и затем решим, как сконструировать предчистовой калибр.

Примем сперва в 4-м калибре прямую часть полки

$$b'_4 = 0,30 b_4 = 0,30 \cdot 94,6 = 28,4 \text{ мм.}$$

Ширина 4-го калибра равна

$$B_4 = 2X_4 = 2 \cdot 0,707 \cdot 28,4 + 2 \cdot 1,275 / 94,6 - 28,4 / 0,707 = 160,1 \text{ мм.}$$

В первом калибре длина полки  $b_1=86,6$  мм, угол сгиба  $\gamma_1=130^o$ ,  $\alpha_1=25^o$ .

Принимаем

$$b'_1 = 0,6 b_1 = 0,6 \cdot 86,6 = 52 \text{ мм.}$$

Ширина первого калибра равна

$$B_1 = 2X_1 = 2 \cdot 52 \cdot 0,906 + 2 \cdot \frac{1,6 - 52}{0,423} = 161,3 \text{ мм.}$$

Как видим из проделанного расчета, полученная ширина является недостаточной. Если принять приращение ширины во втором, третьем и четвертом калибрах по 1 мм, то ширина четвертого калибра должна быть  $B_4 \approx 164$  мм.

Чтобы получить такую ширину, необходимо взять прямую часть  $b'_4 = 0,2 b_4$ .

Тогда получим

$$b'_4 = 0,20 \cdot 94,6 = 19 \text{ мм.}$$

Согласно приведенным выше формулам радиус изгиба полки равен

$$R_4 = 1,275 / 94,6 - 19 / = 1,275 \cdot 75,6 = 96,5 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R = R_4 - 0,5 h_4 = 96,5 - 0,5 \cdot 12 = 90,5 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по нижней грани полки

$$R''_4 = R_4 + 0,5 h_4 = 96,5 + 0,5 \cdot 12 = 102,5 \text{ мм.}$$

Ширина калибра

$$B_4 = 2X_4 = 2 \cdot 0,707 \cdot 19 + 2 \cdot 0,707 \cdot 96,5 = 163,9 \text{ мм.}$$

Высота вреза Н равна

$$H_4 = 0,707 \cdot 19 + 0,293 \cdot 96,5 = 41,7 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$\gamma_4 = 1,452 \gamma_5 = 1,45 \cdot 12 \approx 17 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у нижнего края полки

$$\gamma'_4 = \gamma'_5 + \Delta h_5 = 4 + 2,4 = 6,4 \text{ мм.}$$

По рассчитанным величинам на рис.9,б дано построение 4-го предчистового калибра.

### 3-й калибр – черновой / рис.9,в/

Ширина одной полки согласно табл.2 равна  $b_3 = 93,4 \text{ мм.}$ , толщина полки  $h_3 = 17 \text{ мм.}$ . Угол сгиба равен  $\psi_3 = 96^\circ$ .

Ширина калибра

$$B_3 = B_4 - 1 = 163,9 - 1 = 162 \text{ мм.}$$

По ширине калибра находим прямую часть полки, радиус изгиба полок и другие размеры. Прямая часть полки определяется по формуле

$$b'_3 = \frac{b_3 \frac{\sin \alpha_3}{0,01745 \alpha} - 0,5 B_3}{\frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha} - \cos \alpha},$$

где  $\alpha = 90 - 0,5 \psi_3$ .

В нашем случае

$$\alpha_3 = 90 - 0,5 \cdot 96 = 42^\circ;$$

$$\sin 42^\circ = 0,669; \quad \alpha_{par} = 0,733; \quad \cos 42^\circ = 0,743;$$

$$b'_3 = \frac{93,4 - \frac{0,669}{0,733} - 0,5 \cdot 163,0}{\frac{0,669}{0,733} - 0,743} = 21 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки

$$R_3 = \frac{93,4 - 21}{0,733} = 98,5 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R'_3 = R_3 - 0,5 h_3 = 98,5 - 0,5 \cdot 17 = 90,0 \text{ мм.}$$

– Радиус изгиба по нижней грани

$$R''_3 = R_3 + 0,5 h_3 = 98,5 + 0,5 \cdot 17 = 107,0 \text{ мм}$$

Высота вреза

$$H_3 = b'_3 \sin \alpha_3 + R(1 - \cos \alpha_3) = 21 \cdot \sin 42^\circ + 98,5(1 - \cos 42^\circ) = 40,3 \text{ мм}$$

Радиус закругления у вершины

$$\gamma_3 = 1,6 \gamma_4 = 1,6 \cdot 17 \approx 27 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у верхнего края полки

$$\gamma''_3 = \Delta h_4 = 5 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней принимаем 10 %.

### 2-й калибр – черновой / рис.9,г/

Ширина одной полки согласно табл.1 равна  $b_2 = 90,4 \text{ мм.}$ , толщина полки  $h_2 = 27,5 \text{ мм.}$ , угол сгиба  $\psi_2 = 109^\circ$ . Угол наклона  $\alpha_2 = 90 - 0,5 \cdot 109 = 35,5^\circ$ .

Определяем ширину калибра

$$B_2 \cdot B_3 - 1 = 163,0 - 1 = 162,0 \text{ мм.}$$

Прямая часть полки  $b'_s$  равна

$$b'_s = \frac{90,4 - 0,581}{0,619} - 0,5 \cdot 162,0 = 31,7 \text{ мм.}$$
$$\frac{0,581}{0,619} - 0,814$$

Радиус изгиба полки

$$R_2 = \frac{90,4 - 31,7}{0,619} = 95 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки по верхней грани

$$R'_2 = 95 - 0,5 \cdot 27,5 = 81,25 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки по нижней грани

$$R''_2 = 95 + 0,5 \cdot 27,5 = 108,75 \text{ мм.}$$

Высота вреза

$$H_2 = 31,7 \sin 35,5 + 95 / 1 - \cos 35,5 = 36,2 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$\gamma_2 = 1,6 \gamma_3 = 1,6 \cdot 27 = 43 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у нижнего края полки

$$\gamma'_2 = \gamma_3 + \Delta h_3 = 4 + 10,5 = 14,5 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней принимаем 10%.

#### 1-й калибр / рис.9,д/

Длина одной полки равна  $b_1 = 86,6 \text{ мм}$ , толщина  $h_1 = 44 \text{ мм}$ , угол сгиба  $\varphi_1 = 130^\circ$ ,  $\alpha'_1 = 90 - 0,5 \cdot 130 = 25^\circ$ .

Ширину калибра принимаем

$$B_1 \cdot B_2 - 1 = 162,0 - 1 = 161,0 \text{ мм.}$$

Прямая часть полки равна

$$b'_s = \frac{86,6 - 0,423}{0,436} - 0,5 \cdot 161,0 = 54,7 \text{ мм.}$$
$$\frac{0,423}{0,436} - 0,906$$

Радиус изгиба полки

$$R_1 = \frac{86,6 - 54,7}{0,436} = 73,2 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки по верхней грани

$$R'_1 = 73,2 - 0,5 \cdot 44 = 51,2 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки по нижней грани

$$R''_1 = 73,2 + 0,5 \cdot 44 = 95,2 \text{ мм.}$$

Высота вреза

$$H_1 = 54,7 \sin 25 + 73,2 / 1 - \cos 25^\circ = 30,0 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$\gamma_1 = 1,6 \cdot 43 = 68 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у верхнего края полки

$$\gamma'_1 = \Delta h_1 = 16,5 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней принимаем 10%.

#### Выбор ширины заготовки

Толщина заготовки принята  $h_0 = 70 \text{ мм}$ . Что касается ширины заготовки, то соответственно ширине первого калибра следует принять ширину заготовки  $b_0 = 161 - 9 = 152 \text{ мм}$ .

Учитывая значительную толщину первого калибра, малый угол сгиба и надежное центрирование, принимаем меньший простор на уширение. Окончательно выбираем ширину заго-

тавки  $b_o=155$  мм. Даные для построения калибров заносим в табличу 3.

#### 4. Примерный расчет калибровки неравнобокого уголка № 12,5/8

Сталь прокатная угловая неравнобокая по ГОСТ 8510-57 прокатывается от № 2,5/1,6 до № 25/16, отношение большой полки к малой  $\frac{b_2}{b}$  колеблется в пределах от 1,56 до 1,645.

Методика расчета калибровки неравнобокого уголка в основном не отличается от калибровки равнобокого уголка. Отличительные особенности будут понятны из примерного расчета неравнобокого уголка № 12,5/8.

## Исходные данные

1. Рассчитать калибровку неравнобокого уголка  
125 x80x7 ; 8; 10; 12 мм, ст.3 /ГОСТ 535-58/
  2. Диаметр валков  $D = 500$  мм,  $n = 120$  об/мин.
  3. Допуски по ГОСТ  
по ширине полки  $\pm 2$  мм,  
по толщине  $\pm 0,60$  мм для толщины 7 и 8 мм,  
 $\pm 0,65$  мм для толщины 10 и 12 мм.
  4. Радиус внутреннего закругления / у вершины /  $R = 11$  мм,  
радиус закругления полки  $\gamma = 3,7$  мм.
  5. Площадь профилля для толщины  $d = 10$  мм равна

$$F = 1970 \text{ N}^2$$

Расчет ведем для прокатки уголка  $h = 10$  мм. Определяем горячие размеры профиля, принимая неполный минусовый допуск.

8

**100-100=0**      **100-10=90**      **100-1=99**      **100-0=100**

Ширина большой полки

$$b_3 = 125 - 1,5 / 1,013 = 125 \text{ мм.}$$

Ширина малой полки

$$b_{m2} = 80 - 1,5 / 1,013 = 80 \text{ мм.}$$

Толщина полки

$$h_2 = 10 - 0,5 / 1,013 = 9,6 \text{ мм.}$$

Длина полок по средней линии равна

$$b_{52} + b_{m2} = 125 + 80 - 9,6 = 195,4 \text{ мм.}$$

Принимаем 5 фасонных калибров. Коэффициенты уменьшения высоты принимаем

$$\sum \frac{H}{h} = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 1,6 \cdot 1,45 \cdot 1,25 = 7,41.$$

Высоту заготовки принимаем

$$h_o = 9,6 \cdot 7,41 \approx 70 \text{ мм.}$$

Толщина полок по проходам

$$h_1 = 70 : 1,6 = 44 \text{ мм;}$$

$$h_2 = 44 : 1,6 = 27,5 \text{ мм;}$$

$$h_3 = 27,5 : 1,6 = 17,0 \text{ мм;}$$

$$h_4 = 17,0 : 1,45 = 12,0 \text{ мм;}$$

$$h_5 = 12,0 : 1,25 = 9,6 \text{ мм.}$$

Обжатие по проходам

$$\Delta h_1 = h_o - h_1 = 70 - 44 = 26 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_2 = h_1 - h_2 = 44 - 27,5 = 16,5 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_3 = h_2 - h_3 = 27,5 - 17,0 = 10,5 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_4 = h_3 - h_4 = 17,0 - 12,0 = 5,0 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_5 = h_4 - h_5 = 12,0 - 9,6 = 2,4 \text{ мм;}$$

Угол захвата в первом калибре при  $D_{max} = 450 \text{ мм}$  равен

$$\alpha_1 = \arccos\left(1 - \frac{4h_1}{D_{max}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{26}{450}\right) = 20^\circ 36'$$

При числе оборотов  $n = 120 \text{ об/мин}$  окружная скорость

равна  $\nu = \frac{\pi D_{max} n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,406 \cdot 120}{60} = 2,55 \text{ м/сек.}$

Допустимый угол захвата по графику /рис.2/ составляет  $\alpha_{safe} = 25^\circ$ .

Последующие проходы по условию захвата не проверяем.  
Определяем уширение по отдельным калибрам. Воспользуемся расчетами уширения, приведенными ранее для уголка № 10.

#### 5-й калибр - чистовой

Уширение  $\Delta b_5 = 1,2 \text{ мм.}$

#### 4-й калибр - предчистовой

Ширина полосы по средней линии в четвертом калибре

$$b_{54} + b_{m4} = 195,4 - 1,2 = 194,2 \text{ мм}$$

Уширение  $\Delta b_4 = 2,5 \text{ мм.}$

#### 3-й калибр - предчистовой

Ширина полосы в 3-м калибре

$$b_{53} + b_{m3} = 194,2 - 2,5 = 191,7 \text{ мм.}$$

Уширение  $\Delta b_3 = 5,9 \text{ мм.}$

#### 2-й калибр - черновой

Ширина полосы во 2-м калибре.

$$b_{52} + b_{m2} = 191,7 - 5,9 = 185,8 \text{ мм.}$$

Уширение  $\Delta b_2 = 7,7 \text{ мм.}$

#### 1-й калибр - черновой

Ширина полосы в 1-м калибре

$$b_{51} + b_{m1} = 185,8 - 7,7 = 178,1 \text{ мм.}$$

Уширение  $\Delta b$ , = 9,0 мм.

Ширину заготовки определяем по ширине калибра / см. ниже.

Для построения калибров необходимо знать ширину большой и малой полки в отдельности. Уширение распределяем между большой и малой полкой пропорционально их ширинам. Если уширение равно  $\Delta b$ , то

$$\Delta b_b = \frac{\Delta b \cdot b_b}{b_b + b_m} \quad \text{и} \quad \Delta b_m = \frac{\Delta b \cdot b_m}{b_b + b_m}$$

Тогда имеем следующие значения большой и малой полки

$$\Delta b_{b_5} = 0,7 \text{ мм}; \quad b_{b_5} = 120,2 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{b_4} = 1,5 \text{ мм}; \quad b_{b_4} = 119,5 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{b_3} = 3,7 \text{ мм}; \quad b_{b_3} = 118,0 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{b_2} = 4,8 \text{ мм}; \quad b_{b_2} = 114,3 \text{ мм};$$

$$b_{b_1} = 109,5 \text{ мм.}$$

$$\Delta b_{m_5} = 0,5 \text{ мм}; \quad b_{m_5} = 75,2 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{m_4} = 1,0 \text{ мм}; \quad b_{m_4} = 74,7 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{m_3} = 2,2 \text{ мм}; \quad b_{m_3} = 73,7 \text{ мм};$$

$$\Delta b_{m_2} = 2,9 \text{ мм}; \quad b_{m_2} = 71,5 \text{ мм};$$

$$b_{m_1} = 68,6 \text{ мм.}$$

Углы сгиба определяем таким же образом, как и в расчете равнобокого уголка.

По калибрам получим следующие углы сгиба

$$\varphi_1 = 130^\circ; \quad \varphi_2 = 109^\circ; \quad \varphi_3 = 96^\circ; \quad \varphi_4 = 90^\circ \quad \text{и} \quad \varphi_5 = 90^\circ.$$

Полученные данные заносим в таблицу 4.

Таблица 4.  
Калибровка неравнобокого уголка 125 x 80 x 10 мм.

№ калибров	Коэффициент уменьшения высоты $P$	Толщина полок $h$ мм	Обжатие полок $\Delta h$ мм	Общая ширина полок $b_b + b_m$ мм	Ширина большой полки $b_b$ мм	Ширина малой полки $b_m$ мм	Общее уменьшение $\Delta b$ мм	Угол сгиба полок $\varphi$
0	заготовка	70,0	-	-	-	-	-	-
1	1,6	44,0	26,0	178,1	109,5	68,6	9,0	130°
2	1,6	27,5	16,5	185,8	114,3	71,5	7,7	109°
3	1,6	17,0	10,5	191,7	118,0	73,7	5,9	96°
4	1,45	12,0	5,0	194,2	119,5	74,7	2,5	90°
5	1,25	9,6	2,4	195,4	120,2	75,2	1,2	90°

Переходим к построению отдельных калибров, начиная с чистового.

#### 5-й калибр – чистовой /рис. 10/

Неравнобокий уголок в чистовом калибре располагаем так, чтобы глубина вреза  $H$  для малой и большой полки была одинаковой. Как видно из рис.10, должно соблюдаться равенство вертикальных проекций полок [5].

$$b_m \sin \alpha_m = b_b \sin \alpha_b$$

откуда

$$\frac{b_b}{b_m} = \frac{\sin \alpha_m}{\sin \alpha_b}.$$

Так как

$$\alpha_b = 90 - \alpha_m \quad \text{и} \quad \sin \alpha_b = \cos \alpha_m, \text{ то}$$

$$\frac{b_b}{b_m} = \operatorname{tg} \alpha_m \quad \text{и} \quad \alpha_m = \arctg \frac{b_b}{b_m}.$$

Ширина чистового калибра /рис.10/

$$B_n = b_m \cos \alpha_m + b_b \cos \alpha_b.$$

В нашем случае

$$\alpha_m = \arctg \frac{120,2}{75,2} = \arctg 1,6 = 58^\circ;$$

$$\alpha_b = 90^\circ - 58^\circ = 32^\circ.$$

Ширина чистового калибра

$$B_n = 75,2 \cos 58^\circ + 120,2 \cos 32^\circ = 141,8 \text{ мм.}$$

Глубина ручья /H/

$$H_s = 12b_m \sin \alpha_m = 12 \cdot 80 \sin 58^\circ = 81,4 \text{ мм.}$$

Ширина калибра по верхнему валку

$$B'_n = H_s (\operatorname{ctg} \alpha_m + \operatorname{ctg} \alpha_b) = 81,4 (\operatorname{ctg} 58^\circ + \operatorname{ctg} 32^\circ) = 181 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины  $\gamma_5 = 11$  мм, у края полки  $\gamma_3 = 3,7$  мм. Для возможности прокатки уголка разных толщин предусматриваем два чистовых калибра - для  $h = 7$  мм и  $h = 10$  мм. Остальные толщины /  $h = 8$  мм и  $h = 12$  мм/ получаем путем изменения раствора валков.

4-й калибр - предчистовой / рис.11/

Согласно таблице 4 ширина малой полки  $b_{m4} = 74,7$  мм, большой полки  $b_{b4} = 119,5$  мм, толщина  $h_4 = 12$  мм. Угол сгиба  $\vartheta_4 = 90^\circ$ . Предчистовой калибр располагаем так, чтобы биссектриса проходила вертикально и  $\alpha_{m4} = \alpha_{b4} = 45^\circ$ .

Определим радиус изгиба  $R_4$  для малой полки с тем, чтобы согласовать радиус изгиба с шириной калибра по отдельным проходам. Принимаем прямую часть полки

$$b'_{m4} = 0,2 \cdot b_{m4} = 0,2 \cdot 74,7 = 14,9 \text{ мм.}$$

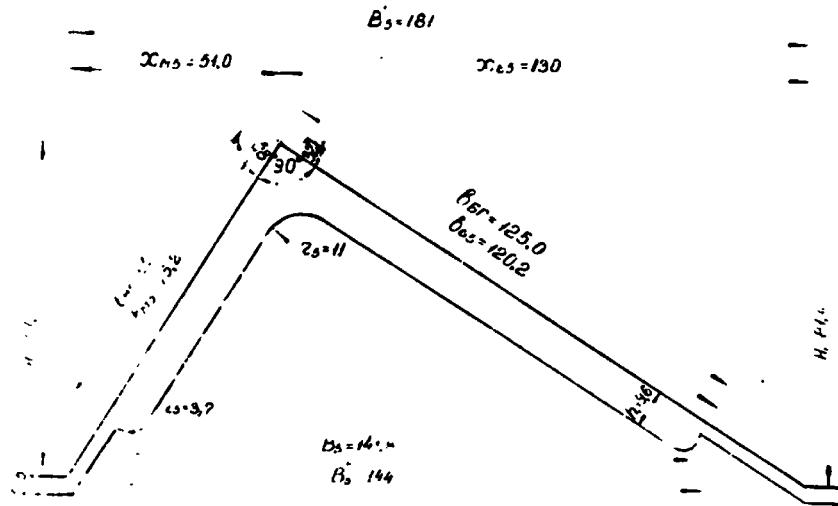


Рис.10 Чистовой калибр неравнобокого уголка.

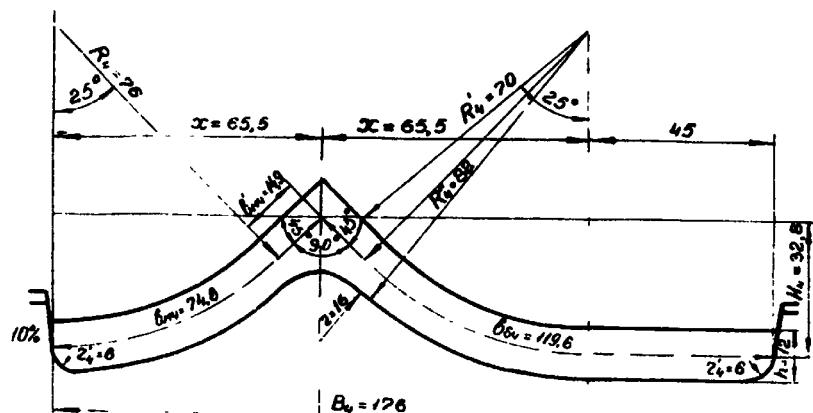


Рис.11 Предчистовой калибр неравнобокого уголка.

Проекция малой полки  $X_{M4}$  /рис.11/ равна

$$X_{M4} = 0,707 \cdot 14,9 + 1,275 / 74,7 - 14,9 / 0,707 = 64,6 \text{ мм.}$$

Определим величину  $X_{M1}$  в первом калибре для ширины прямого участка  $b'_{M1} = 0,6 \cdot 68,6 = 41,2 \text{ мм}$  и  $\varphi = 130^\circ$

$$X_{M1} = 41,2 \cdot 0,906 + \frac{68,6 - 41,2}{0,436} \cdot 0,432 = 63,7 \text{ мм.}$$

Получилась малая разница в ширине калибров. Примем прямой участок  $b'_{M1} = 0,70 \cdot 68,6 \approx 48 \text{ мм.}$

$$\text{Тогда } X_{M1} = 48 \cdot 0,906 + \frac{68,6 - 48}{0,436} \cdot 0,423 = 63,4 \text{ мм.}$$

Принимаем следующие размеры для  $X_M$  по калибрам

$$X_{M4} = 64,6 \text{ мм}; \quad X_{M3} = 64,1 \text{ мм}; \quad X_{M2} = 63,7 \text{ мм};$$

$$X_{M1} = 63,4 \text{ мм.}$$

Как далее увидим, общая ширина калибра будет увеличиваться на 1-1,5 мм по ходу прокатки.

Для большой полки ширина калибра /рис.11/ равна

$$X_{B4} = X_{M4} + b_{B4} - b_{M4} = 64,6 + 119,5 - 74,7 = 109,4 \text{ мм.}$$

Отрезок  $b_{B4} - b_{M4} = 44,8 \text{ мм}$  горизонтальный участок большой полки.

Полная ширина калибра

$$B_4 = X_{M4} + X_{B4} = 64,6 + 109,4 = 174,0 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки

$$R_4 = 1,275 / 74,7 - 14,9 / = 76,0 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R'_4 = R_4 - 0,5h_4 = 76,0 - 0,5 \cdot 12 = 70 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по нижней грани полки

$$R''_4 = R_4 + 0,5h_4 = 76 + 0,5 \cdot 12 = 82,0 \text{ мм.}$$

Высота вреза  $H_4$  равна

$$H_4 = 0,707 \cdot 14,9 + 0,293 \cdot 76 = 32,8 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$\zeta_4 = 1,45 \zeta_5 = 1,45 \cdot 11 = 16 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у нижнего края полки

$$\zeta' = 0,5h = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней равен 10 %.

### 3-й калибр – черновой

Ширина малой полки согласно табл.4 равна  $b_{M3} = 73,7 \text{ мм}$ , толщина полки  $h_3 = 17 \text{ мм}$ . Угол сгиба  $\varphi = 96^\circ$ , угол

$\alpha_3 = 90 - 0,5 \cdot 96 = 42^\circ$ . Горизонтальная проекция малой полки равна  $X_{M3} = 64,1 \text{ мм.}$

Находим прямую часть полки  $b'_{M3}$  /см. парагр. 3/

$$b'_{M3} = \frac{73,7 - \frac{0,669}{0,733} - 64,1}{\frac{0,669}{0,733} - 0,743} = 18,3 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки

$$R_3 = \frac{73,7 - 18,3}{0,773} = 75,5 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R'_3 = R_3 - 0,5h_3 = 75,5 - 0,5 \cdot 17 = 67,0 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по нижней грани полки

$$R''_3 = R_3 + 0,5h_3 = 75,5 + 8,5 = 84,0 \text{ мм.}$$

Горизонтальный отрезок большой полки  
 $b_{53} - b_{m3} = 118,0 - 73,7 = 44,3$  мм.

Горизонтальная проекция большой полки

$$X_{53} = 64,1 + 44,3 = 108,4 \text{ мм.}$$

Ширина калибра

$$B_3 = X_{m3} + X_{b3} = 64,1 + 108,4 = 172,5 \text{ мм.}$$

Высота вреза равна

$$H_3 = b'_{m3} \sin \alpha_3 + R_3 (1 - \cos \alpha_3) = 18,3 \cdot 0,669 + 45,5 / 1 - 0,743 = \\ = 12,2 + 19,4 = 31,6 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней принимаем 10%.

#### 2-й калибр - черновой

Ширина малой полки равна  $b_{m2} = 71,5$  мм, толщина полки  $h_2 = 27,5$  мм. Угол сгиба  $\psi_2 = 109^\circ$ ;  $\alpha_2 = 35,5^\circ$ .

Горизонтальная проекция малой полки равна

$$X_{m2} = 63,7 \text{ мм.}$$

Найдем прямой участок полки

$$b'_{m2} = \frac{71,5 - 0,619}{0,581 - 0,814} = 28,6 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки

$$R_2 = \frac{71,5 - 28,6}{0,619} = 69,2 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R'_2 = R_2 - 0,5h_2 = 69,2 - 0,5 \cdot 27,5 = 55,4 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по нижней грани полки

$$R''_2 = R_2 - 0,5h_2 = 69,2 + 0,5 \cdot 27,5 = 83,0 \text{ мм.}$$

Горизонтальный отрезок большой полки

$$b_{52} - b_{m2} = 114,3 - 71,5 = 42,8 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция большой полки

$$X_{52} = 63,7 + 42,8 = 106,5 \text{ мм.}$$

Полная ширина калибра

$$B_2 = X_{m2} + X_{b2} = 63,7 + 106,5 = 170,4 \text{ мм.}$$

Высота вреза

$$H_2 = b'_{m2} \sin \alpha_2 + R_2 (1 - \cos \alpha_2) = 28,6 \cdot 0,581 + 69,2 \cdot 0,186 = 29,5 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$r_2 = 1,67_2 = 1,6 \cdot 26 = 42 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у нижнего края полки

$$r_2 = 0,5h_2 = 0,5 \cdot 27,5 \approx 14 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней 10%.

#### Первый калибр - черновой

Ширина малой полки равна

$$b_{m1} = 68,6 \text{ мм.}$$

Толщина полки

$$h_1 = 44 \text{ мм.}$$

Угол сгиба  $\psi_1 = 130^\circ$ ,  $\alpha_1 = 25^\circ$ .

Горизонтальная проекция малой полки

$$X_{m1} = 63,4 \text{ мм.}$$

Найдем прямую часть полки  $b'_{m1}$

$$b'_{m1} = \frac{68,6 - 0,423}{0,436} = 63,4 \\ \frac{0,423}{0,436} = 48 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба полки

$$R_1 = \frac{68,6 - 48,0}{0,436} = 47,2 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по верхней грани полки

$$R' = 47,2 - 0,5 \cdot 44 = 25,2 \text{ мм.}$$

Радиус изгиба по нижней части полки

$$R'' = 47,2 + 0,5 \cdot 44 = 69,2 \text{ мм.}$$

Горизонтальный отрезок большой полки

$$b_{\delta_1} - b_{m_1} = 109,5 - 68,6 = 40,9 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция большой полки

$$X_{\delta_1} = X_m + b_{\delta_1} - b_{m_1} = 63,4 + 40,9 = 104,3 \text{ мм.}$$

Полная ширина калибра

$$B_1 = X_m + X_{\delta_1} = 63,4 + 104,3 = 167,7 \text{ мм.}$$

Высота вреза

$$H_1 = 48,8 \cdot 0,423 + 47,2 / 1 - 0,906 / = 25,1 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у вершины

$$\gamma \cdot 1,6 \gamma_2 = 1,6 \cdot 42 = 67 \text{ мм.}$$

Радиус закругления у верхнего края полки

$$\gamma' = 0,35 h_1 = 15 \text{ мм.}$$

Уклон боковых граней 10%.

#### Ширина заготовки

Толщина заготовки принята  $h_o = 70 \text{ мм.}$

Ширина заготовки равна

$$b_o = B_1 - \Delta b = 167,7 - 9 = 158,7 \text{ мм.}$$

Можно ограничить уширение и принять ширину заготовки

$$b_o = 160 \text{ мм.}$$

Данные для построения калибров заносим в таблицу 5.

Таблица 5

Данные для построения уголка 125 x 80 x 10 mm

n	База заготовки	Параметры заготовки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	160	48,0	20,6	40,9	167,7	63,4	101,3	17,2	25,2	69,2	25,1
2	158,6	12,9	42,8	170,2	63,7	105,5	60,2	55,4	62,0	29,5	42,0
3	75,7	18,3	56,4	11,3	122,5	31,1	108,1	75,0	67,0	34,0	31,6
4	74,7	14,9	59,8	14,2	174,0	31,6	105,1	76,0	70,0	32,0	32,8
5	75,2	-	-	-	141,8	31,1	102,0	-	-	76,5	11,0

### 5. Заводские калибровки угловой стали

Способы и схемы прокатки уголка во многом зависят от типа стана и его расположения, а также от конкретных условий его работы.

За последние годы с целью повышения производительности на многих станах, особенно линейного типа, уменьшили число проходов, примером чего могут служить мелкосортные стани линейного типа 280 и 330 завода им.Дзержинского [13].

По предложению старшего калиброника завода инженера В.П.Сазоненко на стане 330 был применен ребровый калибр, благодаря чему удалось сократить 2 прохода при прокатке уголков 35x35, 40x40, 45x45 и 45x30 мм.

Ребровый калибр является общим для уголков 35x35, 40x40 и 45x45 мм, чем обеспечена гибкость регулирования ширины раската, задаваемого в первый фасонный калибр (во вторую клеть чистовой линии стана 330).

Применение ребрового калибра дало возможность передавать раскат из этого калибра в следующий при помощи отводного аппарата.

По старой калибровке, уголок 35x35x4-5 мм прокатывался из квадратной заготовки за 8 проходов со средним коэффициентом вытяжки ( $\lambda_{cp}=1,37$ , но новой калибровке из этой же заготовки уголок прокатывается за 6 проходов со средним коэффициентом вытяжки ( $\lambda_{cp}=1,54$ , причем в отдельных калибрах (в третьем и четвертом) коэффициенты вытяжки достигают  $\lambda=1,8 + 1,87$ .

На непрерывном стане 250 Криворожского металлургического завода им.В.И.Ленина применена калибровка уголка, имеющая ряд особенностей [14]. На этом стане успешно прокатываются уголки 40x40x4 и 36x36x4 мм и освоена прокатка тонкостенного уголка с толщиной полки 3 мм.

На рис.12 представлена калибровка для прокатки уголков 20x20, 25x25, 28x28, 32x32, 36x36 и 40x40 мм с толщиной стенки 3 мм.

Эта калибровка имеет следующие особенности. Прокатка ведется из квадратной заготовки 80x80 мм длиной 12 м, которая в пяти клетях черновой группы получает бочкообразную форму. Далее раскат прокатывается в открытых фасонных калибрах, имеющих те преимущества, что в одних и тех же калибрах можно прокатывать уголки разных размеров, то есть достигается универсальность калибровки, сокращается парк валков и уменьшается их переточка.

Широкое применение открытых калибров на непрерывных станах объясняется возможностью применения принудительной задачи раската в тесных проводках, что обеспечивает его правильное центрирование и устойчивое положение в калибрах; этому также способствуют натяжение его между клетями.

Применение ребровых обкатий в двух клетях с вертикальными валками / в девятой и двенадцатой клети/ гарантирует получение симметричного и точного профиля по ширине.

Уже в первом фасонном калибре /шестая клеть/ формируется угол при вершине  $90^{\circ}$ , который сохраняется. Этим обеспечивается надежное центрирование полосы в открытых калибрах.

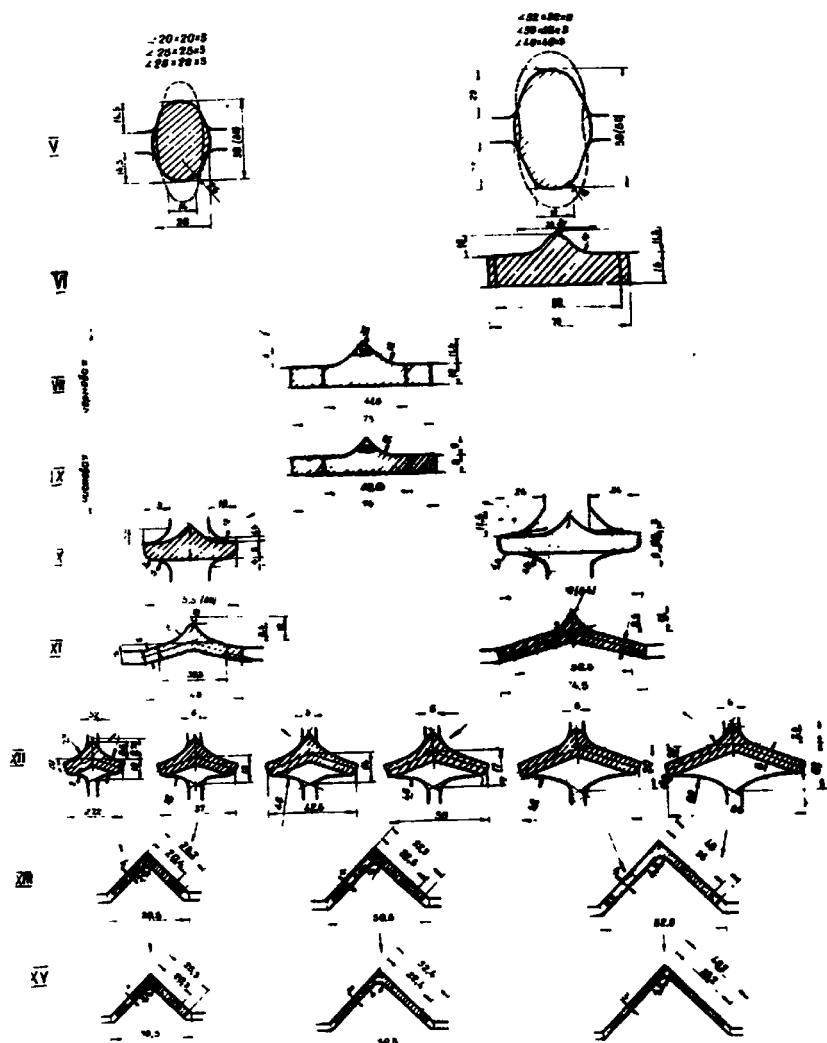


Рис. 12 Калибровка уголка на непрерывном стане завода "Криворожсталь".

рах седьмой и девятой клетей и удобная регулировка ширины полок путем перемещения верхнего валка относительно неподвижной вводной арматуры.

Ребровый калибр двенадцатой клети дает возможность устраниить разноширинность полок. Кроме того в ребровом калибре происходит свертывание полок до угла между полками

$\Psi = 120-130^\circ$ . Наличие прямых полок обеспечивает раздельное обжатие кромок полок, а также вытеснение вершины уголка в разъем вертикальных валков и прижатие верхних граней полок к стенкам калибра.

Отличительной особенностью этой калибровки является также применение двух чистовых калибров в тринадцатой и пятнадцатой клетях /в четырнадцатой, вертикальной клети прокатка не производится/, что повышает стойкость этих калибров. В последнем чистовом калибре /пятнадцатая клеть/ применяется небольшое обжатие порядка 0,2-0,5 мм, чем и обеспечивается малый износ этого калибра и хорошая поверхность готового профиля.

Применение двух чистовых калибров упрощает настройку валков, уменьшает парк валков, так как валки с изношенными калибрами чистовой клети могут быть использованы в предыдущей тринадцатой клети в качестве предчистовых.

Наличие двух чистовых калибров дает также возможность в тринадцатой клети получать большую толщину полки, а в пятнадцатой клети, не меняя ширины полок, уголок меньшей толщины /тонкостенный уголок/.

Применение новой калибровки на стане 250 дало возмож-

ность обеспечить выход первого сорта для уголков 40x40x4 и 36x36x4 мм до 99%. Как показала опытная прокатка, эта калибровка обеспечивает прокатку тонкостенных уголков с толщиной полки 3 мм и даже меньше с высоким выходом первого сорта.

Таким образом, практика прокатки уголков на кривошипном стане 250 КМЗ показала целесообразность применения открытых калибров с двумя ребровыми и двумя чистовыми калибрами.

Крупные уголки прокатываются на линейных, зигзагообразных и шахматных станах с развернутыми полками, примером чего может служить прокатка угловой стали 200x125x11 - 16 мм на стане 650 Нижне-Тагильского металлургического комбината [15].

Прокатка этого уголка ведется в семи фасонных калибрах, размещенных в трех клетях чистовой линии с распределением проходов по клетям 3+3+1. В обжимной клети 900 мм раскат выходит из ребрового калибра толщиной 70 мм. Ребровой калибр уточняет ширину раската. В таблице 6 приведены данные калибровки.

Длина прямого участка малой полки составляет  
 $b_m' = 10,15 + 0,45 / b_m$ .

Ширина калибров  $B$ , принята так, что каждый последующий калибр шире предыдущего примерно на 1-2 мм.

Для прокатки всех толщин от 11 до 16 мм приняты две серии калибровок, начиная с третьего фасонного калибра: для толщин 11-12 мм и толщин 14-16 мм.

Радиусы изгиба полок, считая по верхней грани, постоянные для всех калибров и равны  $R_m' = 75$  мм и  $R_s' = 130$  мм.

Биссектриса углов при вершине проходит не вертикально, а под наклоном. Авторы [15] не рекомендуют чрезмерно уменьшать

**Таблица 6**  
Размеры калибров для уголка 200x125x11-16 мм

№ кали- бров	$h$ мм	$b_m$ мм	$b_s$ мм	$\Delta b$ мм	$\Delta b_m$ мм	$\Delta b_s$ мм	Примеча- ние
1	70	108,9	171,2				
	55	108,4	178,7	12,0	4,5	7,5	$h = 11-12$ мм для
	40	111,4	183,2	7,5	3,0	4,5	
	30	113,4	186,2	5,0	2,0	3,0	
	23	114,8	188,3	3,5	1,4	2,1	
	17	115,9	190,2	3,0	1,1	1,9	
	13	116,7	191,4	2,0	0,8	1,2	
7	12	118,5	194,6	5,0	1,8	3,2	
4a	24	113,7	187,3	1,4	0,3	1,1	$h = 11-16$ мм для
	19	114,6	188,9	2,5	0,9	1,6	
	16	115,2	189,8	1,5	0,6	0,9	
	14	117,0	193,0	5,0	1,8	3,2	

число фасонных калибров для крупных размеров уголков во избежание повышенного износа калибров и снижения точности прокатки.

Чем меньше размер уголка, тем меньше число фасонных калибров можно применять.

Схемы прокатки уголка на зигзагообразных и шахматных станах имеются в литературе [10, 15, 16, 17].

Прокатка угловой стали в пластовых калибрах, а также применение открытых калибров изложены в литературе [18, 19, 20, 21].

## Глава II. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

### 1. Станы для прокатки фасонных профилей

Прокатка двутавровых балок, швеллеров, угловой стали и других фасонных профилей производится на рельсобалочных, крупносортных, среднесортных и мелкосортных станах различных типов. Рельсобалочные и крупносортные станы, в основном, дуо реверсивные, трио с линейным расположением клетей и зигзагообразные /кросс коунтри/.

Среднесортные и мелкосортные станы различных типов также имеют разнообразное расположение: линейное, зигзагообразное, непрерывное, полунепрерывное.

Ниже дается описание основных типов станов для прокатки двутавровых балок, швеллеров, угловой стали и других облегченных профилей.

#### Рельсобалочные и крупносортные станы трио

Прокатка балок, швеллеров и других профилей производится из блумов, подогреваемых в промежуточных нагревательных печах. Промежуточный нагрев блумов позволяет заканчивать прокатку при более высокой температуре. Последнее обстоятельство имеет особенно большое значение при производстве облегченных и тонкостенных профилей.

Большое количество клетей и применение рабочих клетей трио позволяют калибровщику легче и рациональнее разместить калибры на валках. При прокатке балок больших размеров разрезной калибр размещается в валках обжимной клети. В результате этого производительность станов трио значительно выше, чем станов дуо.

При использовании в качестве исходной заготовки блумов, балки всех размеров можно прокатывать из слитков одного развеса. Это значительно упрощает работу сталеплавильных цехов и сокращает парк изложниц.

Рельсобалочный стан 800. Стан прокатывает двутавровые балки № 24, 30, 36, 45, 50, 55 /по ГОСТ 8239-56/, швеллеры № 24, 30, железнодорожные рельсы типов Р-50, Р-65 и Р-75, спунтовые сваи и другие профили. Балки производят из рядовых и низкоалегированных марок сталей: ст.0-3, ст.4, ст.5, 10ХСНД, 15ХСНД и др. В качестве исходной заготовки применяются блумы, поступающие с блуминга 1170. Блумы нагревают в трех трехзонных методических печах с торцевой загрузкой и выдачей.

Рельсобалочный стан /рис.13/ состоит из четырех рабочих клетей, расположенных в две линии. Обжимная линия представляет собой одну дуо реверсивную клеть 900, так называемый "малый блуминг". Обжимная клеть с обеих сторон оборудована манипуляторами и кантователями. Установка кантователя с задней стороны позволяет применять наиболее рациональные режимы кантовок, что в сочетании с большими обжатиями, достигающими 130 мм за проход, обеспечивает высокое качество проката и большую производительность стана. Обжимная клеть имеет реверсивный двигатель постоянного тока мощностью 3680 квт и число оборотов 0-50-100 об/мин. Максимальный диаметр валков стана 1000 мм, длина бочки валков составляет 2340 мм.

Чистовая линия состоит из двух клетей трио с приводом от реверсивного двигателя постоянного тока мощностью 4110 квт и числом оборотов 0-70-140 об/мин и одной клети дуо с индивидуальным приводом от реверсивного двигателя мощностью 1840 квт.

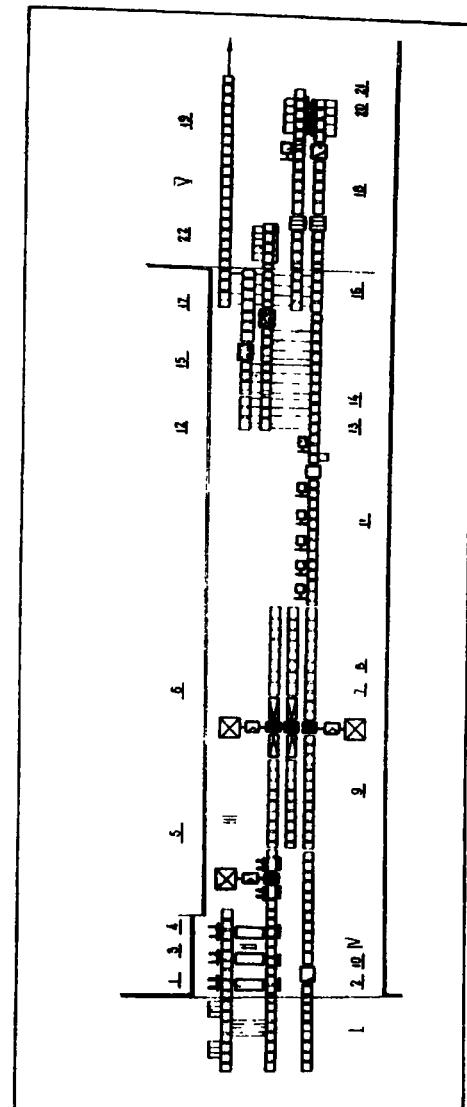


Рис. 13. - Схема расположения основного оборудования рельсово-балочного стана 800:

1-склад блумов, 2-пролет нагревательных печей, 3-машинный зал, 4-скрапной пролет, 5-у-отделение отходов, 6-транспортер блумов, 7-нагревательные вагрузочные площаики, 8-методическая печь, 9-толкатели, 10-обжимная клеть 800, 11-подъемно-качающие клемы, 12-чистовая клеть duo 800, 13-подкатов, 14-недокатов, 15-подкатов, 16-подкатов, 17-подкатов, 18-подкатов, 19-подкатов, 20-подкатов, 21-подкатов, 22-подкатов, 23-подкатов, 24-подкатов.

и числом оборотов 0-70-140 об/мин. В клетях трио валки имеют диаметр 850 мм и длину бочки 1930 мм. Диаметр валков чистовой клети 813 мм, длина бочки 1220 мм.

Прокатка на обжимной клети в зависимости от профиля осуществляется за 5-9 проходов. На чистовой линии производится 5-7 проходов. Температура раската контролируется после второго прохода на клети 900; она должна быть не ниже 1180°С. Порезка горячих полос на мерные длины производится пятью маятниковыми и одной салазковой пилами. На каждой подосе клеймовочная машина набивает номер плавки и бригадный знак.

Крупносортный стан 650. Стан предназначен для прокатки двутавровых балок № 16-30 и швеллеров № 16-24; в настоящее время прокатывает балки № 16-20 и швеллеры № 16-20, угловую равнобокую и неравнобокую сталь, рельсы для железных дорог узкой колеи, круглую и квадратную сталь. В качестве исходной заготовки используются блумы сечением от 200x200 мм до 300x320 мм, длиной до 6 м и весом от 1 до 4 т. Блумы поступают с блуминга 1150. Планировка стана 650 подобна рассмотренной выше схеме расположения оборудования рельсобалочного стана 800.

Перед прокаткой блумы нагревают в трех методических трехзонных рекуперативных печах с торцевой задачей и выдачей металла.

Нагретые блумы поступают к обжимной клети 800, где в зависимости от прокатываемого профиля и размера, производится 5-7 проходов. Обжимная клеть 800 выполнена по типу блуминга. Привод ее осуществляется от реверсивного двигателя постоянного тока мощностью 4560 квт, с числом оборотов 0-70-120об/мин. Рабочие валки, изготовленные из стали 50, имеют средний

диаметр 860 мм и длину бочки 2100 мм.

Вторая линия стана состоит из двух клетей трио и одной чистовой дуо. Клети трио приводятся от двигателя типа ПБК 285/100 мощностью 4560 квт и числом оборотов 0-90-180 об/мин. Допустимая максимальная нагрузка 13000 ампер. Валки этих клетей имеют диаметр 720 мм и длину бочки 1700 мм.

Чистовая клеть дуо приводится от индивидуального двигателя типа ПБК 215/65 мощностью 1970 квт и числом оборотов 0-125-250 об/мин. Допустимая максимальная нагрузка 5700 ампер. Валки имеют диаметр 720 мм и длину бочки 1200 мм.

В зависимости от размера и профиля прокатываемой штуки в клетях трио делают 6-8 проходов. В чистовой клети всегда делают один проход.

Зигзагообразный крупносортный стан 500 /рис.14/. Стан предназначен для проката двутавровых балок и швеллеров № 12-20, угловой стали 75x75-150x150 мм, круглой, квадратной и полосовой стали. Исходная заготовка сечением от 120x120мм до 155x170 мм и длиной от 3900 до 4950 мм поступает с непрерывно-заготовочного стана.

Для нагрева заготовок на стане установлено пять методических двухзонных печей с торцевой посадкой и выдачей.

Собственно стан состоит из девяти рабочих клетей дуо, расположенных последовательно в три ряда. В первом ряду пять клетей, во втором - три и в третьем одна чистовая клеть. Первые четыре клети имеют групповой привод от двигателя переменного тока мощностью 2200 квт и числом оборотов 300 об/мин. Пятая и шестая, а также восьмая и девятая клети приводятся попарно от двух одинаковых двигателей

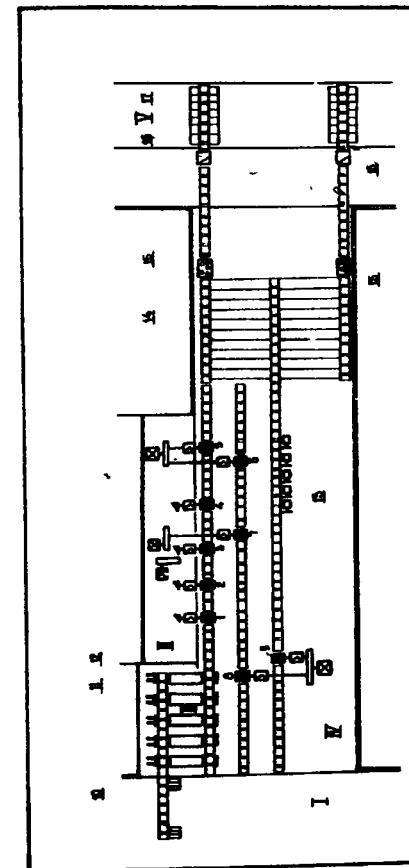


Рис.14 - Схема расположения основного оборудования зигзагообразного стана 500 - 1: 1-9 рабочие клети, 10 - загрузочные площадки, 11 - методические печи нагревательные печи, 12 - толкатели, 13 - пиль горячей резки, 14 - двухсторонний холодильник, 15 - роликопривильные машины, 16 - ножницы, 17 - карманы.

постоянного тока мощностью 1850 квт и числом оборотов 300-600 об/мин. Седьмая клеть имеет индивидуальный привод от двигателя постоянного тока мощностью 1620 квт и числом оборотов 350+720 об/мин.

Рабочие валки первых четырех клетей имеют диаметр 680 мм, последних клетей - 540 мм. Длина бочки валков во всех клетях одинакова и равна 965 мм. Число оборотов валков изменяется от 28,4 об/мин в первой клети до 114,6-229,2 об/мин в последней.

#### Непрерывный крупносортный стан 450

Непрерывный крупносортный стан, спроектированный ВНИИМЕТМАШ и УЗТМ /рис.15/, предназначен для бесконечной прокатки большого количества простых и сложных фасонных профилей. В сортамент стана входят: балки двутавровые облегченные № 16-30 / ГОСТ 6184-52/, швеллеры облегченные № 16-30 /ГОСТ 6185-52/, балки двутавровые № 10-18 / ГОСТ 8239-56/, швеллеры № 10-18 /ГОСТ 8240-56/, угловая сталь равнобокая № 7,5 -12,5 и неравнобокая, круглая сталь диаметром 30-56 мм, квадратная сталь 26x26-50x50, штропсы и другие профили эквивалентного сечения.

Исходным материалом служат обкатные заготовки сечением 150x150, 150x190, 200x250, 80x360-400/мм, длиной 11-12 м. Материал проката: сталь углеродистая обыкновенная и качественная, низколегированные марки стали 10ХСНД, 15ХСНД и 15ГС. Годные заготовки после взвешивания поступают в нагревательные печи с шагающим подом, где производится нагрев до температуры 1100°.

Нагретые заготовки выдаются на рольганг, транспортируются к подогревательной печи, откуда поступают на летучую

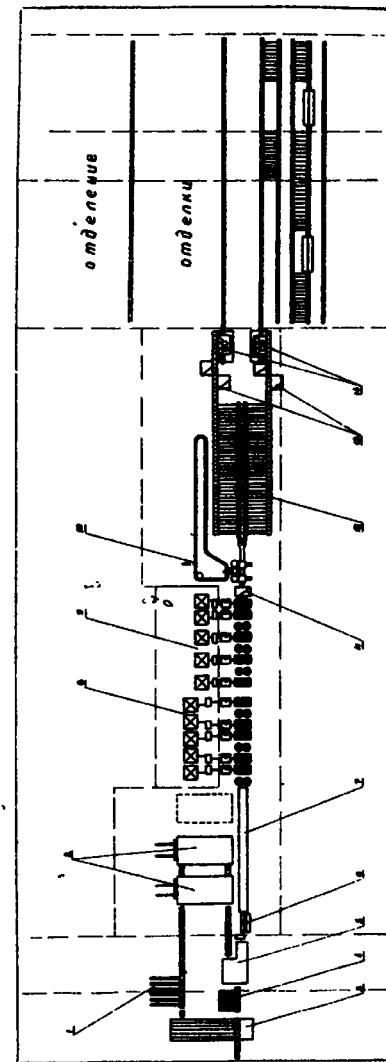


Рис.15 - Схема расположения основного оборудования непрерывного сортопрокатного стане 450:  
1 - загрузочная площадка; 2 - методические нагревательные печи; 3 - транспортер горячих блоков; 4 - промежуточная печь; 5 -стыковочная печь; 6 - секционная печь скоростного нагрева; 7 - чистовая группа рабочих клетей; 8 -холодильник; 9 - летучие ножницы; 10 -холодильник; 11 - летучие ножницы; 12 - роликоправильные печи;

сварочную машину, где осуществляется сварка 12-метровых заготовок в бесконечную плеть.

Непрерывный стан 450 рассчитан в основном на работу в режиме бесконечной прокатки. При этом за счет устранения моментов захвата полосы валками достигается стабильность процесса прокатки, улучшаются условия службы агрегатов и деталей главной линии и арматуры, уменьшается расходный коэффициент металла за счет сокращения отходов на обрезь, повышается производительность в результате исключения пауз между раскатами.

Сварочная машина производит стыковую сварку методом оплавления торцов заготовок.

После сварки бесконечная полоса проходит со скоростью задачи в стан через секционную газовую печь скоростного нагрева длиной 120 м и, нагретая до температуры 1200°, поступает в первую клеть стана. В секционной печи происходит выравнивание температуры металла после сварки.

Черновая группа стана имеет 5 горизонтальных и 3 комбинированных клети с валками диаметром 630 мм. Техническая характеристика рабочих валков и главных приводных электродвигателей стана 450 приведены в таблице 7.

После прокатки в чёрновой группе полоса поступает в чистовую группу рабочих клетей, состоящую из четырех горизонтальных, трех комбинированных и одной универсальной клети.

В зависимости от размеров сечения прокатываемого профиля, прокатка осуществляется в 10-16 клетях. В чёрновой группе стана прокатка ведется с небольшим натяжением.

Таблица 7

Характеристика рабочих валков и приводных двигателей стана 450.

№ клети	Тип клети	Максималь- ный диаметр валка, мм	Длина хобочки $\lambda_6$ , мм	Число оборо- тов валков п об/мин	Мощность электро- двигате- ля N, квт	Число обо- ротов двига- теля $n_d$ , об/мин
I	Комбини- рованная	630	1000 700	10,5-17,5 14,2-21,3	1000	250-70
II	Горизон- тальная	630	1000	12,3-30,6	1000	250-750
III	Горизон- тальная	630	1000	14,1-27,3	1000	250-750
IV	Комбини- рованная	630	1000 700	18,3-20,9 11,7-47,5	1000	250-750
V	Горизон- тальная	630	1000	20-54,5	1600	200-600
V1	Горизон- тальная	630	1000	27,4-81,7	1600	200-600
VII	Комбини- рованная	630	1000 700	35,5-108,5 42,8-96,5	1600	200-600
VIII	Горизон- тальная	630	1000	43,6-138	1600	200-600
IX	Горизон- тальная	530	700	63,3-200	2000	200-600
X	Комбини- рованная	480	700	83,4-120 112,7-288	2000	200-600
XI	Горизон- тальная	530	700	87-279	2000	200-600
XII	Комбини- рованная	480	700	110,8-253,6 97,6-304,6	2000	200-600
XIII	Горизон- тальная	480	700	124,4-430	2000	200-600
XIV	Комбини- рованная	480	700	136,5-238 171,5-502	2000	200-600
XV	Горизон- тальная	480	700	139,2-502	2000	200-600
XVI	Универ- сальная	820 420	100-300 170	105-220 205-448	2000 -	200-600 -

x Числитель - характеристика горизонтальных валков,  
 знаменатель - вертикальных.

В чистовой группе, во избежание утяжки профиля от натяжения, прокатка ведется с неизначительной свободной петлей, поддерживаемой специальными петлевиками, установленными между клетями. Кроме того, предусмотрена возможность прокатки двутавровых балок с подпором.

Прокатанная полоса выходит из последней клети чистовой группы со скоростью 3,5-12 м/сек и направляется на летучие ножницы для порезки на длины, обеспечивающие наиболее полное использование холодильника.

#### Универсальные станы для прокатки широкополочных балок

В последние годы помимо рельсобалочных станов за рубежом получили распространение универсальные станы для прокатки широкополочных балок и профилей для колонн. Преимуществом балок с широкими параллельными полками является большой момент сопротивления при относительно небольшом поперечном сечении. Это обстоятельство позволяет значительно экономить металла. Параллельные полки облегчают монтаж, сокращая общую трудоемкость сооружения металлоконструкций.

В 1958 году на заводе в Лаккенби /Англия/ был введен в действие новый прокатный стан /рис. 16/, предназначенный для производства универсальных балок размерами от 915x419мм до 152,4x152,4 мм [8]. На этом стане можно также прокатывать любые стандартные профили, слябы, блумы и заготовку.

В качестве исходного продукта используются слитки весом от 4 до 20 тонн. Нагрев слитков осуществляется в 12 нагревательных колодцах. Дуо реверсивный блуминг имеет валки диаметром 1320 мм. Длина бочки валков 2845 мм. Привод стана

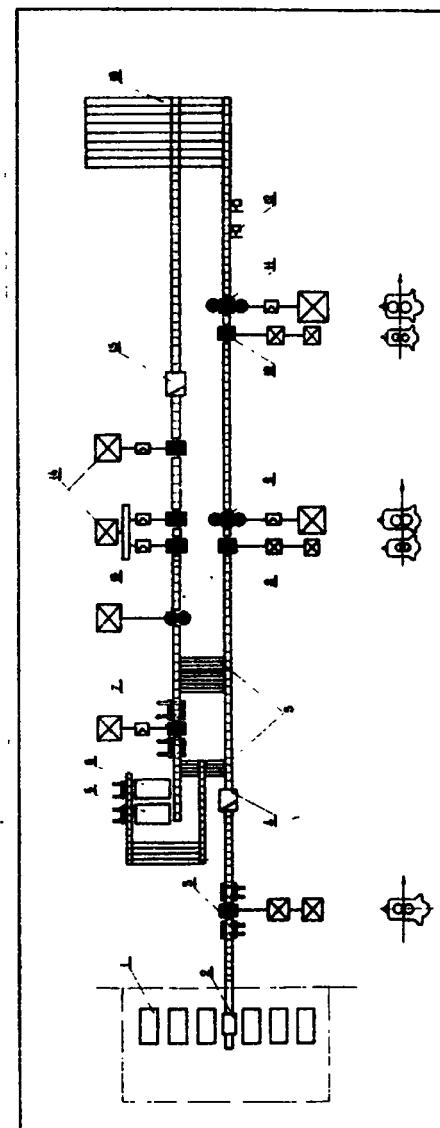


Рис. 16 - Схема расположения основного оборудования универсального стана для прокатки широкополочных балок на заводе в Лаккенби:  
1-нагревательные колодцы, 2-слитковоз, 3-блуминг 1320, 4-носкины 1350 т, 5-передаточные стаплики, 6-методические нагревательные печи, 7 - блуминг 1145, 8 - черновая вспомогательная клеть, 9 - черновая главная универсальная клеть, 10-чистовая вспомогательная клеть, 11 - черновая главная универсальная клеть, 12 - пилья горячей резки, 13 -вертикальная клеть заготовочного стана, 14-холодильник, 15 -вагончики стана, 16 -носкины.

осуществляется от сдвоенных электромоторов мощностью по 2940 квт каждый с числом оборотов 0-40-90 об/мин. Блуминг предназначен для получения из слитка блумов, необходимых для прокатки всех универсальных балок, стандартных фасонных профилей и заготовок для листопрокатных и проволочных станов. Для каждого размера универсальной балки прокатываются соответствующие фасонные блумы. Крупные, достаточно горячие заготовки для балок больших размеров направляются прямо в черновую группу балочного стана. Заготовки для балок меньших размеров после охлаждения на стеллажах или в горячем состоянии поступают к двум методическим нагревательным печам. Нагретая заготовка может быть направлена на балочный стан либо прямо, либо через блуминг 1145. Блумы, предназначенные для переката в заготовку, направляются на непрерывный четырехклетьевой стан либо без подогрева, либо через подогревательные печи. Блуминг 1320 в случае необходимости может прокатывать слябы шириной до 1320 мм, поэтому параллельно стеллажам для охлаждения блумов установлен ходильник для слябов, оборудованный укладывателем.

Рассмотрим подробнее линию для прокатки широкополочных балок. Главными составными частями этой линии являются две группы /черновая и чистовая/ универсальных клетей. Каждая группа состоит из двух клетей, установленных по типу непрерывного стана; расстояние между ними стараются сделать как можно меньше. Первой является дуо реверсивная, так называемая вспомогательная клеть. Эта клеть с двумя горизонтальными валками предназначена только для вертикального обжатия кромок фланцев. Вторая клеть называется главной. Это универ-

сальная клеть с двумя горизонтальными приводными валками диаметром 1345 мм и двумя вертикальными холостыми валками. Все валки расположены в одной вертикальной плоскости. Горизонтальные валки имеют гладкую цилиндрическую бочку, ширина гребня которой соответствует расстоянию между фланцами прокатываемой балки. В главной универсальной клети на один и тех же валках можно вести прокатку балок с различной толщиной полок и шейки. Внутренний профиль определяется размерами гребня, а толщина полок и шейки зависит от расстояния между горизонтальными и вертикальными валками.

Привод горизонтальных валков главной клети черновой группы осуществляется через шестеренную клеть от реверсивного электродвигателя мощность 5880 квт и числом оборотов 0-65-155 об/мин. Вспомогательная клеть имеет 2 горизонтальных валка диаметром 1092 мм. Привод клети осуществляется от сдвоенного реверсивного электромотора. Каждый мотор пары имеет мощность 990 квт при скорости вращения 0-125-310 об/мин.

На расстоянии около 80 метров от черновой расположена чистовая группа. Расположение и характеристика оборудования чистовой группы такие же, как и у черновой.

Для перехода на прокатку стандартных строительных профилей обе универсальные группы клетей убираются на сборочный стенд. На местах главных универсальных клетей устанавливаются заранее собранные дуо реверсивные клети с валками диаметром 1016 мм и длиной бочки 2434 мм. Приводятся они через шестеренные клети от двигателей мощностью по 5880 квт. Вместо коротких передвижных секций рольганга и вспомогательных клетей устанавливаются другие, достаточно длинные секции

рольганга.

Производительность стана около 1 млн тонн заготовок и 500 тыс. тонн балок в год [9].

#### Среднесортные и мелкосортные стани линейного типа.

Среднесортные и мелкосортные стани линейного типа относятся к самым старым и наименее механизированным и автоматизированным станиам. Однако на ряде металлургических заводов они еще сохранились и после внедрения некоторых реконструктивных мероприятий на них оказалось возможным прокатывать облегченные профили проката.

Мелкосортный стан "260" /рис.17/. Стан предназначен для прокатки квадратной стали со стороной квадрата 12, 14 и 16 мм, круглой стали диаметром 10, 12 и 16 мм, оконнорамных профилей № 2, 3, 4, 6, специальных профилей № 5 и № 6 для нефтяной промышленности и ряда других профилей проката из углеродистых и конструкционных марок стали.

Исходная обжатая заготовка сечением 100x100 мм, длиной 1350 мм, весом 101 кг поступает со склада заготовок закрытого типа на загрузочный стол нагревательной печи.

Нагретые заготовки по рольгангу подаются к обжимной линии стана, состоящей из двух клетей дуо. Клети имеют станины закрытого типа и ручное нажимное устройство. Валки применяются стальные, диаметром 500 мм, с длиной бочки 1700 мм.

Первая обжимная клеть с задней стороны оборудована подъемно-качающимся столом, с передней стороны имеется кантовальная линейка. Вторая обжимная клеть с передней и задней сторон имеет обводные аппараты. В первой клети прокатка производится за 4 прохода, во второй - за 3.

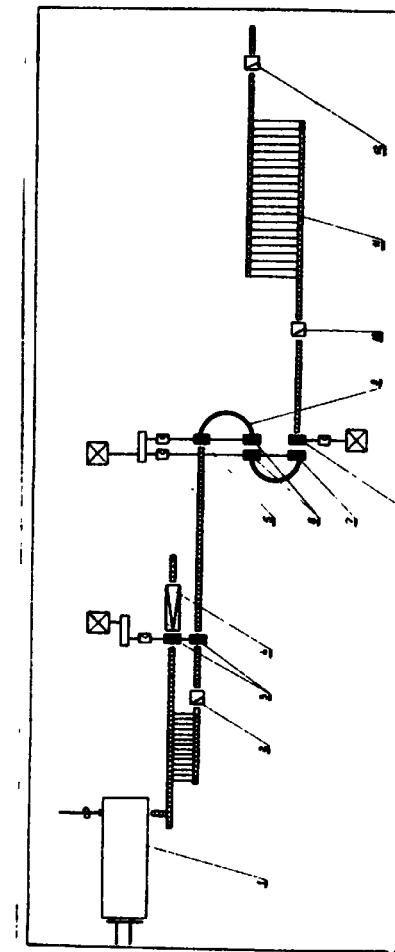


Рис. 17 - Схема расположения основного оборудования мелкосортного стана 260:  
1-металлическая нагревательная печь, 2 - ножницы, 3-обжимная линия 500, 4 - подъемно-качащийся стол, 5 - черновая клеть, 6-промежуточные клети, 7 - предчистовая клеть, 8 - чистовая клеть 260, 9 -обводные аппараты, 10 - летучие ножницы, 11 - холодильник, 12 - ножницы холодной ревки.

Валки обжимных клетей приводятся во вращение электродвигателем мощностью 1250 квт и числом оборотов 192 об/мин.

Чистовая группа клетей разделена на 2 группы. Черновая, две промежуточные и предчистовая клети приводятся от электродвигателя мощностью 1100 квт, числом оборотов 300-600 об/мин. Валки чистовой клети приводятся во вращение двигателем мощностью 270 квт числом оборотов 390-900 об/мин.

Последние четыре клети образуют две непрерывные группы. Между черновой и первой промежуточной, второй промежуточной и предчистовой клетями установлены обводные аппараты. Диаметр валков 260 мм, длина бочки 750-500 мм.

До реконструкции, проведенной в 1962 г, стан имел чистовую группу из пяти клетей переменное дуо, расположенных в одну линию. Привод валков всех клетей осуществлялся от одного электродвигателя мощностью 1100 квт и числом оборотов 300-600 об/мин через шестеренную клеть трио. Между первой и второй, третьей и четвертой клетями были установлены обводные аппараты.

#### Среднесортные стани с последовательным расположением клетей

В зависимости от характера расположения клетей стани этого типа бывают зигзагообразные и шахматные.

Шахматный стан 350 /рис.18/. Стан прокатывает равнобокую угловую сталь 50x50 - 75x75 мм, неравнобокую угловую сталь 75x50 мм, швеллер № 6,5 и 8, круглую сталь диаметром 32-60 мм, квадратную, полосовую, арматурную сталь и другие профили. Исходным материалом служит заготовка квадратного сечения 80x80, 106x106 и 120x120 мм, поступающая

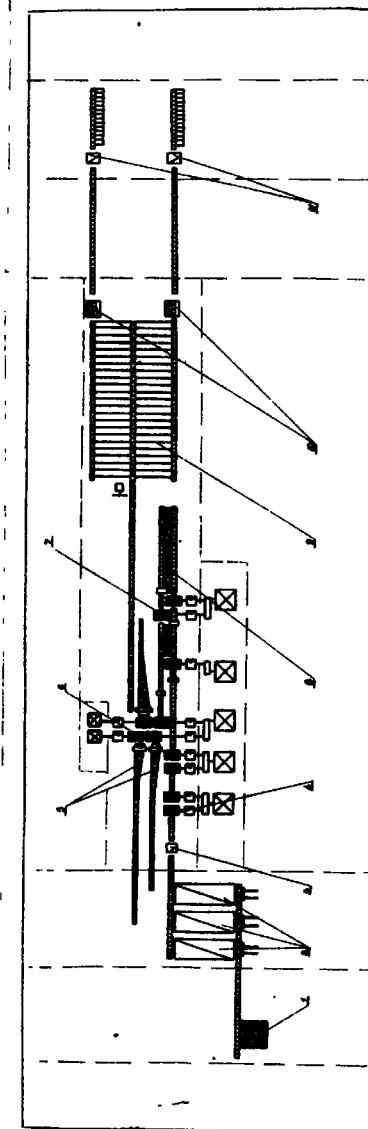


Рис.18 - Схема расположения основного оборудования шахматного стана 350:  
1 - загрузочная площадка, 2- металлические нагревательные печи,  
3 - ножницы, 4 - роликовый рольганг, 5-косье рольганги, 6 - передача, 7-второй ряд рабочих клетей,  
8 - шахматная группа рабочих клетей, 9 - передаточные стеллажи, 10 - холодильник, 11 - ножницы холодной резки.

с непрерывных заготовочных станов.

Стан 350 обслуживается тремя нагревательными двухзонными методическими печами.

Нагретый до температуры 1160-1230° металл выдается на стан, состоящий из 11 рабочих клетей дуо. Первые 6 клетей расположены последовательно и составляют группы, из которых первые две пары - непрерывные. Следующие две клети /УП и УШ/ расположены со смещением оси прокатки на 5700 мм. Клети УШ-Х1 составляют шахматную группу стана. Расстояние между осями пар клетей 1730 мм. Характеристика приводных электродвигателей и рабочих валков приведена в табл.8. Передача полосы из У1 клети в УП производится шлепперами, в шахматной группе - косыми рольгангами.

Зигзагообразный стан 300 /рис.19/. На установленных рядом двух одинаковых станах прокатывают круглую сталь диаметром от 20 до 56 мм, периодический профиль № 20-45, полосовую сталь /300-100/x/6-30/ мм, желобчатую рессору /76-100/x 13 мм, лемех 105-127 мм, угловую равнобокую сталь 35x35 - 75x75 мм, угловую неравнобокую сталь 45x30 - 60x40 мм, швеллеры № 5-8 и др. профили. Исходным материалом служит заготовка сечением 64x64, 78x78, 97x97, 108x108 и 120x120 мм, поступающая с непрерывных заготовочных станов. Зигзагообразный стан 300 состоит из 10 рабочих клетей дуо, расположенных в три ряда. I и II отдельно стоящие клети приводятся индивидуальными двигателями мощностью по 550 квт. Клети III и IV образуют непрерывную группу с приводом от электродвигателя мощностью 1030 квт. V и VI клети также образуют непрерывную группу. Эти клети и VII клеть имеют электродвигатель мощностью

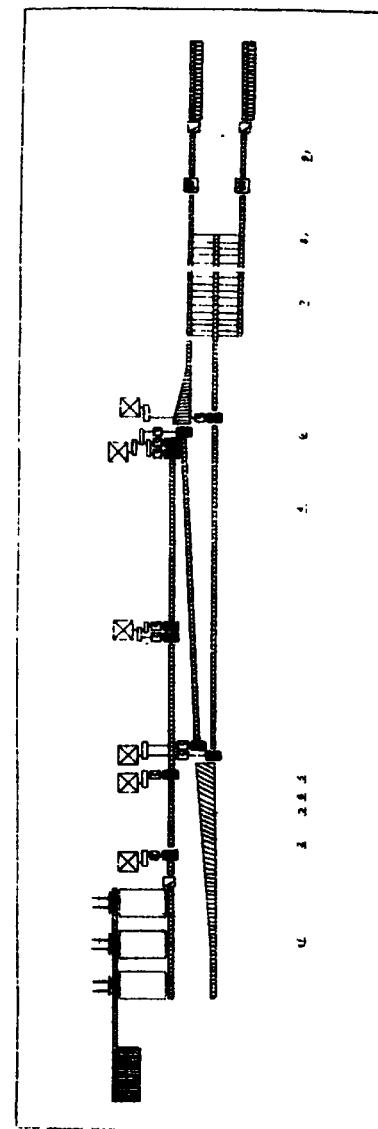


Рис. 18 - Схема расположения основного оборудования зерногодобывного стана ЗОБ.

Таблица 8

Характеристика шахматного стана 350

№ кле- тей	ди- аметр валков $D$ , мм	Длина бочки $L_b$ , мм	Окружная скорость $V$ , м/сек	Мощ- ность мотора $N$ , квт	Переда- точное число $i$	Расстоя- ние между клетями, мм
I	440	1000	1,28	385	6,75	-
II	440	1000	1,56		5,54	2354
III	440	1000	1,72	885	5,0	14996
IУ	440	1000	1,92-2,05	885	4,2	2150
У	360	850	1,41-1,91	553	6,25	25000
У1	360	850	1,74-2,65		4,12	32500
УП	360	850	2,13-3,25	1105	3,35	1732
УШ	364	850	2,86-5,84	1620	2,35	47968
IX	380	850	3,26-7,03		2,04	1706
X	380	850	5,97-11,94	1470	1,0	1706
XI	365	850	7,62-15,25	937	1,0	1706

1840 квт. Передача раскатов из У1 клети в УП и из УШ в IX осуществляется при помощи рольгангов с косорасположенными роликами. УШ и IX клети приводятся от электродвигателя мощностью 1250 квт. Чистовая клеть имеет индивидуальный приводной двигатель мощностью 735 квт.

#### Непрерывные среднесортные и мелкосортные стани

В последние годы все большее распространение получают непрерывные сортопрокатные стани. Основные преимущества их заключаются в том, что полоса в каждой клети делает по одному проходу, клети расположены настолько близко, что прокатываемая полоса находится одновременно в двух или нескольких клетях. Первое обстоятельство позволяет применить полную автоматизацию технологического процесса прокатки и таким образом получить высокую производительность стана. Благодаря компактному расположению рабочих клетей облегчается их обслуживание и уменьшается площадь цеха.

В настоящее время разрабатывается способ бесконечной прокатки на непрерывных сортовых станих. При бесконечной прокатке к заднему торцу предыдущей заготовки, уже прокатываемой на стане, приваривается передним торцом следующая заготовка. Таким образом исключаются паузы между раскатами и практически устраняются неблагоприятные моменты прокатки, а именно захват металла валками, сопровождающийся большими динамическими нагрузками, и неустанавливающийся процесс прокатки с изменяющимся числом задолженных одним раскатом клетей, что неблагоприятно сказывается на точности проката.

В качестве примера рассмотрим среднесортный непрерывный стан "350" и мелкосортные непрерывные стани "250".

Непрерывный среднесортный стан "350" бесконечной прокатки /рис.20/. Стан <sup>x/</sup> предназначен для прокатки круглой стали диаметром от 24 до 60 мм, квадратной и шестиугольной стали таких же размеров, полосовой стали 5-30x60±120 мм, угловой стали неравнобокой от 56x32 до 110x63 мм и равнобокой от 45x45 мм до 90x90 мм, балок двутавровых № 10 и швеллеров № 5-10. Прокатка производится из заготовок сечением 120x120 мм и 150x150 мм, длиной 11-12 м, весом 1340-2090 кг.

Предварительный нагрев заготовок до температуры 1100° производится в двух нагревательных печах с шагающим подом с торцевой загрузкой и выдачей металла.

Выданная из печи с шагающим подом заготовка подается к летучей стыковарочной машине. После сварки на летучей стыковарочной машине заготовки поступают в газовую секционную печь для нагрева до температуры 1100-1250°. Из секционной печи металл поступает на стан. Перед черновой группой клетей стана установлены аварийные ножницы, предназначенные для обрезки полосы при аварийной остановке черновой группы и для обрезки переднего дефектного конца заготовки.

Непрерывный среднесортный стан 350 состоит из 15 двухвалковых рабочих клетей, 9 из которых имеют горизонтальные валки, а 6 вертикальные. Расположены рабочие клети двумя непрерывными группами. Все клети имеют индивидуальные приводные электродвигатели с регулируемым числом оборотов. Максимальная скорость выхода полосы из последней клети составляет 15 м/сек.

<sup>x/</sup> Стан спроектирован ВНИИМЕТМАШ и Электростальтяжмостом.

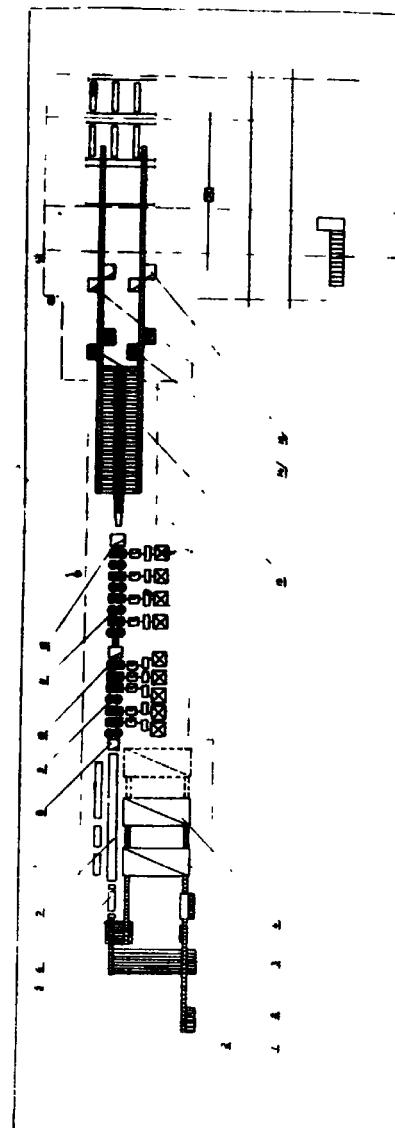


Рис.20 - Схема расположения оборудования непрерывного среднесортного стана бесконечной прокатки 350:  
1-передаточный валик, 2 - приемная решетка, 3 -звезда для взвешивания заготовок, 4 - печь с шагающим подом, 5-машина огневой резки, 6 - летучая стыко-сварочная машина, 7 - газовая секционная печь скоростного нагрева, 8-ножницы перед черновой группой клетей, 9 - черновая группа клетей, 10 - летучие ножницы за черновой группой клетей, 11 - чистовая группа клетей, 12 - летучие ножницы за чистовой группой, 13 - двухсторонний колодильник, 14 - правильные машины, 15 - лягущие машины.

Непрерывный мелкосортный стан 250 состоит из 23 рабочих клетей, расположенных тремя непрерывными группами /р.21/. Стан предназначен для прокатки круглой стали диаметром от 10 до 24 мм, квадратной стали 16x16мм, арматурной стали 10-20 и угловой стали 36x36x4 мм, 40x40x4 мм.

Исходная заготовка сечением 80x80 мм, длиной 12 м подается ящиком на загрузочные решетки реечного типа. В нагревательную печь заготовки подаются втаскивающим устройством, а в печи продвигаются толкателями кривошипного типа.

Черновая группа состоит из 7 горизонтальных клетей дуо с индивидуальными приводами. Прокатка здесь проводится в две нитки. Привод валков осуществляется от электродвигателей постоянного тока с регулируемым числом оборотов. Характеристика электродвигателей прокатных клетей приведена в таблице 9. Рабочие валки черновой группы имеют максимальный диаметр 370 мм и длину бочки 700 мм. Каждая чистовая группа состоит из восьми клетей с индивидуальным приводом. Максимальный диаметр валков чистовой группы равен 320 мм, длина бочки горизонтальных валков 600 мм, вертикальных - 400 мм.

Прокатка в черновой группе ведется с натяжением полосы за счет увеличения чисел оборотов валков последующих клетей. Натяжение снижает давление металла на валки, разгружает главные электродвигатели первых клетей и создает большую устойчивость полосы при прокатке. В чистовой группе прокатка ведется с небольшим натяжением, так как при прокатке с петлей при применяющихся высоких скоростях процесса /до 15м/сек/ ручное управление главными приводными двигателями становится

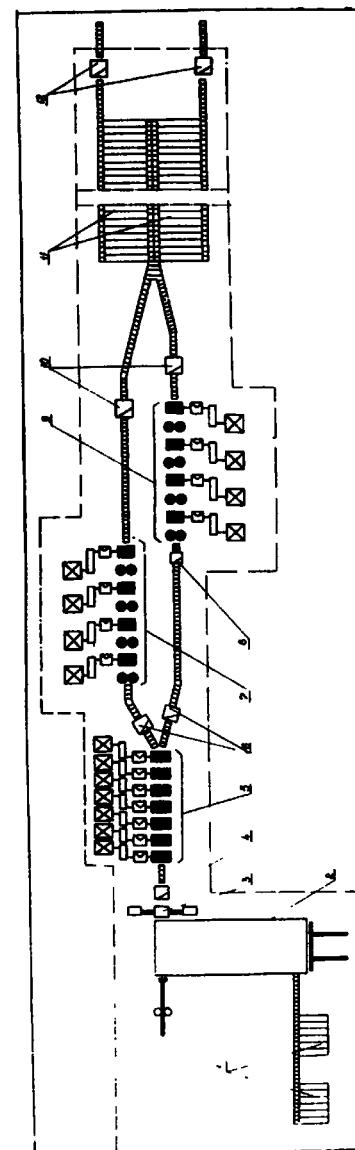


Рис.21 - Схема расположения оборудования непрерывного мелкосортного стана 250:  
1-выгрузочные решетки, 2-металлическая нагревательная печь, 3-вытяжки-  
ватели и распределитель, 4-делятальные ножницы, 5-черновая группа ра-  
бочих клетей, 6-аварийные ножницы, 7, 9 - левая сторона и правая чис-  
тотные группы рабочих клетей /с вертикальными и горизонтальными валками/,  
8 - "обрезные" ножницы, 10 - односторонние ножницы, 11 - двухсторонний  
холодильник, 12 - ножницы холодной резки.

Таблица 9  
Характеристика электродвигателей непрерывного  
мелкосортного стана 250

Кле- ти	Электродвигатель	Передаточное число	Число оборотов валков, об/мин
	мощность, квт	число сборо- тов, об/мин	
I	75	300-900	27
II	430	320-900	21,7
III	580	320-900	15,5
IV	580	320-900	11,0
V	680	320-800	7,5
VI	870	320-800	6,0
VII	870	320-800	4,5
VIII	2x 200	500-1500	5,0
IX	430	320-900	2,2
X	2x 200	500-1500	3,33
XI	580	320-900	1,75
XII	2x 200	500-1500	2,5
XIII	580	300-900	1,0
XIV	2x 200	500-1500	1,6
XV	580	300-900	0,77

практически невозможным. Между группами клетей полоса находится без натяжения.

Непрерывный мелкосортный стан 250 бесконечной прокатки /рис.22/ предназначен для прокатки круглой, квадратной и шестигранный стали размером 8-30 мм; полосовой стали 12-70хх1-20 мм; угловой стали № 2-4. Исходным материалом служит обжатая заготовка сечением 80x80 мм, длиной 12 м, поступающая с непрерывного заготовочного стана. Ниже приведено краткое описание отличия этого стана от описанного выше непрерывного стана 250.

Нагрев заготовок производится в двух методических нагревательных печах с монолитным никелевым подом. Нагрев до температуры 1100° заготовки свариваются встык на стационарной стыковой сварочной машине. Сварка производится путем оплавления и последующего скатия /осадки/ торцов. Продолжительность сварки 10 сек. В это время стан питается заготовкой из петлевого колодца.

Сваренная пletь после удаления грата и подогрева в индукционных печах до температуры прокатки поступает в первую рабочую клеть черновой группы. Собственно прокатный стан состоит из 23 рабочих клетей, расположенных четырьмя группами: черновая - 7 клетей, промежуточная - 4 клети, две чистовых по 6 клетей в каждой. Все клети имеют индивидуальные приводные электродвигатели с четырехкратным пределом регулирования.

Прокатка в черновой и промежуточной группах производится в две нитки, в чистовых группах прокатывается по одной нитке. В зависимости от размеров прокатываемого профиля про-

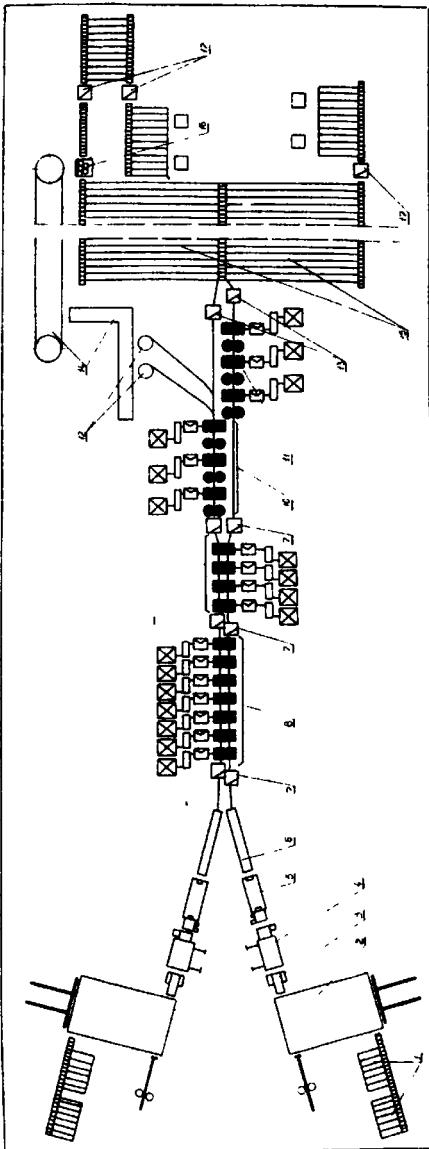


Рис. 22 - Схема расположения основного оборудования непрерывного мелкосортного стана бесконечной прокатки 250:  
 1-загрузочные решетки, 2 - нагревательные печи, 3 - трайбер и устройство для удаления окислов, 4 - стационарная сварочная машина, корректирующее устройство и гратос-смесьник, 5- петлевой колодец, 6 - индукционная печь, 7 - летучие кривошлипные ножницы, 8-1 черновая / обжимная/ группа, 9 - П черновая /промежуточная/ группа, 10 - левая чистовая группа, 11 - правая чистовая группа, 12 - моталки для сортового металла, 13 - листучие ножницы, 14 - конвейеры бунктов, 15 - холодильник, 16 - роликовая правильная машина, 17 - ножницы холодной резки.

- 67 -

изводится от 11 до 17 проходов. Скорость прокатки увеличивается с 0,15-0,69 м/сек в первой клети до 5,4-20 м/сек в последней.

В составе чистовых групп установлено по 3 комбинированных клети, у которых кассеты с валками можно устанавливать горизонтально или вертикально.

## 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОКАТКИ И КАЛИБРОВКИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Двутавровая балка прокатывается из начальной прямоугольной заготовки, поэтому деформация металла характерна своей значительной неравномерностью, особенно в первых проходах. Первым фасонным калибром, придающим раскату черновую форму балки, является разрезной калибр.

Разрезной калибр может иметь различную конфигурацию в зависимости от размера прокатываемой балки, способа калибровки и типа стапа. По способу вреза в валки разрезные калибры бывают с разъемом по середине и с разъемом у края фланцев.

В зависимости от условий захвата разрезающие гребни разрезного калибра делают более или менее притупленными. На некоторых заводах для разрезки заготовки используют так называемые "тупые гребни". Применение тупых гребней позволяет увеличить коэффициент вытяжки в разрезном калибре.

При невозможности из-за условий захвата получения нужной для прокатки балки заготовки в одном калибре применяют разрезку в двух разрезных калибрах сортового стана или получение разрезанной заготовки с заготовочного стана. Прокатка двутавровых балок крупных номеров на рельсобалочных станах

и ногда осуществляется из фасонных блумов, разрезанных в специальном разрезном калибре блуминга.

При построении разрезного калибра возможно 3 случая образования гребня / рис.23/. Случай, когда пересечение внутренних граней фланцев происходит на шейке, то есть  $b=0,5B$ . Такой случай вероятен при прокатке балок средних размеров.

При прокатке балок малых размеров по условию захвата можно увеличить деформацию металла в разрезном калибре. В этом случае

$$b < 0,5B,$$

и гребень получается тупым. Имеет место значительное боковое обжатие фланцев.

При прокатке крупных номеров по условию захвата обжатие не может быть взято таким, чтобы в разрезном калибре пересечение граней достигло шейки, поэтому

$$b > 0,5B,$$

Разрезанная заготовка поступает в балочные калибры. Балочные калибры бывают: прямые с ровной и с изогнутой шейкой /рис.24 а,б/, косые /рис.24,в/, универсальные /рис.24,г/ и симметричные /контрольные/ /рис.24,д/.

Рассмотрим деформацию металла в наиболее распространенном прямом балочном калибре. Калибр состоит из следующих элементов: шейки, открытых и закрытых фланцев. Шейка калибра образуется гребнями верхнего и нижнего валков; здесь происходит прямое обжатие шейки профиля.

Открытые фланцы образуются боковыми стенками бурта нижнего валка и гребня верхнего валка. Металл попадает в пространство, имеющее форму суживающегося клина и обжимается

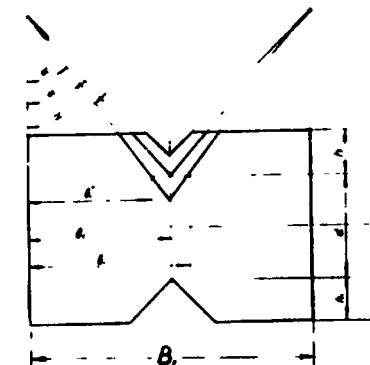


Рис.23 - Схема образования гребня разрезного калибра.

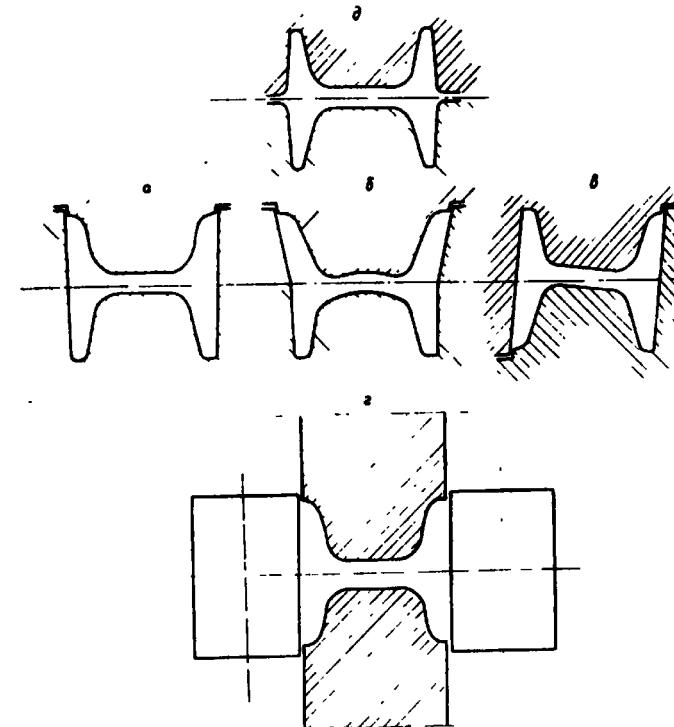


Рис.24 - Типы балочных калибров.

по толщине, получая, так называемое, боковое обжатие. Наличие бокового обжатия в открытых фланцах является важной особенностью прокатки двутавровых балок.

Закрытые фланцы врезаны в один валок, поэтому деформацию металла в них сравнивают с процессом волочения прутка через очко.

Положение открытых и закрытых фланцев чередуется в следующих друг за другом калибрах. Это дает возможность поочередно интенсивно обрабатывать верхнюю и нижнюю часть профиля без его кантовки. Наличие выпусков в калибре не позволяет получить профиль балки с параллельными наружными гранями полок.

При прокатке фланцевых профилей в том числе двутавровых балок, деформация металла в отдельных элементах профиля в процессе прокатки неравномерна; примерно одинаковы могут быть лишь конечные коэффициенты вытяжки  $\mu$  отдельных элементов. Из анализа последовательности заполнения балочного калибра металлом видно, что процесс деформации металла в балочном калибре можно разбить на 4 этапа [24].

В I этапе  $\mu_f > \mu_w$

Раскат захватывается по фланцам. Металл стремится течь вдоль полосы, в вытяжку. Так как шейка тормозит вытяжку фланцев в соответствии с их обжатием, часть металла из фланцев перемещается в шейку. Площадь поперечного сечения шейки несколько увеличивается.

Во II этапе  $\mu_f > \mu_w > 1$

Вследствие начавшейся контактной деформации шейки перетекание металла из фланцев прекращается и создается возможность для вытяжки всего обжимаемого металла фланцев. В

результате этого начинается интенсивный рост коэффициента вытяжки фланцев  $\mu_f$ .

В III этапе  $\mu_w > \mu_f > 1$

Начинается интенсивная деформация шейки. При незначительных коэффициентах вытяжки фланцев в этой части очага деформации создается возможность обратного перетекания металла из шейки во фланцы.

В IV этапе  $\mu_w = \mu_f > 1$

По мере приближения к выходу из очага деформации коэффициенты вытяжки отдельных элементов выравниваются. За счет неполного выравнивания коэффициентов вытяжки отдельных элементов в профиле могут возникнуть остаточные внутренние напряжения.

Косое расположение калибров /рис.24, в/ обеспечивает постоянство ширин калибра и параллельность наружных граней полок. При косой калибровке легче обжимать фланцы по толщине, то есть можно сократить число проходов, меньше износ валков и выводных проводок, сокращается объем механической обработки при переточках. Однако при прокатке в косых калибрах возникают осевые усилия, вызывающие осевое смещение валков. Для предотвращения осевого смещения на валках делают упорные рабочие конусы. Трудность прокатки при износе упорных конусов является одной из причин недостаточного распространения косой калибровки двутавровых балок. Кроме этого требуются более глубокие врезы в валки.

Универсальные клети /рис.24, г/ применяются в качестве чистовых клетей при прокатке обычных балок на крупносортных

и рельсобалочных станах и в качестве главных клетей при прокатке широкополочных балок и колонных профилей. Прямое обжатие осуществляется горизонтальными валками, а боковое - вертикальными. В таком калибре получают балки с параллельными наружными гранями полок. Внутренние грани имеют очень незначительный уклон или могут быть параллельными. Фланцы здесь можно прокатывать значительно более высокие, чем в обычных балочных калибрах. На отечественных заводах универсальные клети применяются в качестве чистовых на крупносортном стане "650" и на рельсобалочном стане "800" НТМК.

Симметричные балочные калибры / рис.24,д/ применяются только как контрольные для получения точных размеров по высоте фланцев перед прокаткой полосы в универсальных клетях. Прокатка балки во всех симметричных калибрах невозможна, так как в этих калибрах имеются только закрытые фланцы и калибр не раскрывается.

Облегченные балки и швеллеры отличаются от ранее применявшихся, так называемых нормальных размерами элементов и весом погонного метра. Толщина шейки и средняя толщина фланцев в облегченных балках стали примерно на 25 % меньше, при этом высота полок стала больше на 8% / кроме балок № 14 и 16/. Внутренний уклон фланцев изменился с 16,7% до 12%. Вес погонного метра готовой продукции снизился на 18-25%.

Основная особенность технологии производства балок и швеллеров по новому ГОСТу 8239-56 , 8240-56 является следствием главного различия между облегченными и нормальными профилями. Облегченные профили имеют большую разницу величин толщины шейки и средней толщины фланцев, чем это было в нормальных профилях /ГОСТ 10016-39/, поэтому перепад температур

между отдельными элементами стал больше. По данным завода "Азовсталь" при прокатке балок № 30, 36, 55 температура фланцев на 30-80°C выше температуры шейки. На КМК эта разность по сечению профиля к концу прокатки достигает 60-150°C причем большие величины относятся к средним и крупным балкам. При прокатке балок № 27 и 30 на НТМК разность температур доходила до 170°C /температура шейки 680-700°C, фланца 850-870°C/. В результате такого большого перепада температур по сечению профиля наблюдается новый вид брака двутавровых балок: волнистость по стенке в продольном направлении.

Для всех видов облегченных профилей характерно интенсивное охлаждение металла вследствие сравнительно небольшой их массы. Температура конца прокатки снизилась на 20-60°C. Повышения температуры конца прокатки добивается путем увеличения температуры начала прокатки на 20-60°C. На КМК с этой же целью применяют приспособления для сбыва воды и скалины с полотна полосы при помощи сжатого воздуха или пара. Перечисленные ниже особенности производства облегченных профилей являются в основном следствием низкой и неравномерной температуры раската.

Значительно снизилась износостойкость калибров. В основном снижение стойкости произошло на 20-50%, но в отдельных случаях достигает гораздо больших величин. Главными факторами, влияющими на усиленный износ калибров, является понижение абсолютной величины и повышение неравномерности температуры по сечению раската, увеличение высоты фланцев и снижение веса погонного метра профиля. При увеличении высоты фланцев увеличивается разность скоростей по высоте калибра, а следовательно и скольжение, вызванная им работа

сил трения и износ; в результате снижения веса погонного метра при одном и том же тоннаже проката работа калибров значительно усложнилась; общая длина полос металла, прокатываемых в калибре резко возросла. Расход валков на тонну проката оказался выше, чем при прокатке нормальных профилей. Расход валков в кг на погонный метр проката в разных случаях изменялся по разному.

Увеличения стойкости калибров можно добиться повышением скорости прокатки, применением валков с повышенной износостойкостью и увеличением выпусков промежуточных калибров.

По сравнению с прокаткой обычных балок и швеллеров прокатка облегченных профилей производится на более высоких скоростях, в большинстве случаев соответствующих максимальным числам оборотов двигателя. Увеличение скорости прокатки повышает темп и способствует сохранению температуры полосы.

Уменьшение скольжения металла по валкам и улучшение условий деформации открытых фланцев достигается применением калибров с увеличенными выпусками и изогнутой шейкой /рис. 246/. В этом случае делают выпуск закрытых фланцев 2%, а открытых от 10 до 20%. Применение изогнутой шейки облегчает поворот полок, так как поворот при этом происходит не только за счет изгиба фланцев, но и за счет перегиба шейки.

Валки с повышенной износостойкостью изготавливаются из среднелегированных и легированных чугунов и заэвтектоидных сталей. Хорошие результаты дало применение грубопрофилированных чугунных валков. Значительно увеличивает срок службы валков наплавка калибров порошковой проволокой под флюсом.

За счет наплавки повышается износостойкость калибров, увеличивается количество переточек, появляется возможность восстановления первоначальной ширины калибров.

Низкая температура конца прокатки /особенно по шейке профиля/ при незначительных толщинах раската вызывает большие упругие деформации, так называемую "пружину" деталей рабочих клетей стана. На отдельных чистовых и предчистовых клетях пружина достигает величины почти соизмеримой с толщиной шейки прокатываемой балки или швеллера. Для обеспечения нормальной работы станов и получения устойчивых размеров облегченных профилей, близких к номиналу, необходимы современные жесткие, лучше предварительно напряженные рабочие клети.

Опыт работы рельсобалочного и крупносортного станов НТМК показал большие преимущества чистовой универсальной клети. Применение таких клетей позволило сократить расход электроэнергии, облегчило настройку и прокатку на минус, так как появилась возможность регулировки толщины фланцев.

### 3. ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Исследование деформации металла и методам расчета калибров для прокатки фланцевых профилей в теории и практике прокатного производства уделяется большое внимание.

Практика прокатного производства показывает, что существующие методы и формулы для расчета фланцевых калибров зачастую не дают надежных данных и не отражают многих факторов и условий, требующих учета при калибровке.

Процесс прокатки в фланцевых калибрах является весьма

сложным и еще недостаточно изученным.

Обратимся к анализу характера деформации металла в двутавровом калибре в установившемся процессе, то есть при наличии одновременно как заднего, так и переднего внешних концов. Положение раската в калибре определяется из условия равнораспределения контактных сил; при этом необходимо учитывать возможные при пластической деформации изгибы элементов профиля и перетекание металла из одного элемента в другой. В двутавровом калибре с прямой шейкой положение профиля определяется постоянством оси шейки, а при изогнутой шейке некоторым определенным характером ее перегиба и наличием некоторого радиуса его центра.

На рис.25 представлено наложение двух последовательных калибров. Обозначим:

- $q_i$  - площадь открытого фланца  $i$ -го калибра;
- $q'_i$  - площадь закрытого фланца  $i$ -го калибра;
- $q_{i+1}$  - площадь открытого фланца последующего калибра;
- $q'_{i+1}$  - площадь закрытого фланца последующего калибра;
- $\Delta B_{i+1}$  - уширение в последующем калибре.

Остальные размеры видны из рисунка 25.

Принимая два фланца /верхний и нижний/ и находящийся между ними участок, являющийся продолжением шейки, как расположенный на ребро полосообразный элемент, имеем коэффициент вытяжки фланцев

$$(\mu_{i+1})_p = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1} (b_i + 0.5 \Delta B_{i+1})}$$

Здесь в числителе  $d_i b_i$  и в знаменателе  $d_{i+1} (b_i + 0.5 \Delta B_{i+1})$  являются площадями участков, служащих

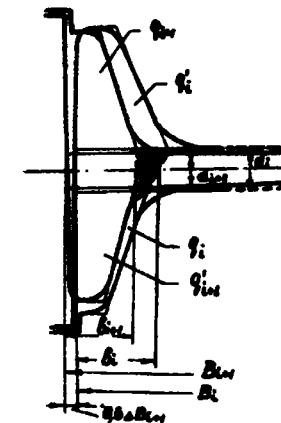


Рис.25 Наложение двух последовательных калибров

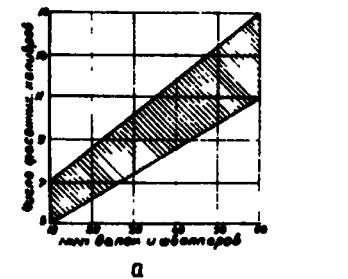
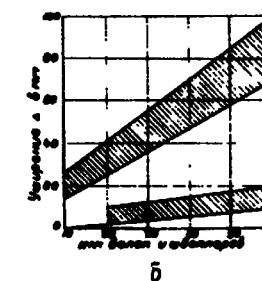


Рис.26 Графики для выбора числа фланцевых калибров /а/ и уширения /б/ при калибровке двутавровых балок и швеллеров.



продолжением шейки и входящих в площадь вертикального поло- сообразного элемента. Как нами было установлено ранее, за- штрихованная площадь шейки  $i+1$  калибра, входящая в зна- менатель выражения /П.1/, образовалась из металла фланцев задаваемого  $i$ -го раската.

Для определения коэффициента вытяжки шейки шириной  $B_i - 2\delta_i$  необходимо взять отношение задаваемой площади к вы- ходящей. Учитывая, что к моменту начала обжатия шейки калибр по ширине заполнен и металла шейки не может получить значи- тельного уширения, коэффициент вытяжки можно принять как отношение задаваемой и выходящей ее толщин

$$(\mu_{i+1})_w = \frac{d_i}{d_{i+1}} \quad /П.2/$$

Наименьшее перетекание металла в калибре, обусловлен- ное неравномерностью деформации в различных элементах про- филья по длине очага деформации, будет, по-видимому, при равенстве коэффициентов вытяжки всех элементов профиля. На практике, однако, в целях лучшего заполнения фланцев, в последних по ходу прокатки калибрах для шейки принимают коэффициенты вытяжки шейки больше, чем фланцев.

Обозначая соотношение коэффициентов вытяжки во фланцах и в шейке через  $K$ , на основании выражений /П.1/ и /П.2/ на- пишем выражение для коэффициента вытяжки  $+1$ -го калибра

$$\mu_{i+1} = \frac{q_i + q'_i + d_i \delta_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1} (b_i + 0.5 \Delta B_{i+1})} = K \frac{d_i}{d_{i+1}} \quad /П.3/$$

Преобразуя выражение /П.3/, получим

$$= \frac{d_{i+1} (q_i + q'_i)}{K (q_{i+1} + q'_{i+1} + 0.5 d_{i+1} \Delta B_{i+1}) - (1-K) (d_{i+1} \delta_i)} \quad /П.4/$$

Таким образом, мы получили выражения /П.4/ для опре- деления толщины шейки предыдущего по ходу прокатки калибра. Выражение /П.4/ может быть преобразовано для определения толщины шейки последующего калибра, если расчет калибров производить по ходу прокатки.

Структура выражения /П.4/ позволяет записать его в виде, пригодном для определения толщины шейки разрезного калибра, а именно:

$$d_p = \frac{d_i (q_i + q'_i)}{K (q_i + q'_i + 0.5 d_i \Delta B_{i+1}) - (1-K) d_i \delta_i} \quad /П.5/$$

Здесь обозначения с индексами  $i$  относятся к разрезному, а с индексами  $i+1$  к частовому калибрам.

Величина  $\Delta B_{i+1}$  представляет общее уширение во всех калибрах, кроме разрезного / $i$  есть от 2-го до чистового калибров включительно/.

Коэффициент  $K$  представляет произведение коэффициентов  $k$ , представляющих отношение коэффициентов вытяжки фланцев и шейки в отдельных калибрах.

$$K = K_1 K_2 \dots K_i \dots K_n \quad /П.5/$$

Если в первых по ходу прокатки калибрах  $K_i < 1$ , а в последних  $K > 1$ , то величина  $K$  может быть близкой к единице.

в частных случаях при  $K=1$  выражения /П.4/ и /П.5/ упрощаются

$$d_{i+1} = \frac{d_i (q_i + q'_i)}{q_i + q'_i + 0.5 d_i \Delta B_{i+1}} \quad /П.5a/$$

$$d_p = \frac{d_s(q_s + q'_s)}{q_s + q'_s + 0.5 d_s \Delta B_{s,s}} \quad /П.5а/$$

В выражениях /П.4а/ и /П.5а/ для двутавровых балок обычно имеем

$$q_i = q'_i; \quad q_{is} = q'_{is}; \quad q_s = q'_s \quad \text{и} \quad q_i = q'_i$$

Обратимся к вопросу о числе калибров при прокатке фланцевых профилей. В условиях производства число проходов на стане, а следовательно, и число калибров, устанавливается, исходя из совокупности конкретных условий, а именно: мощности приводного двигателя, прочности и износостойкости валков, температуры прокатки, условий захвата, марки стали, качества проката и т.п.

В практике прокатного дела число проходов для того или иного фланцевого профиля является более или менее установленным и изменяется в сравнительно узких пределах.

На рис.26,а представлен график для выбора числа фланцевых калибров /включая разрезной/ при прокатке двутавровых балок и швеллеров. По этому графику может быть выбрано в указанных пределах то или иное число калибров, причем минимальной /нижней/ границы очерченного поля рекомендуется придерживаться при наиболее благоприятных условиях /мощный двигатель, высокая температура прокатываемого металла, хорошее его качество и т.д./, а верхней границы – при противоположных условиях.

В настоящее время в связи с улучшением качества стали на многих заводах, а также с увеличением температуры и скорости прокатки, повышением износостойкости валков и др. факторам, наблюдается вполне правильная тенденция к сокращению числа проходов при прокатке фланцевых профилей.

Перейдем к вопросу о горизонтальном уширении металла в фланцевых калибрах /его иногда называют уширением щеки/. Практика заводов показывает, что это уширение может находиться в весьма широких пределах при достаточно удовлетворительных результатах работы прокатного стана. В случае сильного ограничения уширения будет наблюдаться несколько большее увеличение высоты открытого фланца и меньшая утяжка закрытого фланца.

На основании данных хорошо работающих калибровок выбор уширения в фланцевых калибрах для прокатки двутавровых балок и швеллеров можно рекомендовать производить по графику рис.26,б. Здесь верхними линиями ограничено поле общего уширения во всех фланцевых калибрах, кроме разрезного, и нижними линиями поле уширения для разрезного калибра, как закрытого, так и полузакрытого.

В закрытом калибре уширение металла ограничено, и для лучшего заполнения фланцев оно выбирается обычно небольшим. В полузакрытом калибре значительного ограничения уширения нельзя достичь из-за возможности вытекания металла в зазор, расположенный на середине высоты калибра. Эти особенности конструкции разрезных калибров сказываются на том, что при одних и тех же размерах для полузакрытого калибра требуется заготовка меньшей ширины, но большей высоты, чем для закрытого.

Что касается удлинения и утяжки фланцев в балочных калибрах, то для их определения предложены различные методы и формулы. Однако пользование ими не может дать вполне надежных результатов, ибо увеличение утяжки и удлинение зави-

сят не только от скоростных факторов прокатки, на что было указано еще Грум-Гримайлло [30], и защемляющего действия закрытого фланца, но и от степени ограничения горизонтального уширения в калибре. Для учета последнего не предложено никаких-либо методов и формул. Поэтому в настоящее время приходится рекомендовать пользоваться практическими данными: по утяжке в закрытых фланцах в пределах 5-8 мм и по удлинению в открытых фланцах в пределах 0-2 мм / большие цифры для больших номеров балок/.

Наиболее удачной нам представляется нижеследующая методика и последовательность расчета фланцев.

Наложим фланцы чистового и разрезного калибров таким образом, чтобы совпадали их основания и внешние грани / их уклоны и закругления в расчет не вводим, так как на результаты расчета они мало сказываются/. Построения и все обозначения приведены на рис.27.

Высота фланцев чистового калибра  $h_y$  принимается по размерам готового профиля с учетом температурной усадки и минимальных допусков. Для определения высоты фланцев разрезного калибра необходимо, предварительно установив число калибров и чередование открытых и закрытых фланцев, выбрать величины удлинения и утяжки фланцев в калибрах.

Высота фланцев разрезного калибра

$$h_p = h_y + \sum \Delta h_{yt} - \sum \Delta h_{yel} \quad /II,7/$$

где  $\sum \Delta h_{yt}$  - общая утяжка в закрытых фланцах;

$\sum \Delta h_{yel}$  - общее удлинение в открытых фланцах.

Утяжка фланцев в разрезном калибре в выражении /II,7/ не учитывается. Следует иметь в виду, что при общепринятым

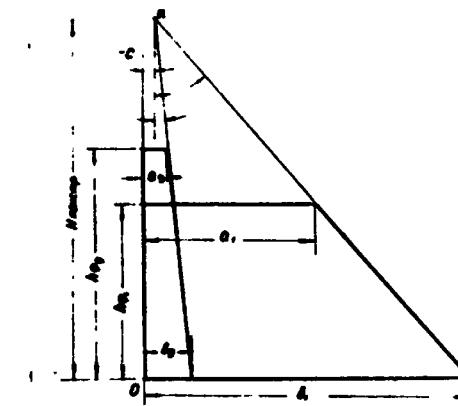


Рис.27 Схема определения координат конструкционной точки.

чередовании закрытых и открытых фланцев каждый нечетный против хода прокатки калибр имеет относительно горизонтальной оси калибра симметричную форму /или почти симметричную, если удлинение и утяжка во всех калибрах или в парах приняты неодинаковыми/.

После наложения фланцев проводим продолжение их внутренних граней до пересечения в конструкционной точке Р. Примем центр координат в точке О и обозначим координаты точки Р через  $e$  и  $c$ . Их значения определяются

$$c = \frac{e + b_2}{tg\alpha_2} = \frac{e + b_p}{tg\alpha_p} \quad /П,8/$$

откуда

$$e = \frac{b_p tg\alpha_p - b_2 tg\alpha_p}{tg\alpha_p - tg\alpha_2} \quad /П,9/$$

здесь

$$tg\alpha_2 = \frac{b_2 - a_2}{h_2}; \quad tg\alpha_p = \frac{b_p - a_p}{h_p} \quad /П,10/$$

для пользования приведенными выражениями необходимо знать большое и малое основания фланца разрезного калибра. Величина большого основания  $b_p$  может быть выбрана в зависимости от ранее найденной, исходя из уширения разрезного калибра  $B_p$ .

$$b_p = \beta B_p \quad /П,11/$$

Коэффициент  $\beta$  может быть как более, так и менее 0,5, что устанавливается по условиям захвата в разрезном калибре /см. ниже примерный расчет/.

На рис.28' нетрудно найти величину малого основания фланца разрезного калибра

$$a_p = a_2 \frac{b_p}{b_2} \quad /П,12/$$

При принятом построении основания закрытых и открытых фланцев изменяются неодинаково. Это объясняется тем, что закрытый фланец претерпевает большую утяжку, а открытый фланец удлиняется, правда, на незначительную величину. В результате этого при одинаковой площади фланцев основания закрытого фланца несколько увеличиваются, а открытого уменьшаются против тех величин, которые имели бы место при одинаковом изменении высоты обоих фланцев.

Указанное обстоятельство является благоприятным для балочного профиля, ибо расширение закрытых фланцев способствует лучшему входению продавливаемого в них металла, а в открытых фланцах происходит усиленная деформация за счет бокового обжатия.

Наблюдения показывают, что в процессе работы износ части ручья, соответствующий открытому фланцу, более интенсивен, особенно у окончания фланца, чем износ ручья закрытого фланца, особенно в дне его. Это приводит к постепенному утолщению открытого фланца и менее значительному утолщению закрытого фланца, что неблагоприятно сказывается на работе калибров.

В тех случаях, когда указанный износ приводит к значительной утяжке фланцев /от заклинивания в закрытом фланце утолщенного открытого фланца/, целесообразно при конструировании открытых фланцев немного уменьшить их малое основание путем уменьшения ординаты С конструктивной точки Р. Это приведет к менее опасному увеличению нижнего основания открытого фланца.

Площадь фланца разрезного калибра

$$q_p = 0,5 h_p (a_p + b_p) \quad /П,13/$$

Общий коэффициент вытяжки фланцев от разрезного калибра к чистовому определяется

$$\mu_{1-\varphi} = \frac{q_0}{q_i} \cdot \mu_{\varphi_1} \cdot \mu_{\varphi_2} \cdots \mu_{\varphi_n} \quad /II,14/$$

При выбранном числе калибров и полученной величине

$\mu_{1-\varphi}$  нетрудно подбором найти ряд частных коэффициентов вытяжки фланцев  $\mu_{\varphi_i}$ , произведение которых дает  $\mu_{1-\varphi}$ . При этом ограниченным в узких пределах выбирается коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $\mu_{\varphi} = 1,08 \pm 1,14$ . Максимальные коэффициенты вытяжки принимаются для первых, иногда средних /обычно из условий равномерной загрузки приводного двигателя стана/ калибров.

Выражение /II,14/ позволяет определить площади фланцев всех промежуточных калибров, что дает возможность воспользоваться выражением /II,14/ для нахождения толщины шейки во всех калибрах.

Для расчета размеров фланцев промежуточных калибров служат формулы

$$t q \alpha_i = \frac{0,5(a_i + b_i) + e}{c - 0,5h_i} \quad /II,15/$$

$$b_i = c t q \alpha_i - e; \quad a_i = \frac{2q_i}{h_i} - b_i \quad /II,15/$$

Перейдем к вопросу о форме разрезного калибра и размерах поступающей в него заготовки. Высокая температура металла позволяет иметь в разрезном калибре максимально возможное обжатие. С другой стороны большая деформация позволяет из прямоугольной начальной заготовки быстрее получить фасонный чешновой профиль как первое приближение к конечному двутавровому профилю. Поэтому форма и размеры разрезного калибра должны выбираться из условий их соответствия готовому профилю

и максимальной деформации. Последняя определяется из условий захвата в начальный момент гребнями валков, которые обычно насекаются для увеличения допускаемого угла захвата до 35-38° /при небольшой скорости захвата/. Улучшение захвата происходит также от утолщения стенки при удачно выбранных закруглениях мест перехода из фланца в шейку.

При выборе формы и размеров разрезного калибра исходит из его ширины и полученных расчетом величин высоты открытого и закрытого фланцев и толщины стенки. Для определения толщины фланцев вначале задается размером нижнего их основания. Для крупных балок величина нижнего основания берется больше половины ширины калибра /0,35-0,65/, что дает пересечение внутренних граней фланцев вне шейки. Для балок малых размеров, наоборот, нижнее основание фланца выбирается меньше половины ширины калибра /0,35-0,45/. Средние размеры балок занимают промежуточное положение. При таком построении разрезного калибра и соответствующем закреплении мест сопряжения фланцев и шейки проверка по углу захвата требует меньших корректировок размеров основания фланцев.

Для выбора уширения в закрытом и полузакрытом разрезных калибрах используется график на рис. 25,б. На основании этого определяется ширина заготовки  $B_0$ .

Определение высоты заготовки требует учета утяжки высоты фланцев, вызванной неравномерной деформацией металла в разрезном калибре. Обратимся вначале к нахождению высоты заготовки для полузакрытого разрезного калибра.

Обозначим через  $H_0$  высоту заготовки, необходимую для заполне-

ния разрезного калибра высотой  $H_p$ . Разобьем мысленно заготовку вертикальными сечениями на три части: две крайних шириной  $B_a$  и среднюю ширину  $B_o-2B_a$ . Размер  $B_a$  выбран так, что металл средней части идет на образование средней части разрезного калибра шириной  $B_p-2a_p$ , металл крайних частей соответственно образует два крайних вертикальных прямоугольника шириной  $a$  и высотой  $H_p$ . При этом условия коэффициенты вытяжки частей одинаковы.

$$\frac{H_o B_a}{H_p a_p} = \frac{H_o (B_o - 2B_a)}{h'_c (B_p - 2a_p)} \quad /II,17/$$

откуда

$$B_a = \frac{H_o a_p B_o}{B_p h'_c + 2a_p (H_p - h'_c)} \quad /II,18/$$

где  $h'_c$  - средняя высота средней части разрезного калибра.

Естественная /частная/ вытяжка средней части заготовки больше, чем крайних частей, которые подвергаются утяжке /принудительной вытяжке/. Примем, что утяжка относительно одинакова по высоте и ширине фланцев, то есть

$$\frac{H_o}{H_p} = \frac{B_a}{a_p}, \quad H_o = \frac{B_a H_p}{a_p} \quad /II,19/$$

Подставляя /II,18/ в /II,19/, имеем

$$= \frac{H_o^2 B_o}{B_p h'_c + 2a_p (H_p - h'_c)} \quad /II,20/$$

Знаменатель представляет собой площадь сечения разрезного калибра  $q_p$ . В итоге получаем формулу А.П.Чекмарева

$$H_o = \frac{H_o^2 B_o}{q_p} \quad /II,21/$$

Формула /II,21/ дает минимально необходимую высоту заготовки при свободном /или близком к свободному/ уширении. Такая формула пригодна для определения высоты заготовки к разрезному полузакрытому калибру или закрытому калибру с большим простором на уширение / больше: чем дает график на рис.26,б/.

Выразим коэффициент вытяжки через размеры крайних полос до и после прокатки

$$\mu = \frac{H_o B_a}{H_p a_p} \quad /II,22/$$

Учитывая /II,19/, имеем коэффициент утяжки высоты фланцев

$$K_y \frac{H_o}{H_p} = \sqrt{\mu} \quad /II,23/$$

Формулой /II,23/ можно воспользоваться для определения высоты фланцев в полузакрытом разрезном калибре блуминга при нескольких проходах в одном калибре с опусканием валка.

Поскольку  $\mu = \frac{H_o B_o}{q_p}$ , имеем  $H_o = H_p \sqrt{\frac{H_o B_o}{q_p}}$ , откуда также получаем

$$H_o = \frac{H_p B_o}{q_p}$$

Таким путем формулу /II,21/ получил М.С.Мутьев.

Найдем теперь высоту заготовки для закрытого разрезного калибра. На основании экспериментальных данных можно принять, что в начале очага деформации разрезающие гребни, проникая на небольшую глубину в заготовку, оттесняют без вытяжки обжимаемый металл в стороны, до соприкосновения с боковыми стенками калибра. Поэтому можно записать

$$q' = H_o (B_p - B_o) \quad /II,24/$$

При дальнейшем внедрении гребней валков в заготовку происходит только вытяжка металла, так как калибр заполнен по ширине. Коэффициент естественной вытяжки средней части

$$\mu_2 = \frac{H_o(B_p - 2a) - H_o(B_p - B_o)}{q_p \cdot 2H_p a_p} = \frac{H_o(B_o - 2a_p)}{q_p \cdot 2H_p a_p} \quad / \text{П.25/}$$

Коэффициент общей /усредненной/ вытяжки в калибре определяется из выражения

$$\mu_c = \frac{2\mu_1 + \mu_2 q_2}{2q_1 + q_2} = \frac{H_o B_o}{q_p} \quad / \text{П.26/}$$

где  $\mu_1$ ;  $\mu_2$  и  $q_1$ ;  $q_2$  - коэффициенты естественной вытяжки и, соответственно, крайней и средней частей.

При свободном уширении вследствие выравнивания вытяжки из средней части в крайние перетекает

$$\Delta q = q_2 \left( \frac{\mu_2}{\mu_c} - 1 \right) \quad / \text{П.27/}$$

Подставляя  $\mu_2$  из /П.25/ и  $\mu_c$  из /П.26/ в /П.27/, имеем

$$\Delta q = (q_p \cdot 2H_p a_p) \left[ \frac{H_o(B_o - 2a_p) q_p}{(q_p \cdot 2H_p a_p) H_o B_o} - 1 \right] = \frac{2a(B_o H_p - q_p)}{B_o} \quad / \text{П.28/}$$

При наличии наклона стекок разрезающего гребня и связанного с их внедрением в заготовку бокового обкатки из шейки во фланцы будет перетекать

$$\Delta q_\phi = K \Delta q = \frac{H_p - d_w}{(H_p - d_w) + (B_p - 2a)} \cdot \Delta q; \quad / \text{П.29/}$$

Здесь коэффициент  $K$  представляет отношение вертикальной проекции гребня к сумме его вертикальной и горизонтальной проекций. Это отношение характеризующее степень наклона гребней, позволяет учесть количество поступающего из средней части заготовки металла во фланцы. Этот металл частично

компенсирует утяжку высоты и ширины фланцев, подвергающихся принудительно вытяжке от  $H$  до  $H_c$ .

Принимая во внимание выражение /П.19/, имеем количество /сечение/ металла, идущее на приращение высоты фланцев, подвергнутых утяжке

$$\Delta q_\phi = 0.5 K \Delta q \quad / \text{П.30/}$$

Происходящее за счет этого изменение высоты фланцев равно

$$\Delta h_\phi = \frac{0.5 K \Delta q}{2a} \quad / \text{П.31/}$$

Таким образом, высота заготовки для закрытого разрезного калибра равна

$$H_p' = H_p + \Delta h_\phi = \frac{H_o}{\sqrt{\mu}} + \Delta h_\phi \quad / \text{П.32/}$$

где  $H_p'$  - высота металла в разрезном калибре с свободным уширением, определяемая из /П.21/.

Из /П.32/ и /П.21/ имеем

$$H_o = H_p \sqrt{\frac{B_o H_p}{q_p}} - \sqrt{\frac{B_o H_o}{q_p}} \left( \frac{0.25 K \Delta q}{a} \right)$$

откуда

$$H_o = \frac{B_o}{q_p} \left( H_p - \frac{0.25 K \Delta q}{a} \right)^2 \dots \quad / \text{П.33/}$$

где  $K$  и  $\Delta q$  определяются из выражений /П.29/ и /П.28/.

Ниже для пояснения изложенной методики приведен примерный расчет калибровки облегченной двутавровой балки № 24.

#### 4. ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ

##### Калибровка облегченной двутавровой балки № 24

##### Исходные данные

Произвести расчет калибровки для прокатки двутавровой балки № 24 на стане дуо  $\mathcal{L}_0=800$  мм. Размеры холодного профиля балки № 24 и допуски по ГОСТ 8239-56 уклон внутренней грани полок допускается не более 12% /рис.28/.

Пользуясь графиком /рис.26/, выбираем 8 фланцевых калибров.

Учитывая износ валков и целесообразность прокатки на минус, а также температурную усадку профилей, примем следующие размеры чистового калибра:

Ширина / высота балки /

$$B_7 = B_8 / 240 - 2,5 / 1,012 = 240,3 \text{ мм} \approx 240 \text{ мм.}$$

Высота /ширина полки/.

$$H_7 = H_8 / 115 - 2,0 / 1,012 = 114,4 \text{ мм} \approx 114 \text{ мм.}$$

Средняя толщина фланцев

$$t_7 = t_8 / 9,5 - 0,3 / 1,012 = 9,3 \text{ мм.}$$

Толщина шейки

$$d_7 = d_8 / 5,6 \cdot 1,012 = 5,7 \text{ мм}$$

Высота фланца

$$h_7 = h_8 - \frac{h_8 - 5,7}{2} = 54,15 \text{ мм} \approx 54,0 \text{ мм}$$

Большое основание фланца

$$\beta_7 = \beta_8 + 0,5 h_8; t_7 \varphi = 9,3 + 0,5 \cdot 54,0 \cdot 0,012 = 12,5 \text{ мм}$$

Малое основание фланца

$$a_7 = a_8 - 2t_8 - \beta_8 = 2,9,3 - 12,6 = 6,1 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения фланца

$$q_{\text{ф}} = q_{\text{ф}} \cdot t_8 \cdot h_8 = 9,3 \cdot 54,4 = 502 \text{ мм}^2$$

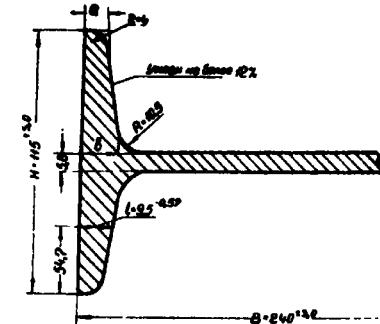


Рис.28 Размеры двутавровой балки № 24 по ГОСТ 8239-56

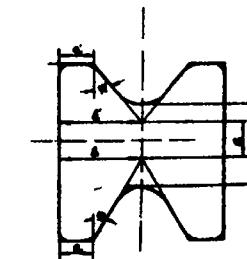


Рис.29 Схема закругления гребней разрезного калибра

Таблица 10.

- 90 -

Площадь поперечного сечения чистового калибра

$$Q_2 = Q_1 + B_2 d_2 = 4.502 + 240.5 \cdot 7 = 3375 \text{ мм}^2$$

Отношение оснований фланца

$$\frac{a_2}{b_2} = \frac{6,1}{12,5} = 0,49$$

Уширение предварительно выбираем по графику /см.рис. 27/

для разрезного калибра  $\Delta B_1 = 5 \text{ мм};$ для остальных калибров  $\Sigma \Delta B_{2-8} = 40 \text{ мм};$ общее уширение  $\Sigma \Delta B_{1-8} = 45 \text{ мм};$ 

ширина заготовки

$$B_o = B_2 - \Sigma \Delta B_{1-8} = 240 - 45 = 195 \text{ мм.}$$

Ширина разрезного калибра

$$B_1 = B_o + \Delta B_1 = 195 + 5 = 200 \text{ мм.}$$

В том случае, если производилось округление ширины заготовки, уширение в балочных калибрах /кроме разрезного/ следует определить окончательно:

$$\Sigma \Delta B_{2-8} = B_{1o} - B_1$$

Выбираем утяжку металла в закрытых фланцах 6 мм и удлинение в открытых фланцах 1,0 мм.

В таблице 10 приведена высота фланцев всех калибров с учетом чередования мест разъема валков. В чистовом калибре открытый фланцем является верхний, закрытым нижний.

Большое основание открытого фланца разрезного калибра /рис. 23/ принимаем

$$b_1 = 0,5 B_1 = 0,5 \cdot 200 = 100,0 \text{ мм.}$$

Малое основание того же фланца:

$$a_1 = \frac{a_2}{b_2} b_1 = 0,49 \cdot 100 = 49,0 \text{ мм.}$$

## Высота фланцев

пп	Фланцы	Калибр							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Высота фланцев, мм									
1.	верхние	закр. 68	откр. 69	закр. 63	откр. 64	закр. 58	откр. 59	закр. 53	откр. 54
2.	нижние	откр. 75	закр. 69	откр. 70	закр. 64	откр. 65	закр. 59	откр. 60	закр. 54

Площадь поперечного сечения открытого фланца

$$q_{\Phi_1} = \frac{a_1 + b_1}{2} h_1 = \frac{49 + 100}{2} \cdot 75 = 5590 \text{ мм}^2$$

Угол наклона разрезающего гребня:

$$tg\varphi_1 = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = \frac{100 - 49}{75} = 0,680.$$

Координаты конструкционной точки определяем /рис.27/:

$$C = \frac{b_1 t g \varphi_1 - b_1 t g \varphi_1}{t g \varphi_1 - t g \varphi_1} = \frac{100 \cdot 0,12 - 12,5 \cdot 0,68}{0,68 - 0,12} = 6,2 \text{ мм.}$$

$$C = \frac{e + b_1}{t g \varphi_1} = \frac{6,2 + 100}{0,68} = 156,3 \text{ мм}$$

Площадь закрытого фланца равна площади открытого:

$$q_{\Phi_1}' = q_{\Phi_1} = 5590 \text{ мм}^2$$

Средняя толщина закрытого фланца:

$$t_1' = \frac{q_{\Phi_1}'}{h_1} = \frac{5590}{68} = 82,0 \text{ мм}$$

Угол наклона разрезающего гребня:

$$tg\varphi_1' = \frac{t_1' + e}{C - 0,5 h_1} = \frac{82,0 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 68} = 0,722$$

Большое основание закрытого фланца:

$$b_1' = C \cdot tg\varphi_1' - e = 156,3 \cdot 0,722 - 6,2 = 113,0 \text{ мм.}$$

Малое основание закрытого фланца

$$d_1 \cdot 2t_1 \cdot b_1 = 2.82 \cdot 113 = 51,0 \text{ мм.}$$

Толщина шейки разрезного калибра:

$$d_1 = \frac{2q_{\varphi} \cdot d_0}{2q_{\varphi} + 0,5d_0 + \Sigma aB_{2-6}} = \frac{2.5590 \cdot 5,7}{2.502 + 0,5 \cdot 5,7 \cdot 4,0} = 57,0 \text{ мм}$$

Для обеспечения захвата полосы валками принимаем толщину шейки с учетом закруглений гребня равной /рис.29/:

$$d_1 = 120 \text{ мм.}$$

Общая высота калибра:

$$H = h_1 + h_2 + d_1 = 75 + 68 + 57 = 200,0 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения разрезного калибра  $Q_1$  с учетом закруглений равна  $34000 \text{ мм}^2$ .

Для определения высоты исходной заготовки используем /13/, /12/ и /17/

$$\frac{H_p - d_1}{(H_p - d_1) + (B_0 - 2t_1)} = \frac{200 - 120}{200 - 120 + 200 - 100} = 0,44$$

$$Aq = \frac{2a(B_0 H_p - q_N)}{B_0} = \frac{100/195 \cdot 200 - 34000}{195} = 2500 \text{ мм}^2$$

$$H_0 = \frac{B_0}{q_p} \left( H_p - \frac{0,25K_{49}}{a} \right)^2 = \frac{195}{34000} / 200 - \frac{0,25 \cdot 0,44 \cdot 2500}{50} = 222 \text{ мм.}$$

Принимаем, округляя, ближайшую большую возможную величину

$$H_0 = 230 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре:

$$\mu_1 = \frac{230 \cdot 195 \cdot 0,98}{34000} = 1,29$$

Угол захвата в начальный момент:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{1 - \frac{230 - 120}{800 - 120}}{1} = 33^\circ$$

Захват обеспечивается при насечке гребней валков.

Угол захвата по усредненному обкатию при установившемся процессе прокатки:

$$\alpha_1 = \arccos \left( \frac{\frac{H_0 - d_1}{B_0}}{D_0 - d_1} \right) = \arccos \frac{1 - \frac{230 - 57}{800 - 120}}{1 - \frac{200}{800 - 120}} = 24^\circ.$$

### Расчет промежуточных калибров

Общий коэффициент вытяжки во фланцах:

$$\sum \mu_{\varphi_{2-9}} = \frac{q_{\varphi_1}}{q_{\varphi_2}} = \frac{5590}{502} = 11,12.$$

Выбираем коэффициенты вытяжки во фланцах по проходам  $\sum \mu_{\varphi_{n-1}} = \mu_{\varphi_1} \cdot \mu_{\varphi_2} \cdots \mu_{\varphi_n} / \mu_{\varphi_0} = 1,55 \cdot 1,58 \cdot 1,55 \cdot 1,48 \cdot 1,38 \cdot 1,27 \cdot 1,13 = 11,12$ .

Определим площадь поперечного сечения фланцев по проходам

$$q_{\varphi_1} = q_{\varphi_2} \cdot \mu_{\varphi_1} = 502 \cdot 1,13 = 566 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_2} = q_{\varphi_3} \cdot \mu_{\varphi_2} = 566 \cdot 1,27 = 720 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_3} = 720 \cdot 1,38 = 992 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_4} = 992 \cdot 1,48 = 1470 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_5} = 1470 \cdot 1,55 = 2280 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_6} = 2280 \cdot 1,58 = 3600 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_7} = 3600 \cdot 1,55 = 5590 \text{ мм}^2.$$

Общий коэффициент уменьшения толщины шейки:

$$\eta_2 = \frac{d_1}{d_8} = \frac{57,0}{5,7} = 10,0.$$

Общий коэффициент уменьшения толщины шейки меньше общего коэффициента вытяжки фланцев вследствие того, что часть металла из фланцев переходит в шейку / за счет образования части шейки из фланцев/.

Принимаем для шейки ряд коэффициентов обкатки

$$\eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \eta_7 \cdot \eta_8 = 1,55 \cdot 1,55 \cdot 1,52 \cdot 1,46 \cdot 1,36 \cdot 1,24 \cdot 1,11 = 10,0.$$

Определяем толщины шейки в калибрах:

$$d_2 = \frac{d}{\eta_2} = \frac{57,0}{1,55} = 36,7 \text{ мм}; \quad d_3 = \frac{36,7}{1,55} = 23,7 \text{ мм};$$

$$d_4 = \frac{23,7}{1,52} = 15,6 \text{ мм}; \quad d_5 = \frac{15,6}{1,46} = 10,7 \text{ мм}; \quad d_6 = \frac{10,7}{1,36} = 7,8 \text{ мм};$$

$$d_7 = \frac{7,8}{1,24} = 6,3 \text{ мм}; \quad d_8 = \frac{6,3}{1,11} = 5,7 \text{ мм}.$$

Уширение в калибре принимаем пропорциональным деформации шейки <sup>x/</sup> и общее уширение распределяем, пользуясь относительным приращением длины шейки. Сумма величин относительного приращения длины шейки равна:

$$0,55+0,55+0,52+0,46+0,36+0,24+0,11 = 2,79.$$

Коэффициент пропорциональности

$$m = \frac{\sum \Delta B_{2-8}}{\sum (\mu_{\varphi}-1)} = \frac{40}{2,79} = 14,4.$$

Уширение по проходам:

$$\Delta B_2 = m(\mu_2 - 1) = 14,4 \cdot 0,55 = 7,9 \text{ мм}; \quad \Delta B_3 = 14,4 \cdot 0,55 = 7,9 \text{ мм};$$

$$\Delta B_4 = 14,4 \cdot 0,52 = 7,4 \text{ мм}; \quad \Delta B_5 = 14,4 \cdot 0,46 = 6,6 \text{ мм};$$

$$\Delta B_6 = 14,4 \cdot 0,36 = 5,3 \text{ мм}; \quad \Delta B_7 = 14,4 \cdot 0,24 = 3,3 \text{ мм};$$

$$\Delta B_8 = 14,4 \cdot 0,11 = 1,6 \text{ мм}.$$

Ширина калибров:

$$B_2 = B_1 + \Delta B_2 = 200 + 7,9 = 207,9 \text{ мм}; \quad B_3 = 207,9 + 7,9 = 215,8 \text{ мм};$$

$$B_4 = 215,8 + 7,4 = 223,2 \text{ мм}; \quad B_5 = 223,2 + 6,6 = 229,8 \text{ мм};$$

$$B_6 = 229,8 + 5,3 = 235,1 \text{ мм}; \quad B_7 = 235,1 + 3,3 = 238,4 \text{ мм};$$

$$B_8 = 238,4 + 1,6 = 240,0 \text{ мм}.$$

Определим размеры оснований фланцев.

<sup>x/</sup> Можно также принимать уширение пропорционально деформации фланцев.

### II калибр

В этом калибре открытые и закрытые фланцы одинаковы.

Средняя толщина фланца

$$t_2 = \frac{q_{\varphi_2}}{h_2} = \frac{3600}{69} = 52,2 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки фланца:

$$tg\varphi_2 = \frac{t_2 + e}{c - 0,5h_2} = \frac{52,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 69} = 0,48$$

Большое основание фланца

$$b_2 = c \cdot tg\varphi_2 \cdot e = 156,3 \cdot 0,48 - 6,2 = 68,8 \text{ мм}$$

Малое основание фланца

$$a_2 = 2l_2 - b_2 = 2 \cdot 52,2 - 68,8 = 35,6 \text{ мм}$$

### III калибр

Средняя толщина открытого фланца

$$t_3 = \frac{q_{\varphi_3}}{h_3} = \frac{2280}{70} = 32,6 \text{ мм}$$

Средняя толщина закрытого фланца

$$t'_3 = \frac{2280}{63} = 36,2$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$tg\varphi_3' = \frac{36,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 63} = 0,340$$

Большое основание закрытого фланца

$$b_3 = 156,3 \cdot 0,340 - 6,2 = 46,9 \text{ мм}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a_3 = 2 \cdot 36,2 - 46,9 = 25,5 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки открытого фланца:

$$tg\varphi_3 = \frac{t_3 + e}{c - 0,5h_3} = \frac{32,6 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 70} = 0,320$$

Большое основание открытого фланца:

$$b_3 = c \cdot tg\varphi_3 - e = 156,3 \cdot 0,320 - 6,2 = 43,8 \text{ мм}$$

Малое основание открытого фланца

$$a_3 = 2t_3 - b_3 = 2 \cdot 32,6 - 43,8 = 21,4 \text{ мм}$$

#### I калибр

Средняя толщина фланцев

$$t_4 = t_4' = \frac{1470}{64} = 23,0.$$

Тангенс угла наклона внутренних стенок фланца:

$$tg\varphi_4 = tg\varphi_4' = \frac{23,0 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 64} = 0,234$$

Большое основание фланцев:

$$b_4 = b_4' = 156,3 \cdot 0,234 - 6,2 = 30,4 \text{ мм}$$

Малое основание фланцев:

$$a_4 = a_4' = 2 \cdot 23,0 - 30,4 = 15,6 \text{ мм}$$

#### У калибр

Средняя толщина открытого фланца

$$t_5 = \frac{992}{65} = 15,3 \text{ мм.}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки открытого фланца:

$$tg\varphi_5 = \frac{15,3 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 65} = 0,174$$

Большое основание открытого фланца

$$b_5 = 156,3 \cdot 0,174 - 6,2 = 21,0 \text{ мм.}$$

Малое основание открытого фланца

$$a_5 = 2 \cdot 15,3 - 21,0 = 9,4 \text{ мм}$$

Средняя толщина закрытого фланца

$$t_5' = \frac{992}{58} = 17,1 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$tg\varphi_5' = \frac{17,1 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 58} = 0,188$$

Большое основание закрытого фланца

$$b_5' = 156,3 \cdot 0,188 - 6,2 = 22,4 \text{ мм.}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a_5' = 2 \cdot 17,1 - 22,4 = 11,8 \text{ мм}$$

#### У1 калибр

Средняя толщина фланцев

$$t_6 = t_6' = \frac{720}{59} = 12,2 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренних стенок фланца

$$tg\varphi_6 = tg\varphi_6' = \frac{12,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 59} = 0,145$$

Большое основание фланцев

$$b_6 = b_6' = 156,3 \cdot 0,145 - 6,2 = 16,5 \text{ мм}$$

Малое основание фланцев

$$a_6 = a_6' = 2 \cdot 12,2 - 16,5 = 7,9 \text{ мм.}$$

#### УII калибр

Средняя толщина открытого фланца

$$t_7 = \frac{566}{60} = 9,4 \text{ мм}$$

Таблица 11

Таблица калибровки облегченной двутавровой балки 24

Коэффициент напряжения $\sigma_{\text{напряжения}}$	Коэффициент изгиба $\gamma_{\text{изгиба}}$	Радиус закругления $R$ , мм	Поперечное сечение швеллеров	Закрытые фланцы		Открытые фланцы	
				Без учета закругления $d$ , мм	С учетом закругления $d$ , мм	Без учета закругления $b$ , мм	С учетом закругления $b$ , мм
0	1,29	44000	195,0	230,0	5590	75,0	100,0
1	1,55	34000	200,0	57,0	3600	69,0	49,0
2	1,55	22030	207,9	36,7	2280	70,0	43,8
3	1,55	14230	215,8	23,7	1470	64,0	30,4
4	1,52	9360	223,2	15,6	992	65,0	21,0
5	1,47	6430	229,8	10,7	720	59,0	9,4
6	1,37	4710	235,1	7,8	566	60,0	7,9
7	1,25	3780	238,4	6,3	502	54,0	6,1
8	1,12	3375	240,0	5,7			

x/ С учетом закругления 120 мм.

Тангенс угла наклона внутренней стенки открытого фланца

$$\operatorname{tg} \varphi_7 = \frac{9,4 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 60} = 0,124$$

Большое основание открытого фланца

$$b_7 = 156,3 - 0,124 - 6,2 = 13,1$$

Малое основание открытого фланца

$$a_7 = 2,9,4 - 13,1 = 5,7 \text{ мм}$$

Средняя толщина закрытого фланца

$$t_7 = \frac{566}{53} = 10,7 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$\operatorname{tg} \varphi'_7 = \frac{10,7 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 53} = 0,130$$

Большое основание закрытого фланца

$$b'_7 = 156,3 - 0,130 - 6,2 = 14,2 \text{ мм}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a'_7 = 2,10,7 - 14,2 = 7,2 \text{ мм.}$$

Результаты расчета сводим в таблицу калибровки 11. Коэффициенты вытяжки в калибрах определяются делением их площадей. Эти коэффициенты являются по величине промежуточными между коэффициентами вытяжки фланцев и коэффициентами обжатия листов.

Расчет заканчивается построением калибров. Расчетная калибровка приведена на рис. 30. Радиусы закруглений в калибрах выбраны по наиболее оправдавшим себя на практике данным.

## 5 . ЗАВОДСКИЕ КАЛИБРОВКИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

В качестве иллюстрации рассмотрим наиболее типичные калибровки, применяемые на рельсобалочных и крупносортных ставах отечественных заводов - основных поставщиков двутавровых балок.

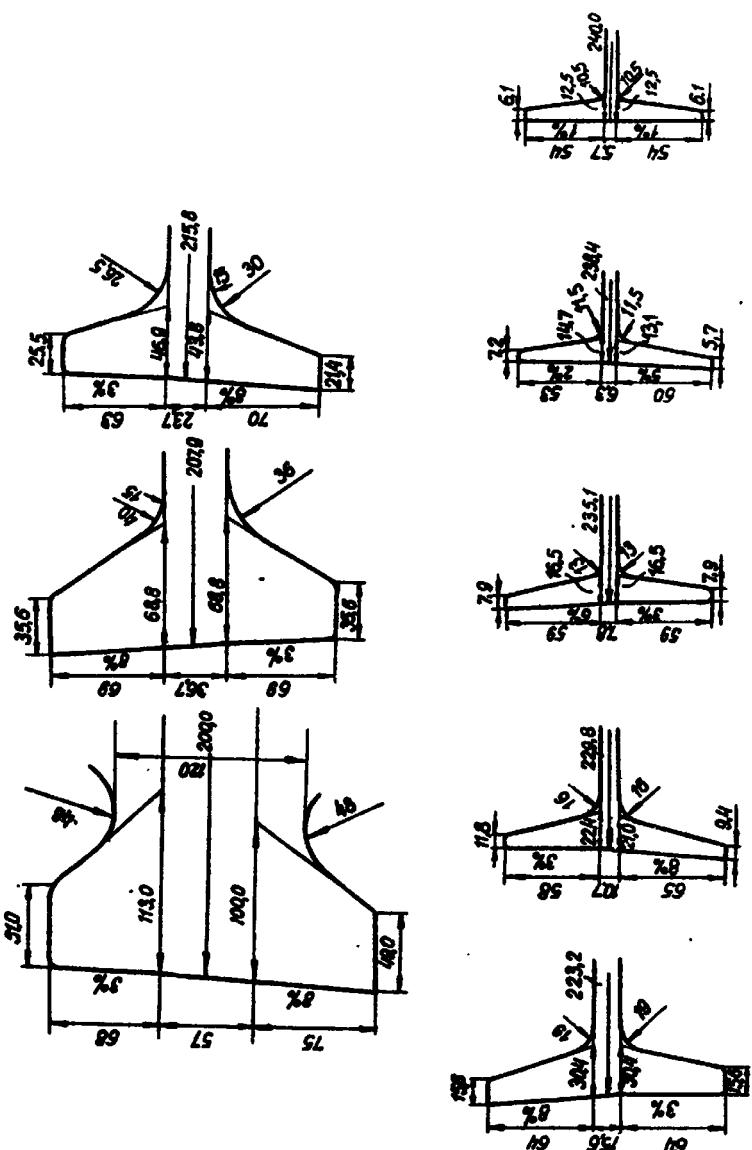
### Калибровка балки В 55

Двутавровые балки В 55 прокатываются на рельсобалочном стане завода "Азовсталь" по технологии, описанной выше. Калибровка облегченной балки В 55 /рис.31/ разработана по методике, принятой на заводе для калибровки обычных профилей. Последующая корректировка калибровки производилась обычным порядком в процессе прокатки. Рассматриваемая балка прокатывается из фасонной заготовки, получаемой с блуминга, за 9-11 проходов на обжимной клети "900" и 7 проходов на чистовой линии рельсобалочного стапа.

Заготовка для балки В 55 имеет размеры 335x95x480 мм. Крупные балки /В 45, 50, 55/ на рельсобалочном стане завода "Азовсталь" скалиброваны с сопряженными калибрами на черновой и предчистовой линиях "800". Нейки калибров прямые, уклон боковых стенок закрытых фланцев - 2-2,5%, открытых фланцев - до 8,5%. Выпуск в чистовом калибре 0,75%. Балки В 24, 30, 36 прокатываются в калибрах с изогнутыми нейками, причем угол между боковой стенкой калибра и осью нейки составляет 90°.

Общее уширение от 1 калибра клети "900" до чистового калибра составляет 49 мм и распределено по проходам очень неравномерно. В калибрах чистовой линии уширение колеблется от 0 до 10 мм. Вызвана эта неравномерность необходимостью

Рис.30 - Расчетная калибровка двутавровой балки В 55:



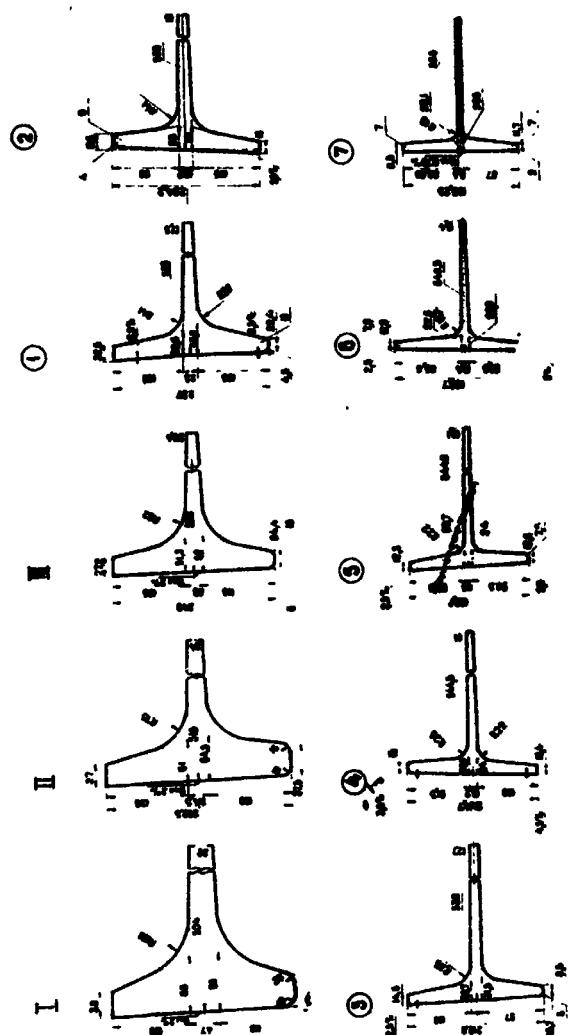


Рис.31 - Калибровка двутавровой балки № 30

применения сопряженных калибров /1-2 и 4-5/. Желанием получить достаточное уширение вызвано и применение во всех калибрах, кроме чистового, шейки переменной толщины. Толщина шейки и абсолютные обжатия по краям/ у фланцев/ взяты больше, чем посередине шейки.

#### Калибровка балки № 30

Двутавровая балка № 30 прокатывается на рельсобалочном стане "750" КМК. На этом стане прокатываются двутавровые балки от № 20 до № 60. Балка № 30 прокатывается из заготовки 400x280 мм, получаемой с блуминга, за 9 проходов на обжимной клети "900", 7 проходов на линии "800" и 1 проход в чистовой клети "750" /рис.32/.

Калибровка двутавровых балок на КМК производится по обычному балочному методу. В основе методики калибровки лежит принцип закономерного изменения коэффициентов обжатий [12]. В качестве основного принят коэффициент обжатия по шейке. Соотношение коэффициентов обжатия шейки и других элементов зависит от размера балки и определяется по графикам, построенным на основании анализа хорошо работающих калибровок. С увеличением размера профиля отношение коэффициентов обжатия шейки и открытого фланца уменьшается. Таким образом, деформация металла в открытом фланце по сравнению с шейкой возрастает, что снижает влияние обжатия по шейке на выполнение фланцев.

Особенностью калибровки балок облегченного типа на КМК являются пониженные значения коэффициентов бокового обжатия в закрытых фланцах черновых калибров и полное отсутствие бокового обжатия в чистовом калибре. По мере увеличения номера балки боковое обжатие большого основания закрытого фланца

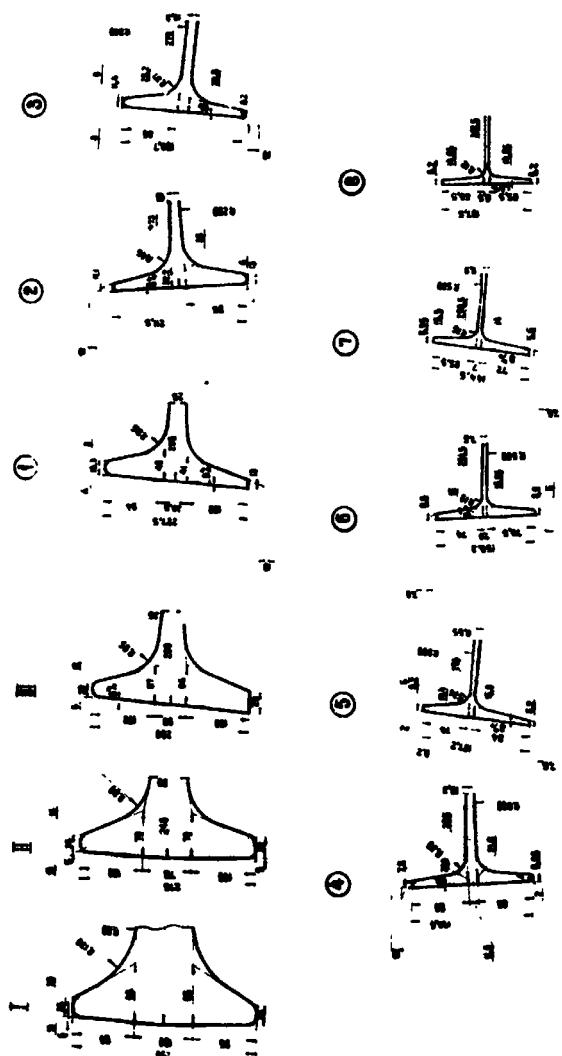


Рис. 32 - Калибровка другавровой балки В 30.

несколько возрастает. При прокатке балки В 30, начиная с третьего калибра линии "800", коэффициент бокового обжатия малого основания закрытого фланца меньше единицы, т.е. между поступающим в калибр металлом и стенками закрытого фланца имеются зазоры.

Деформация открытых фланцев проходит очень интенсивно. Коэффициент бокового обжатия во втором калибре линии "800" достигает значения 1,65 на краях фланца и 1,52 у основания. По данным завода, принятые в калибровке величины бокового обжатия металла в закрытых фланцах в значительной мере улучшают условия работы проводок, исключают их поломку и оковы валков.

Калибровка балки В 30, как и все калибровки двутавровых балок КМК, выполнена с калибрами развернутой формы. Исключение составляют чистовые калибры. Развертывание осуществляется за счет изгиба шейки при сохранении перпендикулярности фланцев относительно шейки. Величина развертывания калибров от 6 до 8%. В чистовом калибре выпуск 1,5%.

Характерной особенностью рассматриваемой калибровки является применение на клети "900" открытых и закрытых калибров. Ранее, при прокатке обычных балок, применялись только открытые разрезные калибры. Применение закрытых разрезных калибров обеспечивает получение фасонной заготовки с хорошо выполненными и относительно тонкими элементами, что крайне необходимо иметь при прокатке облегченных двутавровых балок.

#### Калибровка балки В 16

Двутавровая балка В 16 прокатывается на крупносортном стане "650" НТМК /рис.33/. На этом стане прокатывают также

балки № 18 и 20. На обжимной клети "650" блум 250x250 мм за 4 прохода превращается в фасонную заготовку 190x130x135 мм. Пятый проход производится во II закрытом разрезном калибре. Далее раскат поступает к клетям линии "650", где за 9 проходов прокатывается в балку № 16. Чистовой проход производится в универсальной четырехвалковой клети. Предчистовой калибр сделан полузакрытым и выполняет функции контрольного. Все калибры, кроме чистового, развернутые, с изогнутой шейкой и двойным выпуском. Выпуск закрытых фланцев - 2%, открытых - 10%.

#### Калибровка балки № 12

Дутавровая балка № 12 прокатывается на крупносортном энгвагообразном стане "500" ММК /рис.34/. Калибровка выполнена по обычному балочному методу, со значительно развернутыми открытыми фланцами / до 12% / и прямой шейкой. Коэффициенты деформации в открытых фланцах незначительно выше, чем в закрытых.

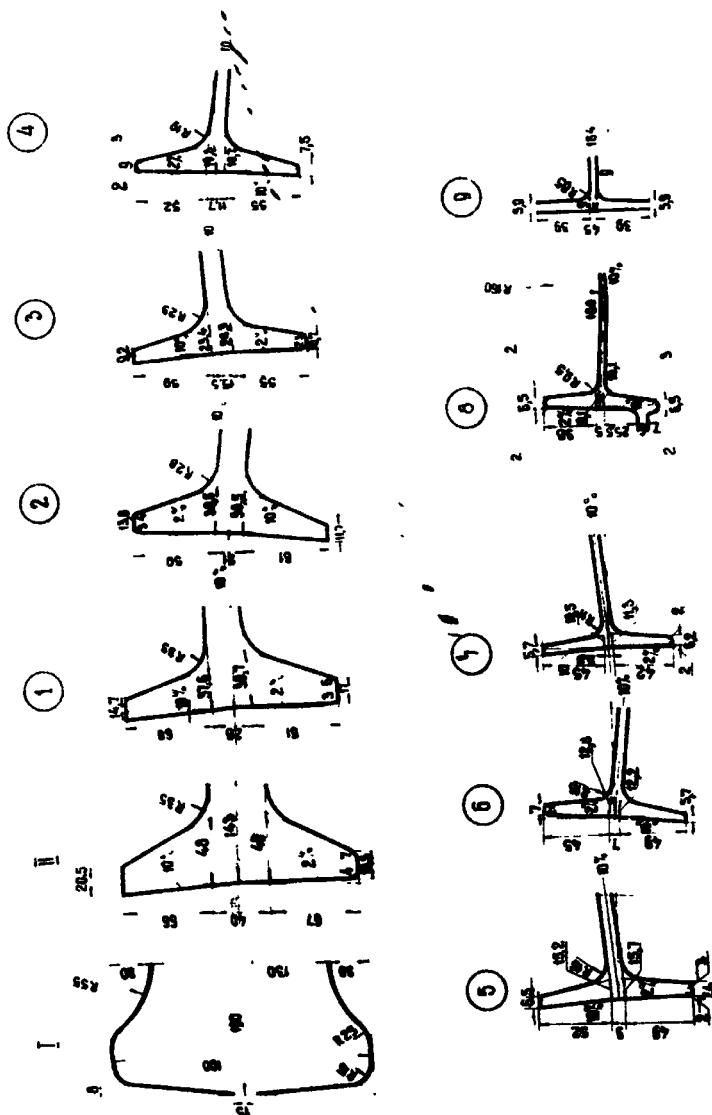


Рис.33 - Калибровка дутавровой балки № 12.

## Глава Ш. ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРОВ

### 1. Методы прокатки и калибровки швеллеров

Известно несколько разновидностей методики калибровки швеллеров. Все их можно свести к трем основным методам: калибровка валков по балочному методу /рис.35, а/, по методу сгибания полок /рис.35, б/ и развернутая калибровка /рис.35, в/.

При калибровке валков по балочному методу разрезной и несколько первых черновых калибров иногда используют для прокатки балок и швеллеров одинаковых номеров. В большинстве случаев для прокатки балок и швеллеров делают самостоятельные калибровки. Балочный метод предусматривает наличие открытых и закрытых фланцев в черновых калибрах, но в этом случае различают действительные фланцы, из которых формируются полки швеллера, и ложные фланцы, служащие для питания действительных фланцев и сохранения температуры углов швеллера. Ложные фланцы уменьшаются по мере приближения к предчистовому калибру, в чистовом калибре их нет.

Заготовка вначале разрезается так же, как и при прокатке двутавровой балки. При прокатке одинаковых швеллеров в месте, где должны быть действительные фланцы врез делается больше, в месте ложных фланцев врез меньше. Обычно площадь ложных фланцев в разрезном калибре составляет 70-100% площади действительных фланцев, в чистовом калибре 0%, в промежуточных калибрах - промежуточные значения, уменьшающиеся по ходу прокатки. Металл из ложных фланцев выдавливается в сторону действительных фланцев. Это помогает получению тонких и длинных действительных фланцев. За счет выдавливания

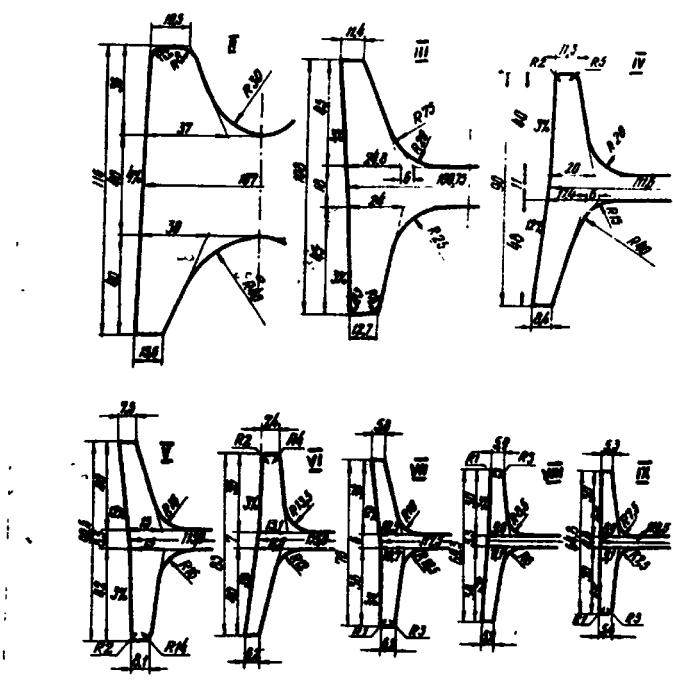


Рис.34 – Калибровка двутавровой балки № Т2.

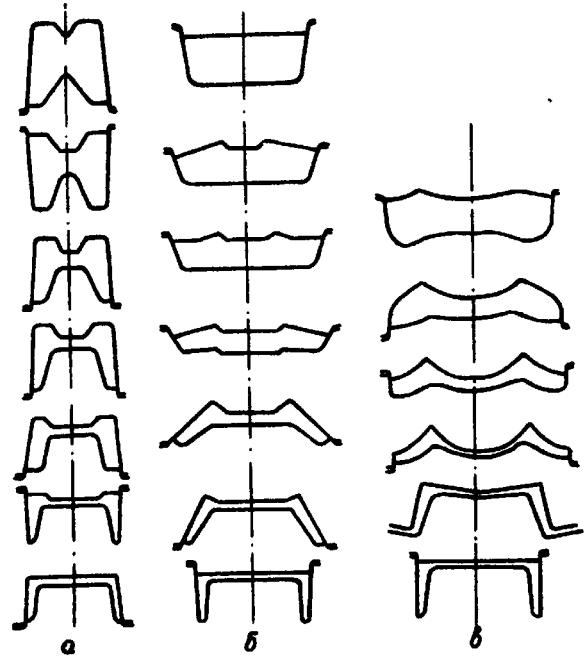


Рис.35 Методы калибровки швеллеров.

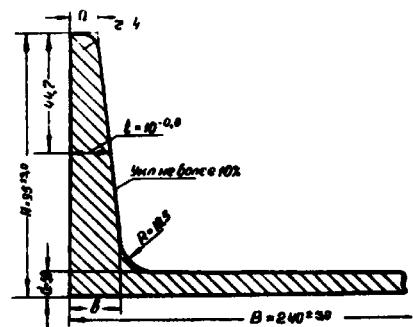


Рис.36 Размеры швеллера № 24 по ГОСТ 8240-56

ных фланцев на 2-5 мм в каждом калибре.

В отличие от прокатки балок, прокатка швеллеров производится без строгого чередования открытых и закрытых фланцев. Как правило, все действительные фланцы делают открытыми и только в 1-2 контрольных калибрах — закрытыми или полузакрытыми.

В связи с необходимостью производства облегченных профилей выпуски в швеллерных калибрах стали увеличивать до 15-25%, а иногда и больше. Увеличение выпусков позволило значительно интенсифицировать обжатия во всех калибрах, что дало возможность сократить число проходов при прокатке, а, следовательно, и повысить производительность. Увеличение выпусков уменьшило разность диаметров валка в калибре, уменьшило скольжение металла по валкам в очаге деформации и, в конечном итоге, уменьшило износ валков. Сокращение расхода валков достигается и за счет уменьшения съема металла по диаметру при переточках.

Калибровка валков методом сгибания специально подготовленной /рис.35,б/ полосы применяется редко, так как калибры занимают много места на валках. Прокатка по этому методу не дает хорошего качества: возможны вмятины, бурт сострагивает металл. Задача полосы в чистовой калибре затруднена.

Преимуществами этого способа являются: более равномерное обжатие всех элементов профиля и меньшая глубина вреза калибров, увеличивающая износостойкость и прочность валков.

Развернутая калибровка швеллеров /рис.35,в/ в практике прокатного производства известна давно, но теорети-

чески обоснованная и методика предложена проф. Д. И. Старченко [17] в 1952 г. Эта калибровка, благодаря отсутствию бокового обжатия по полкам позволяет:

- 1/ интенсифицировать процесс деформации металла по калибрам;
- 2/ сократить количество фасонных калибров;
- 3/ устранить опасность образования складок у основания полок;
- 4/ добиться полной восстановимости размеров калибров в процессе ремонтных перезарядок валков;
- 5/ относительно снизить степень износа калибров за счет уменьшения разности окружных скоростей в различных точках калибра;
- 6/ создать более равномерный режим деформации в различных элементах профиля.

Применение развернутой калибровки ивэллера № 12 на Верхне-Салдинском металлургическом заводе позволяет сдавать около 75% металла по минусовым допускам. Однако, несмотря на очевидные преимущества, этот метод применяется редко из-за того, что при развертке полок ивэллера ширина калибра увеличивается и на определенной длине бочки валка невозможно расположить необходимые калибры.

## 2. Основы расчета калибровки ивэллеров

Изложенные в предыдущей главе основные положения деформации металла в фланцевых калибрах остаются справедливыми и для прокатки ивэллеров по балочному типу. При определении коэффициентов деформации элементов ивэллерного калибра необходимо исходить из того, что часть обжимаемого

металла из действительного и ложного фланцев переходит в нейку, увеличивая ее размер /ширину/ между фланцами. При расчете калибров будем, как и для балок, принимать, что общий коэффициент вытяжки действительного и ложного фланцев равен коэффициенту вытяжки нейки.

Для определения площади ложных фланцев:  $q'_\phi$  рекомендуется формула, полученная из анализа хорошо работающих калибровок, следующего вида

$$q'_\phi = K q_\phi \cdot 0,05 \left(1 + \frac{n-2}{m}\right) q_\phi \quad / II,1 /$$

Здесь  $q_\phi$  — площадь действительного фланца,  
 $n$  — число фасонных калибров,  
 $m$  — коэффициент, находящийся в пределах 1,0–0,5; большие значения принимаются для развернутых калибров и ивэллеров больших размеров, меньшие для калибров балочного типа и малых ивэллеров.

Из /II,1/ имеем  
$$q_\phi = \frac{q_{\phi_0} + q'_{\phi_0}}{f+K} \quad / II,2 /$$

Выражение /II,2/ удобно применять, когда известна общая площадь действительного и ложного фланцев и необходимо ее распределить между ними.

Прокатка ивэллеров может быть осуществлена во всех калибрах с открытыми действительными фланцами. Однако для обеспечения заданной высоты действительных фланцев готового профиля с требуемыми допусками применяют контрольные полу-закрытые калибры, в которых действительные фланцы немного обжимаются по высоте. Для этой цели разъем валков делается сбоку действительных фланцев на некотором расстоянии от их вершин. Контрольными являются обычно предчистовой и четвер-

тый или пятый от конца калибра. При большом числе калибров никогда применяют три контрольных калибра.

Удлинение  $\lambda$  металла в открытом фланце швеллерных калибров, как и для балочных калибров, находится в пределах 0+2 мм. Приращение / выдавливание/ высоты действительных фланцев  $\delta$  от осадки ложных можно принимать во всех калибрах, кроме чистового, в пределах 1-3 мм. Осадка  $\varepsilon$  действительных фланцев в полуоткрытом контролльном калибре выбирается в пределах 4+6 мм.

Таким образом высота действительного фланца в разрезном калибре равна

$$h_p = h_q - \sum \lambda - \sum \delta + \sum \varepsilon ; \quad / II,3 /$$

где  $h_q$  - высота действительного фланца в чистовом калибре.

Для любого калибра имеем

$$h_{i-1} = h_i - \lambda_i - \delta_i + \varepsilon_i ; \quad / II,4 /$$

Высота заготовки к разрезному швеллерному калибру определяется по ранее приведенным формулам /II,23/ и /II,32/.

-----

### 3. ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ

#### Калибровка швеллера № 24

##### Исходные данные:

Произвести расчет калибровки для прокатки швеллера № 24 на стане дуо  $D_0 = 800$  мм. Размеры холодного профиля швеллера № 24 по ГОСТ 8240-56 /рис.36/. Уклон внутренней грани полок принимаем 8% / допускается не более 12% /.

Число фасонных калибров  $n$  для прокатки швеллера № 24 принимаем по графику / см.рис.26 /  $n = 9$ .

Горячие размеры профиля / с частичным использованием отрицательных допусков/:

Ширина / высота швеллера/:

$$B_g = 240 - 2,0 / 1,012 = 241 \text{ мм.}$$

Высота /ширина полки/:

$$H_g = 95 - 1,5 / 1,012 = 94,7 \text{ мм.}$$

Толщина шейки:

$$d_g = 5,6 \cdot 1,012 = 5,7 \text{ мм.}$$

Средняя толщина фланцев:

$$t_g = 10 \cdot 1,012 = 10,1 \text{ мм.}$$

Высота действительного фланца

$$h_g = H_g - d_g = 94,7 - 5,7 = 89 \text{ мм.}$$

Основания действительного фланца

$$\beta_g = t_g + 0,5 h_g \cdot tg \varphi_g ;$$

$$\alpha_g = t_g - 0,5 h_g \cdot tg \varphi_g ;$$

где:  $\varphi$  = угол наклона внутренней поверхности фланца

$$tg \varphi_g = 0,08.$$

Таблица 12

Высота действительных фланцев

	№ калибров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Удлинение $\lambda$ мм	-	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	-	1,0
Осадка $\epsilon$ мм	-	-	-	-	5,0	-	-	5,0	-
Выдавливание $\delta$ мм	-	2,0	2,0	2,0	-	2,0	2,0	-	-
Высота фланца $h$ мм	83	86	89	92	87	90	93	88	89

Уширение выбираем по графику / см.рис.27/: для разрезного калибра  $\Delta B_{1,9} = 5$  мм;

для остальных калибров  $\Delta B_{2,5} = 40$  мм;  
общее уширение  $\Delta B_{1,9} = 45$  мм;

Ширина заготовки

$$B = B_0 + \Delta B_{1,9} = 241 - 15 = 196 \approx 195 \text{ мм}$$

ширина разрезного калибра

$$B_0 = 195 + 5 = 200 \text{ мм};$$

Окончательно определяем уширение в остальных шестерых калибрах;

$$\Delta B_{2,5} = 241 - 200 = 41 \text{ мм.}$$

Большое основание действительного фланца разрезного калибра принимаем

$$b_0 = 0,5; \quad B_0 = 0,5 \cdot 200 = 100,0 \text{ мм.}$$

Малое основание действительного фланца разрезного калибра:

$$a_0 = b_0 - \frac{a_0}{b_0} = 100,0 - 0,48 = 48,0 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения действительного фланца разрезного калибра:

$$b_0 = 10,1 + 0,5 \cdot 89 \cdot 0,08 = 13,66 \text{ мм} \approx 13,7 \text{ мм}$$

$$a_0 = 10,1 - 0,5 \cdot 89 \cdot 0,08 = 6,54 \text{ мм} \approx 6,6 \text{ мм.}$$

Отношение оснований фланца

$$\frac{a_0}{b_0} = \frac{6,6}{13,7} = 0,48$$

Площадь поперечного сечения действительного фланца:

$$q_{fl} = l_0 \cdot h_0 = 10,1 \cdot 89 = 899 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения чистового калибра:

$$Q_0 = 2q_{fl} + B_0 d_0 = 2 \cdot 899 + 241 \cdot 5,7 = 3172 \text{ мм}^2$$

Принимаем два контрольных калибра, пятый и восьмой по ходу прокатки. Удлинение в открытых фланцах  $\lambda = 1,0$  мм.

Закрытые фланцы не применяются, поэтому утяжки не будет.

Приращение высоты действительных фланцев  $\delta$  от выдавливания ложных фланцев принимаем равным 2 мм во всех калибрах кроме чистового и контрольных. В чистовом калибре выдавливание практически отсутствует. В контрольных калибрах предусматриваем осадку фланцев по высоте на 5 мм в каждом.

Определим высоту действительного фланца в разрезном калибре по формуле /Ш.3/.

$$h_0 = 89 - 6 - 10 + 10 = 83 \text{ мм.}$$

Высоту фланца в любом калибре найдем из выражения /Ш.4/:

$$h_i = h_0 - \lambda_i - \delta_i + \epsilon_i$$

Данные к определению высоты действительных фланцев сведены в таблицу 12.

$$q_{\varphi} = \frac{a_i + b_i}{2} h_i = \frac{48,0 + 100,0}{2} \cdot 83 = 6140 \text{ mm}^2$$

Площадь поперечного сечения ложного фланца разрезного калибра  $q'_{\varphi}$ , определяем из формулы / III, 1 /:

$$q'_{\varphi} = 0,05 \left( 1 + \frac{n-2}{m} \right) q_{\varphi} = 0,05 / 1 + \frac{7}{0,5} \cdot 6140 = 0,75 \cdot 6140 = 4600 \text{ mm}^2$$

Основания ложных фланцев разрезного калибра принимаются такие же, как и у действительных фланцев:

$$a'_i = a_i = 48,0 \text{ mm}; \quad b'_i = b_i = 100,0 \text{ mm}.$$

Средняя толщина полки ложного фланца:

$$t'_i = \frac{a'_i + b'_i}{2} = \frac{48,0 + 100,0}{2} = 74,0 \text{ mm}.$$

Высота ложного фланца

$$h'_i = \frac{q'_{\varphi}}{t'_i} = \frac{4600}{74,0} = 62 \text{ mm}.$$

Толщина шейки разрезного калибра определяется по / II, 5 /

$$d_i = \frac{(q_{\varphi} + q'_{\varphi}) d_g}{q_{\varphi} + q'_{\varphi} + 0,5 d_g \cdot \sum \Delta B_{2 \cdot g}};$$

$$d_i = \frac{6140 + 4600}{899 + 0 + 0,5 \cdot 5,7 \cdot 41} = 60,0.$$

Принимаем толщину шейки с учетом угла захвата и закруглений разрезающих гребней / рис. 108/  $d'_i = 120 \text{ mm}$ .

Площадь поперечного сечения разрезного калибра можно найти планиметрированием или из выражения

$$q_i = 2(q_{\varphi} + q'_{\varphi}) + d_i B_i + 2 \left( \frac{d'_i - d_i}{2} \right) \cdot \frac{t q \varphi_i + t q \varphi'_i}{2},$$

где последний член приближенно представляет площадь скругления разрезающих гребней / рис. 37/.

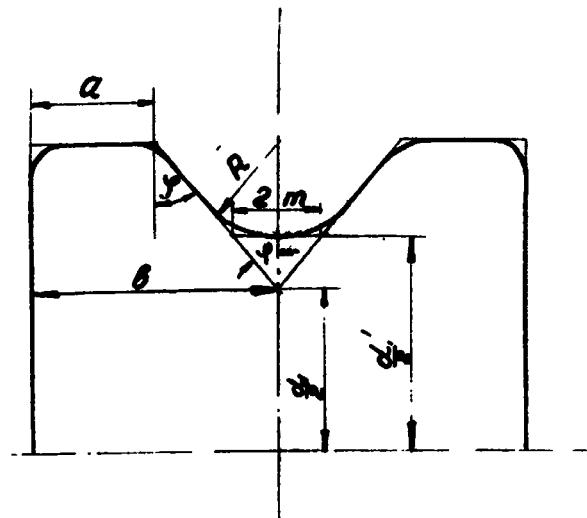


Рис. 37 Схема к определению площади закругления гребня разрезного калибра.

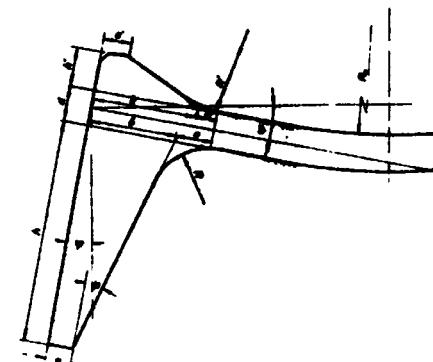


Рис. 38 Схема шведлерного калибра для определения размеров ложных фланцев.

Здесь

$$tg\varphi = \frac{b' - a}{h} = \frac{100 - 48}{89} = 0,627 ;$$

$$tg\varphi' = \frac{b' - a'}{h} = \frac{100 - 48}{62} = 0,839.$$

Тогда

$$q_i = 2/6140 + 4600 / + 60 \cdot 200 + 2 / - \frac{120 - 60}{2} / 2 \cdot \frac{0,627 + 0,839}{2} = 34900 \text{ мм}^2$$

Высота разрезного калибра

$$H_i = h_{\varphi} + h'_{\varphi} + d_i = 83 + 62 + 60 = 205 \text{ мм.}$$

Определим высоту заготовки по формуле / II, 33 / , принимая закрытый разрезной калибр

$$K = \frac{H_i - d_i}{H_p - d_i + B_p - 2a} = \frac{205 - 120}{205 - 120 + 200 - 2 \cdot 48} = 0,45.$$

$$\Delta q = \frac{2a \cdot (B_o H_i - q_i)}{B_o} = \frac{2 \cdot 48 / 195 \cdot 205 - 34900 / 195}{195} = 2540 \text{ мм}^2$$

$$H_o = \frac{B_o}{q_i} \left( H_p - \frac{0,25 \cdot K \Delta q}{B_o} \right)^2 = \frac{195}{34900} / 205 - \frac{0,25 \cdot 0,45 \cdot 2540}{195} / 2 = 222 \text{ мм.}$$

Принимаем  $H_0 = 220 \text{ мм.}$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре:

$$\mu_i = \frac{Q_i}{q_i} = \frac{220 \cdot 195}{34900} = 1,23.$$

Угол захвата в начальный момент:

$$\alpha_i = \arccos \left( 1 - \frac{H_o - d'_i}{D_o - d'_i} \right) \arccos / 1 - \frac{220 - 120}{800 - 120} / = 32^\circ.$$

Угол захвата по усредненному обжатию при установившемся процессе прокатки:

$$\alpha'_i = \arccos \left( 1 - \frac{H_o - \frac{Q}{B}}{D_o - d'_i} \right) \arccos / 1 - \frac{220 - \frac{34900}{200}}{800 - 120} / = 25^\circ.$$

Для улучшения захвата можно произвести насечку или наварку разрезающих гребней.

#### Расчет промежуточных калибров

Общий коэффициент вытяжки фланцев

$$\mu_{2-9} = \frac{q_{\varphi} + q'_{\varphi}}{q_{\varphi_9}} = \frac{6140 + 4600}{899} = 12,0.$$

Распределим коэффициенты вытяжки фланцев по проходам:

$$\mu_{2-9} = \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdots \mu_8 \cdot \mu_9$$

$$\mu_{2-9} = 1,40 \cdot 1,50 \cdot 1,45 \cdot 1,43 \cdot 1,40 \cdot 1,35 \cdot 1,25 \cdot 1,17 = 12,0.$$

Общий коэффициент уменьшения толщины шейки

$$\eta = \frac{d_i}{d_9} = \frac{60}{5,7} = 10,5.$$

Коэффициенты уменьшения толщины шейки по проходам:

$$\eta_{2-9} = 1,45 \cdot 1,50 \cdot 1,43 \cdot 1,38 \cdot 1,35 \cdot 1,30 \cdot 1,22 \cdot 1,14 = 10,5.$$

Толщина шейки по проходам

$$d_2 = \frac{d_i}{\eta_2} = \frac{60}{1,45} = 41,2 \text{ мм}; \quad d_3 = \frac{41,2}{1,50} = 27,5 \text{ мм};$$

$$d_4 = \frac{27,5}{1,43} = 19,2 \text{ мм}; \quad d_5 = \frac{19,2}{1,38} = 14,0 \text{ мм};$$

$$d_6 = \frac{14,0}{1,35} = 10,4 \text{ мм}; \quad d_7 = \frac{10,4}{1,30} = 8,0 \text{ мм};$$

$$d_8 = \frac{8,0}{1,22} = 6,5 \text{ мм}; \quad d_9 = \frac{6,5}{1,15} = 5,7 \text{ мм}.$$

Сумма дробных частей коэффициентов обжатия шейки.

$$\sum (\eta - 1) = 0,45 + 0,50 + 0,43 + 0,38 + 0,35 + 0,30 + 0,22 + 0,14 = 2,77.$$

Распределим общее уширение пропорционально дробным частям коэффициентов обжатия:

$$m = \frac{\sum \Delta B_{2-9}}{\sum (\eta - 1)_{2-9}} = \frac{41}{2,77} = 14,8 \text{ мм.}$$

Уширение по проходам:

$$\begin{aligned}\Delta B_2 &= m(\eta_2 - 1) = 14,8 \cdot 0,45 = 6,7 \text{ мм}; & \Delta B_3 &= 14,8 \cdot 0,50 = 7,4 \text{ мм.} \\ \Delta B_4 &= 14,8 \cdot 0,43 = 6,3 \text{ мм}; & \Delta B_5 &= 14,8 \cdot 0,38 = 5,5 \text{ мм;} \\ \Delta B_6 &= 14,8 \cdot 0,35 = 5,2 \text{ мм}; & \Delta B_7 &= 14,8 \cdot 0,30 = 4,5 \text{ мм;} \\ \Delta B_8 &= 14,8 \cdot 0,22 = 3,3 \text{ мм}; & \Delta B_9 &= 14,8 \cdot 0,15 = 2,1 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Ширина калибров

$$\begin{aligned}B_2 + \Delta B_2 &= 200 + 6,7 = 206,7 \text{ мм}; & B_3 &= 206,7 + 7,4 = 214,1 \text{ мм} \\ B_4 &= 214,1 + 6,3 = 220,4 \text{ мм}; & B_5 &= 220,4 + 5,5 = 225,9 \text{ мм;} \\ B_6 &= 225,9 + 5,2 = 231,1 \text{ мм}; & B_7 &= 231,1 + 4,5 = 235,6 \text{ мм;} \\ B_8 &= 235,6 + 3,3 = 238,9 \text{ мм}; & B_9 &= 238,9 + 2,1 = 241,0 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Суммарная площадь поперечного сечения действительного и ложного фланцев по проходам:

$$\begin{aligned}q_{\varphi_8} + q'_{\varphi_8} &= q_{\varphi_9}/\eta_9 = 899 \cdot 1,17 = 1050 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_7} + q'_{\varphi_7} &= (q_{\varphi_8} + q'_{\varphi_8})/\eta_8 = 1050 \cdot 1,25 = 1310 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_6} + q'_{\varphi_6} &= 1310 \cdot 1,35 = 1760 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_5} + q'_{\varphi_5} &= 1760 \cdot 1,40 = 2470 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_4} + q'_{\varphi_4} &= 2470 \cdot 1,43 = 3530 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_3} + q'_{\varphi_3} &= 3530 \cdot 1,45 = 5120 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_2} + q'_{\varphi_2} &= 5120 \cdot 1,50 = 7680 \text{ мм}^2; \\ q_{\varphi_1} + q'_{\varphi_1} &= 7680 \cdot 1,40 = 10740 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

Распределим суммарную площадь поперечного сечения между действительным и ложным фланцами. Площадь поперечного сечения действительного фланца определяется по формуле /Ш.2/:

$$q_{\varphi} = \frac{q_{\varphi} + q'_{\varphi}}{1+K}$$

Определяем из выражений /Ш.1/ следующее распределение коэффициента К по проходам, принимая  $m=0,5$ .

К	ФФ проходов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,75	0,65	0,55	0,45	0,35	0,25	0,15	0,05	0	0

Определим площади поперечного сечения фланцев:

$$q_{\varphi_2} = \frac{7680}{1+0,65} = 4660 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_2} = 7680 - 4660 = 3020 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\varphi_3} = \frac{5120}{1+0,55} = 3300 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_3} = 5120 - 3300 = 1820 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\varphi_4} = \frac{3530}{1+0,45} = 2430 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_4} = 3530 - 2430 = 1100 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_5} = \frac{2470}{1+0,35} = 1830 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_5} = 2470 - 1830 = 640 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_6} = \frac{1760}{1+0,25} = 1410 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_6} = 1760 - 1410 = 350 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_7} = \frac{1310}{1+0,15} = 1140 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_7} = 1310 - 1140 = 170 \text{ мм}^2.$$

$$q_{\varphi_8} = \frac{1050}{1+0,05} = 1000 \text{ мм}^2; \quad q'_{\varphi_8} = 1050 - 1000 = 50 \text{ мм}^2.$$

Средняя толщина действительных фланцев:

$$l_2 = \frac{q_{\varphi_3}}{h_2} = \frac{1660}{86} = 54,2 \text{ мм}; \quad l_3 = \frac{3300}{89} = 37,1 \text{ мм.}$$

$$l_4 = \frac{2470}{92} = 26,4 \text{ мм}; \quad l_5 = \frac{1830}{87} = 21,0 \text{ мм.}$$

$$l_6 = \frac{1410}{90} = 15,7 \text{ мм}; \quad l_7 = \frac{1140}{73} = 12,3 \text{ мм.}$$

$$l_8 = \frac{1000}{88} = 11,3 \text{ мм.}$$

Координаты конструкционной точки определяем по имеющимся размерам 1 и 1Х калибров.

$$tg\varphi = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = \frac{100 - 18}{83} = 0,627;$$

$$e = \frac{b_1 \cdot tg\varphi_1 - b_2 \cdot tg\varphi_2}{tg\varphi_1 - tg\varphi_2} = \frac{100 \cdot 0,08 - 13 \cdot 66 \cdot 0,627}{0,627 - 0,08} = -1,0 \text{ мм.}$$

$$c = \frac{e + b_1}{tg\varphi_1} = \frac{-1,0 + 100}{0,627} = 158 \text{ мм.}$$

В промежуточных калибрах тангенс угла наклона внутренних стенок фланца определяем по формуле:

$$tg\varphi = \frac{t + e}{c - 0,5h};$$

$$tg\varphi_2 = \frac{54,2 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 86} = 0,46; \quad \varphi_2 = 25^\circ.$$

$$tg\varphi_3 = \frac{37,1 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 89} = 0,32; \quad \varphi_3 = 18^\circ;$$

$$tg\varphi_4 = \frac{26,4 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 92} = 0,23; \quad \varphi_4 = 13^\circ;$$

$$tg\varphi_5 = \frac{21,0 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 87} = 0,18; \quad \varphi_5 = 10^\circ;$$

$$tg\varphi_6 = \frac{15,7 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 90} = 0,13; \quad \varphi_6 = 7^\circ;$$

$$tg\varphi_7 = \frac{12,3 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 88} = 0,10; \quad \varphi_7 = 6^\circ;$$

$$tg\varphi_8 = \frac{11,3 - 1,0}{158 - 0,5 \cdot 88} = 0,090; \quad \varphi_8 = 5^\circ;$$

Большие основания действительных фланцев:

$$b_1 \cdot c \cdot tg\varphi_1 - e;$$

$$\begin{aligned} b_1 &= 158 \cdot 0,46 + 1,0 = 73,0 \text{ мм}; & b_2 &= 158 \cdot 0,32 + 1,0 = 51,5 \text{ мм} \\ b_4 &= 158 \cdot 0,23 + 1,0 = 37,4 \text{ мм}; & b_5 &= 158 \cdot 0,18 + 1,0 = 29,5 \text{ мм}; \\ b_6 &= 158 \cdot 0,13 + 1,0 = 21,4 \text{ мм}; & b_7 &= 158 \cdot 0,10 + 1,0 = 18,4 \text{ мм}; \\ b_8 &= 158 \cdot 0,09 + 1,0 = 15,2 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Малые основания действительных фланцев:

$$a_1 = 2l_1 - b_1;$$

$$\begin{aligned} a_2 &= 2 \cdot 54,2 - 73,0 = 35,4 \text{ мм}; & a_3 &= 2 \cdot 37,1 - 51,5 = 22,7 \text{ мм}; \\ a_4 &= 2 \cdot 26,4 - 37,4 = 15,4 \text{ мм}; & a_5 &= 2 \cdot 21,0 - 29,5 = 12,5 \text{ мм}; \\ a_6 &= 2 \cdot 15,7 - 21,4 = 10,0 \text{ мм}; & a_7 &= 2 \cdot 12,3 - 18,4 = 6,2 \text{ мм}; \\ a_8 &= 2 \cdot 11,3 - 15,2 = 7,4 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Радиус закругления действительного фланца  $R$  увеличивается от чистового калибра к разрезному пропорционально увеличению большого основания действительного фланца.

Радиус закругления в чистовом калибре  $R_1 = 10,5$  мм. Отношение радиуса к основанию фланца в чистовом калибре

$$\rho = \frac{R_1}{b_1} = \frac{10,5}{13,7} = 0,77;$$

Радиусы закругления действительного фланца по калибрам:

$$\begin{aligned} R_1 \cdot \rho \cdot b_1 &= 0,77 \cdot 13,7 = 12 \text{ мм}; & R_2 &= 0,77 \cdot 18,4 = 14 \text{ мм}; \\ R_4 &= 0,77 \cdot 21,4 = 16 \text{ мм}; & R_5 &= 0,77 \cdot 29,5 = 23 \text{ мм}; \\ R_6 &= 0,77 \cdot 37,4 = 29 \text{ мм}; & R_3 &= 0,77 \cdot 51,5 = 40 \text{ мм}; \\ R_8 &= 0,77 \cdot 73,0 = 56 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Радиусы закругления ложных фланцев  $R'$  изменяются в пределах  $1,0 \div 1,5 / R$ , причем  $R \geq R'$  в первых по ходу прокатки калибрах и  $R' \geq 1,5 R$  в последних калибрах.

Принимаем:

$$\begin{aligned} R'_s \cdot 1,5R_s &= 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ мм}; & R'_s \cdot 1,5R_s &= 1,5 \cdot 14 = 20 \text{ мм}; \\ R'_s \cdot 1,5R_s &= 1,5 \cdot 16 = 25 \text{ мм}; & R'_s \cdot 1,25R_s &= 1,25 \cdot 23 = 30 \text{ мм} \\ R'_s \cdot 1,25R_s &= 1,25 \cdot 29 = 35 \text{ мм}; & R'_s \cdot R_s &= 40 \text{ мм}. \\ R'_s - R_s &= 56 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Определим отрезок  $l'$ , характеризующий сопряжение закругления действительного фланца с шейкой профиля /рис.38/.

$$l' = R \cdot tg(45^\circ - \frac{\psi}{2});$$

$$l_8 = R_s \cdot tg(45^\circ - \frac{40^\circ}{2}) = 12 \cdot tg(45^\circ - \frac{5^\circ}{2}) = 11 \text{ мм};$$

$$l_9 = 14 \cdot tg(45^\circ - \frac{6^\circ}{2}) = 12 \text{ мм};$$

$$l_{10} = 17 \cdot tg(45^\circ - \frac{7^\circ}{2}) = 16 \text{ мм};$$

$$l_{11} = 22 \cdot tg(45^\circ - \frac{10^\circ}{2}) = 18,5 \text{ мм};$$

$$l_{12} = 28 \cdot tg(45^\circ - \frac{13^\circ}{2}) = 22,4 \text{ мм};$$

$$l_{13} = 40 \cdot tg(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 29,2 \text{ мм};$$

$$l_{14} = 57 \cdot tg(45^\circ - \frac{25^\circ}{2}) = 36,4 \text{ мм};$$

В одном или двух предчистовых калибрах ложный фланец обычно имеет форму треугольника, а в черновых калибрах форму трапеции.

Принимаем  $a'_s=0$  и  $a'_s=0$ .

В остальных черновых калибрах  $a'=a$ .

Определим размеры ложных фланцев всех калибров. Для этого сначала определим величину  $(b' + l')$ , обозначив ее через  $S$ .

$$S = b' + l' = b + l - dtg\psi;$$

где:  $\psi$  — угол выпуска калибра.

В чистовом калибре принимаем выпуск 10%, во всех остальных калибрах 15%.

$$S_8 \cdot b'_s \cdot l'_s - b_s \cdot l_s \cdot d_s \cdot tg\psi = 15,2 + 11 - 5,0 \cdot 0,1 = 20,5 \text{ мм}.$$

$$S_9 = 13,4 + 12 - 8,0 \cdot 0,15 = 29,2 \text{ мм}; \text{ и т.д.}$$

Высота треугольных и трапециевидных ложных фланцев

$$h' = \frac{s^4 - a'^4 - \sqrt{(s^2 - a'^2)^2 - 4q'R'(s-a')}}{R};$$

$$h'_8 = \frac{20,5^2 - \sqrt{20,5^4 - 4 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 20,5}}{18} = 4,2 \text{ мм}.$$

$$h'_9 = \frac{29,2^2 - \sqrt{29,2^4 - 4 \cdot 170 \cdot 30 \cdot 29,2}}{20} = 13,9 \text{ мм}.$$

$$h'_6 = \frac{33,8^2 - 10,2^2 - \sqrt{33,8^2 - 10,2^2 / 2 - 4 \cdot 360 \cdot 25 / 33,8 - 10,2 / 2}}{25} = 14,7 \text{ мм.}$$

$$h'_s = 26,2 \text{ мм}; \quad h'_9 = 39 \text{ мм}; \quad h'_3 = 44,3 \text{ мм}; \quad h'_3 = 53 \text{ мм.}$$

Для определения размеров большого основания ложных фланцев необходимо предварительно определить отрезок  $l'$ , характеризующий сопряжение закругления ложного фланца с шейкой профиля.

$$l' = \frac{h'R'}{2(s-a')};$$

Таблица № 13

Таблица калибровки облегченного швейлера № 24.

Ширина калибра B мм	Толщина шеек подковы d мм	Площадь калибра $Q = \frac{d}{2} h^2$	Действительные размеры		Ложные размеры		Число основание $Q'$ мм
			Большое основание $b$ мм	Малое основание $a$ мм	Высота $h'$ мм	Большое основание $b'$ мм	
0	195,0	220,0	12900	-	-	-	-
1	200,0	60,0 <sup>1/</sup>	34900	83	100,0	62,0	46,0
2	206,7	41,2	24000	86	73,0	53,0	35,4
3	214,1	27,5	16200	89	51,5	22,7	22,7
4	220,4	19,2	11340	92	37,4	15,4	15,4
5	225,9	14,0	8120	87	29,5	12,5	12,5
6	231,1	10,4	5960	90	21,4	10,0	10,0
7	235,6	8,0	4500	93	18,4	6,2	-
8	236,9	6,5	3650	88	15,2	7,4	26,3
9	241,0	5,7	3172	89	13,7	6,6	24,0

1/ Толщина шеек с учетом закругленной грани  $d'$  = 120 мм.

$$\ell_8' = \frac{4,2 \cdot 18}{2,25,5} = 1,5 \text{ мм; и т.д.}$$

Большое основание ложного фланца равно:

$$b' = 5 - \ell'$$

$$b_8' = 25,5 - 1,5 = 24,0 \text{ мм; и т.д.}$$

Результаты расчета складываем в таблицу калибровки /табл. 13/.

### 3. Заводские калибровки швейлеров

#### Швейлер № 30

На рис.39 показана калибровка швейлера № 30 завода "Азовсталь". При производстве облегченных швейлеров на заводе успешно применили калибровки с повышенным выпуском наружных граней калибров, что позволило интенсифицировать деформацию фланцев и уменьшить расход валков. На чистовых клетях станов при прокатке швейлеров применили литые профилированные чугунные валки. Это увеличило стойкость чистовых калибров в 2-5 раз. На этих же клетях установили роликовые входные линейки, позволившие уменьшить количество продукции второго сорта по уклону наружных граней полок.

Все швейлеры прокатывают по балочному методу с увеличенными до 20% выпусками за семь пропусков на обжимной клети и за семь - на чистовой. Швейлеры №№ 24 и 30 прокатывают из блумов размером 220x280 и 255x280 мм, швейлеры №№ 16 и 18 - из блумов размером 220x280 и 230 x 280 мм. В настоящее время выход первого сорта при прокатке облегченных и обычных швейлеров практически одинаков.

Швеллер № 20

Швеллер № 20 прокатывается на рельсобалочном стане завода им. Петровского из слитков весом 4,27 - 5,0 т. Из-за недостаточной длины рольгангов заготовку после блуминга приходится разрезать на три части. Такое решение является вынужденным, так как переход на отливку и прокатку слитков облегченного веса /для прокатки одной полосы 1,7 т, для двух полос 3,4-3,6 т/ вызвал бы снижение производительности конвертерного цеха и блуминга.

Уменьшение толщины элементов профиля привело к снижению температуры конца прокатки и увеличению разности температур шейки и фланцев. Средние данные замеров по проходам [16] показывают, что наиболее низкой была температура третьего раскатка /числители - фланец, знаменатели - шейка/, °С.

Таблица 14

Средняя температура раскатов при прокатке швеллера № 20.

Пропуск Рас- кат	1	2	3	4	5	6	7
I	1118 -	1111 -	1111 -	1073 1025	1041 961	994 912	900 813
II	1115 -	1110 -	1101 -	1053 973	1001 920	951 885	889 792
III	1102 -	1091 -	1078 -	1028 920	977 882	921 856	847 786

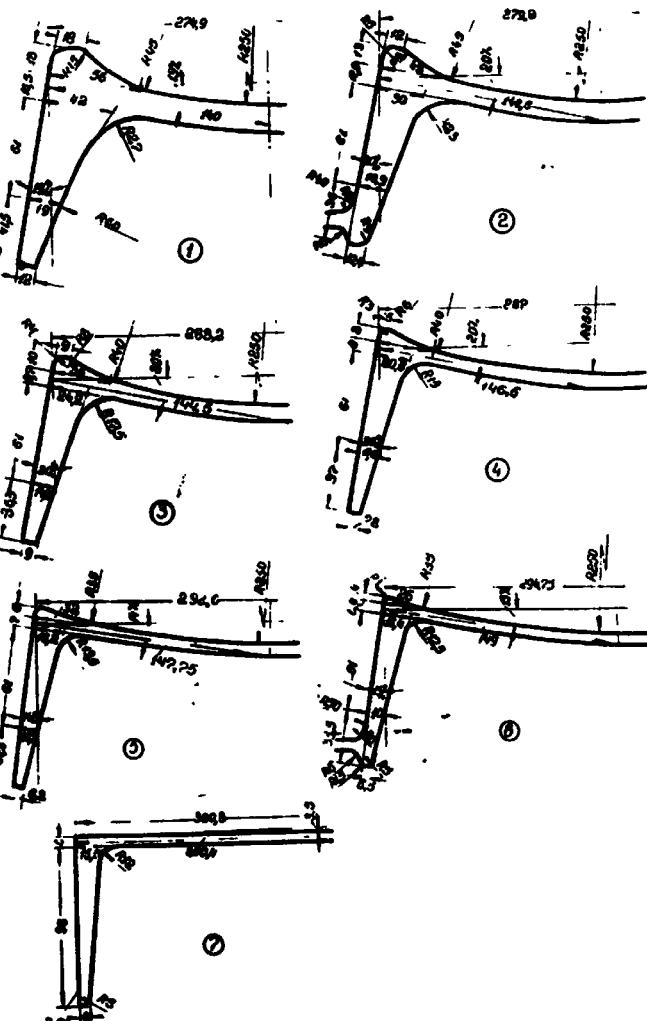


Рис.39 Калибровка валков для прокатки швеллера № 30 на рельсобалочном стане.

Быстрое охлаждение полосы потребовало применения интенсивных обжетий, сочетание которых с пониженной температурой полосы резко увеличивает износ калибров. Эти особенности были учтены при проектировании калибровки (рис.40,а). Готовый профиль получается за 7 проходов, для усиления деформации фланцев и уменьшения износа валков все калибры построены с большими выпусками. Такая форма калибра с развернутыми фланцами и изогнутой шейкой успешно применяется на стане "550" завода им.Петровского с 1936 г.

Чистовые калибры для прокатки швеллеров № 20 и 22 имеют выпуск 15%. Это позволяет восстанавливать калибры во время переточки и вести прокатку с использованием минусовых допусков. Однако применение чистового калибра развернутой формы заставляет искать способы качественной правки и сворачивания профиля в холодном состоянии. Во время правки на существующих ролико-правильных машинах размеры профилей получались несоответствующими требованиям стандарта по уклону полки и по прогибу шейки.

Этот недостаток устраняется применением универсального калиброванного ролика (рис.40,б), устанавливаемого за ролико-правильной машиной. В станине 1 монтируют нижний приводной ролик 2 и верхний калиброванный ролик, состоящий из двух половин 7 и 9 свободно перемещающихся по станине 4 со шпонкой. На каждую половину ролика навинчивается фланец 6 для регулирования размеров ручья в зависимости от толщины полок профиля. Верхний ролик прижимается к нижнему при помощи винтов и пружин 10, которые служат для предотвращения поломок при правке утолщенных профилей. Установочные винты 3 предназначены для

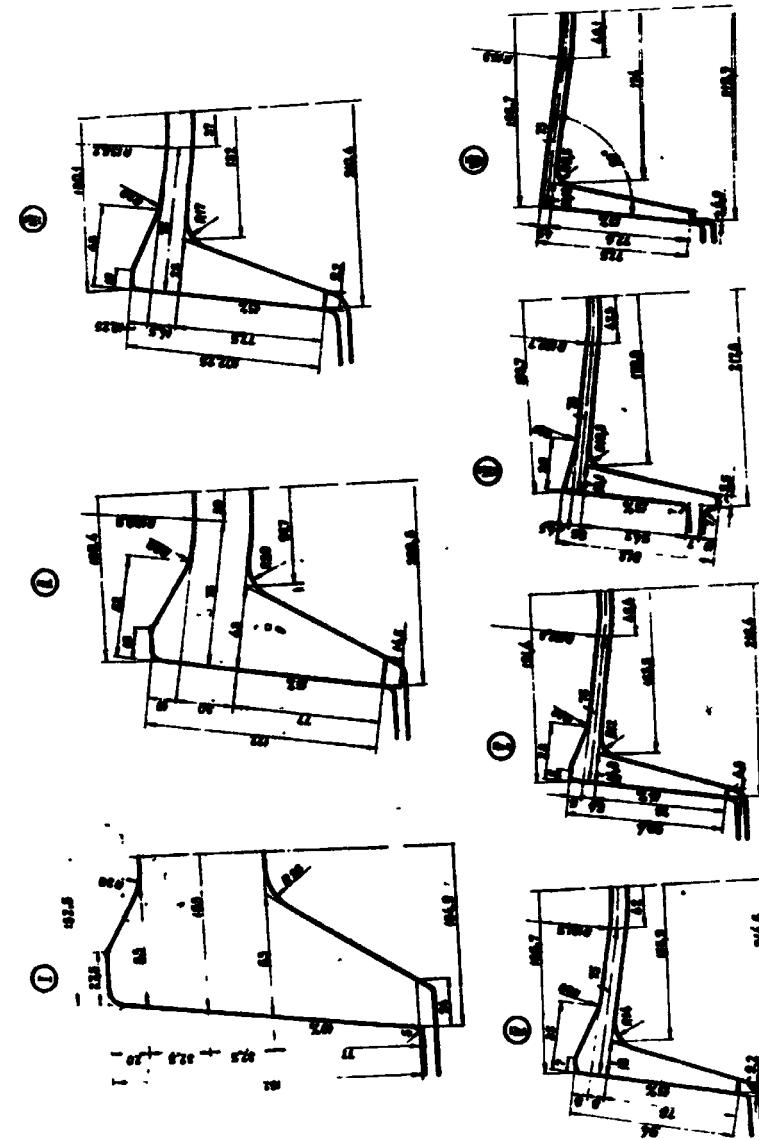


Рис.40. Калибровка швеллера № 20 завода им.Петровского. Шаблон.

перемещении верхнего ролика в горизонтальном направлении. Внутри ролика имеются отверстия для пальцев, на которые надеваются прокладки для раздвижения ролика; фланцы крепятся стопорными винтами 5. Нижний ролик приводится от электродвигателя через редуктор и шпиндель 11, на котором установлена муфта 12.

#### Швеллер В 16

Швеллер В 16 /рис.41/ прокатывается на зигзагообразном стане "500" КМК из фасонной заготовки, получаемой с клети "900" осбжимо-заготовочного цеха. В основу метода калибровки швеллеров всех размеров на КМК положен принцип изменения по проходам коэффициента обжатия по шейке. Средняя величина этого коэффициента принята равной среднему коэффициенту вытяжки для данного стана и размера профиля. Изменение коэффициента обжатия по шейке характеризуется кривой, плавной возрастающей от минимального значения в чистовом калибре до максимального в черновых, а затем вновь постепенно снижающейся.

Изменение коэффициента обжатия фланцев по проходам аналогично изменению основного коэффициента. С увеличением номера швеллера степень обработки металла фланцев по сравнению с шейкой постепенно повышается. Изменение коэффициентов по пропускам зависит от температурных условий и пластических свойств металла.

Графический метод расчета КМК является результатом систематизации, обработки и анализа действующих на комбинате калибровок. Форма ложных фланцев принимается конструктивно,

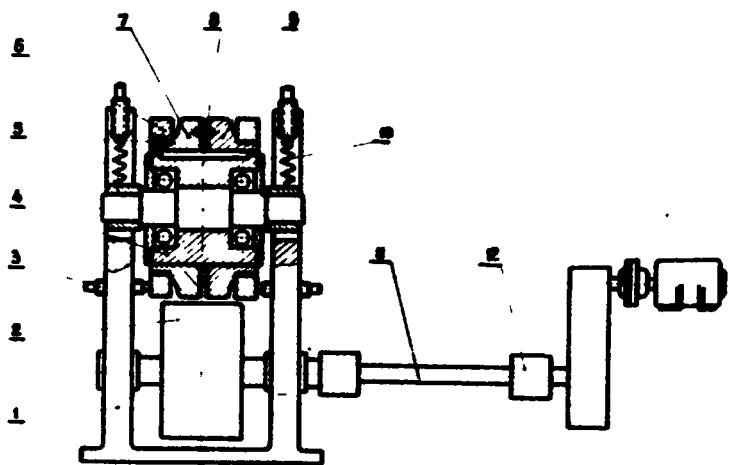
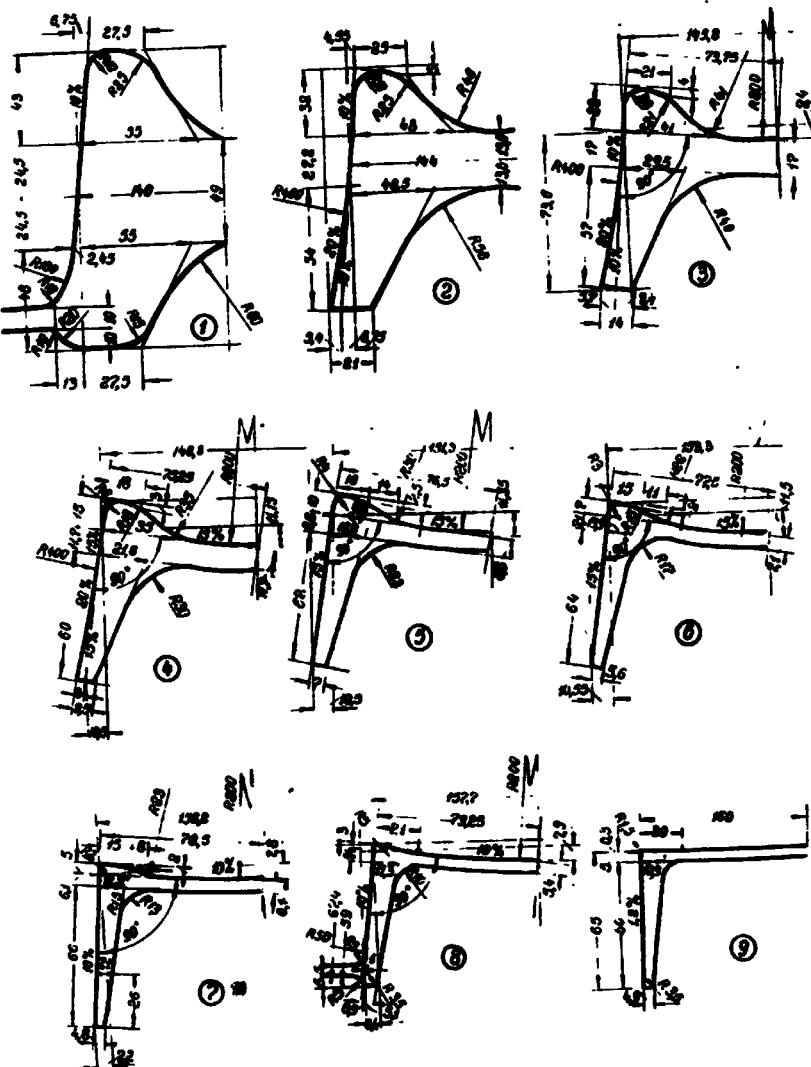


Рис.40б. Универсальный калибровочный ролик для правки шведлеров в холодном состоянии.

Все калибры кроме чистового, имеют развернутую форму за счет изгиба нейки. Выпуск наружных граней калибров принят равным 15%. По данным комбината принятый метод калибровки обеспечивает получение нормального и устойчивого профиля, высокую стойкость прокатных валков и производительность стана.



На заводе им.Дзержинского имеется рельсобалочный стан старого типа, характеризующийся тем, что стан состоит из одной чистовой линии реверсивное дуо  $\varnothing=950$  мм, прокатка ведется с одного нагрева. Аналогичные рельсобалочные стани имеются на заводах им.Петровского и Енакиевском. Эти стани имеют более низкую производительность по сравнению с рельсобалочными станицами нового типа, установленными на заводах КМК, "Азовсталь" и НТМК.

Новые станиц состоят из двух или трех линий. Например, рельсобалочный стан КМК состоит из 3-х линий: обжимной с реверсивным блюмингом 900 мм, средней линии трио из 2-х клетей  $\varnothing=800$  мм и чистовой клети  $\varnothing=750-800$  мм / рис. 13 /.

На рельсобалочных станицах нового типа применяется два нагрева: перед блюмингом  $\varnothing = 1150$  мм и перед прокаткой на рельсобалочном стане. Двойной нагрев обеспечивает повышение качества рельсов благодаря постоянному температурному режиму прокатки и уменьшению поверхностных пороков. Производительность рельсобалочных станиц нового типа примерно в два раза больше, чем на станицах старого типа, и равна около 1,2 млн тонн в год рельсов, балок, швеллеров и других профилей.

Рассмотрим сперва общую характеристику прокатки и калибровки железнодорожных рельсов. Данные о заводских калибровках будут приведены в параграфе 3.

В настоящее время на всех заводах применяется новая калибровка рельсов, разработанная в результате исследований и усовершенствования ее на протяжении последнего десятилетия

Эта калибровка обеспечивает гораздо лучшее качество рельсов по сравнению со старой калибровкой, которая существовала 15-20 лет тому назад.

Таблица 15

Характеристика железнодорожных рельсов / рис. 42/

Типы рельсов	Основные размеры в мм								Распределение металла по подкладке, сечением полоски	
	H	B	a	b	c	d	h	p		
P-38	135	114	40	68	43,9	13,0	59,5	24,0	9,0	13 - 300 1:3 49,063 38,416 45,4 19,8 34,8
P-43	140	114	42	70	46,0	14,5	68,5	27,0	11,0	13 350 300 1:3 57,02 44,653 42,88 21,91 35,86
P-50	152	132	42	70	46,0	15,5	70,9	27,0	10,5	13 350 300 1:4 65,79 51,514 39,68 23,77 37,55
P-65	180	150	45	75	49,0	18,0	78,5	30,0	11,2	13 400 300 1:4 82,92 64,93 34,50 28,3 37,2

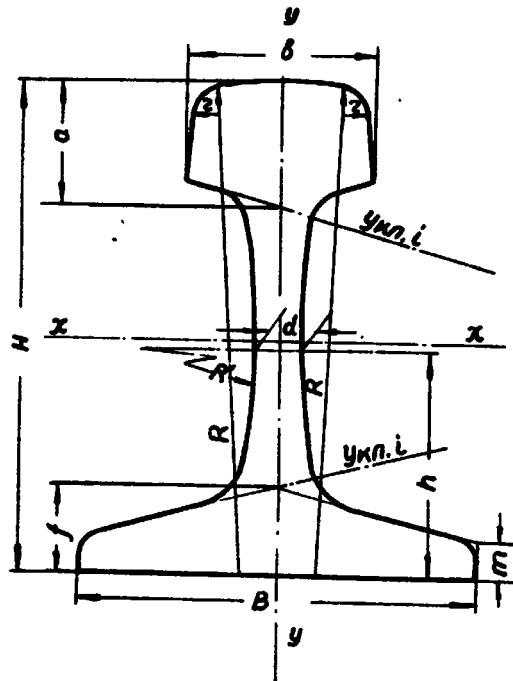


Рис.42. Железнодорожный рельс.

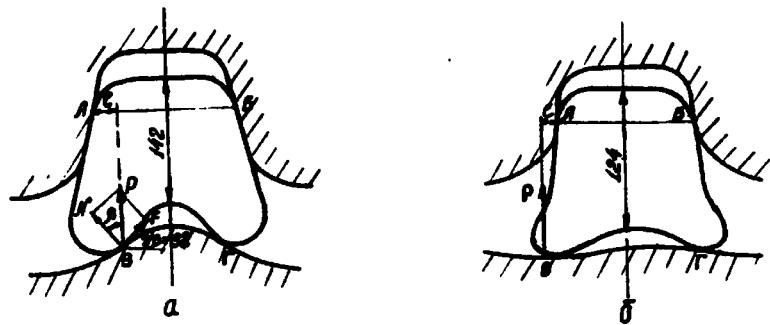


Рис.43 Трапецидальные калибры.

В советской литературе подробно освещен весь путь развития и усовершенствования этих калибровок и связанное с этим обсуждение вопросов ее рационализации [1-14].

Калибровка рельсов, применяемая на заводах в настоящее время, характеризуется следующими особенностями. Прокатка ведется из прямоугольной заготовки [3,8], у которой одна сторона примерно в 1,5-1,7 раза больше другой.

Рельсовая заготовка задается в первый фасонный разрезной калибр на ребро.

Всего имеется 10 фасонных калибров, из которых 3-4 калибра трапецидальной формы, далее идут 6 косо расположенных рельсовых калибров, включая и чистовой калибр.

Первый трапецидальный калибр с разрезающим гребнем /рис.43/ имеет целью сделать глубокий врез в рельсовой заготовке, после чего образующиеся фланцы в следующих трапецидальных /тавровых/ калибрах разворачиваются и обжимаются, чем обеспечивается хорошая деформация подошвы и ориентировка волосовин параллельно подошве. Этим повышается прочность подошвы рельсов и обеспечиваются лучшие результаты по так называемой швейцарской пробе /рис.44/.

По вопросу о форме трапецидальных калибров и глубине вреза в литературе была широкая дискуссия, которая систематически освещалась в периодической печати [1-14].

Н.А.Александров и И.С.Триневский [1] считают, что нужно брать в трапецидальных калибрах высокие гребни с правильным наклоном их так, чтобы сила, разгибающая фланцы во втором калибре,  $N_x = N \sin \beta$  была больше сдерживающих сил трения  $T_x = f N \cos \beta$ , откуда  $\tan \beta > f$  /рис.43/.

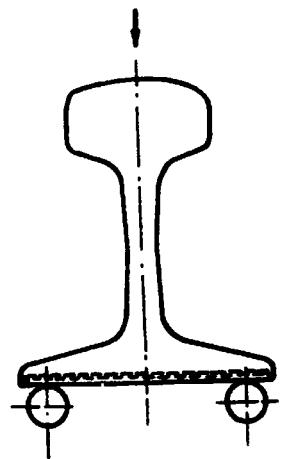


Рис.44. Швейцарская проба.

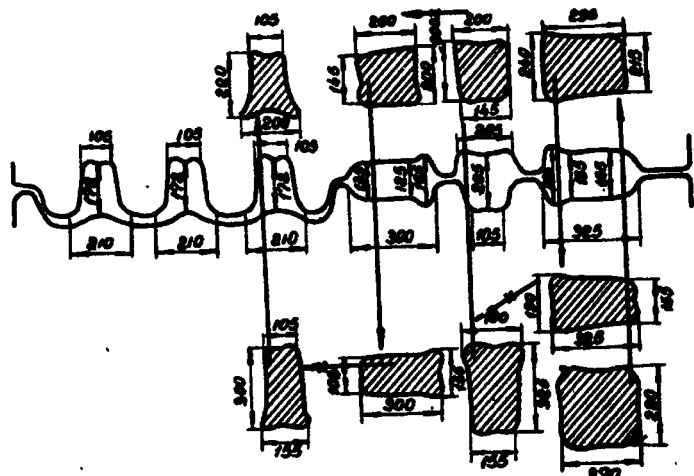


Рис.45. Калибровка завода "Азовсталь"

Чтобы не было засечения вреза и образования складок, необходимо выбирать угол наклона гребня во втором калибре в пределах  $22\text{--}35^{\circ}$ .

Высота гребня первого трапецидального калибра рекомендуется брать в пределах 50 мм.

В третьем трапецидальном калибре /рис.43/ образуется момент  $P_e$  с плечом  $e$  вне контура калибра, обеспечивающий окончательное отгибание фланцев.

В.П.Хлебников, М.Д.Фрадин и П.А.Чеховский [2,10] высказываются за малый врез в трапецидальном калибре, считая, что большой врез приводит к образованию складок на месте вреза при прокатке во втором и третьем трапецидальных калибрах. Они указывают, что высокий и острый гребень не способствует разрушению первичной структуры, острый гребень скорее разрезает тело, а не уплотняет металл. Нельзя также рекомендовать очень высокую заготовку, так как она приводит к чрезмерно широкой подошве в последнем трапецидальном калибре, что ухудшает качество подошвы.

Указанные авторы предлагают новую конфигурацию калибров /см. парагр.3/ на обжимной клети 900 мм, что позволило более интенсивно обрабатывать металл подошвы и головки рельсов /рис.45/, чем улучшается качество рельсов и одновременно увеличивается производительность рельсобалочного стапа завода "Азовсталь". Они считают, что при новой калибровке обжимной клети достаточно иметь три и даже два трапецидальных калибра.

Работники КМК И.И.Кучко, М.Г.Серкин и Л.Н.Сороко [8] высказываются за высокую заготовку и глубокий врез в первом трапецидальном калибре. Когда они применяли заготовку 195x130 мм вместо 165x155 мм, а высоту разрезного гребня в первом трапецидальном калибре увеличили до 50 мм, вместо 30 мм, то

выход первых сортов для рельса Р-43 увеличивается. Они рекомендуют 4 трапецидальных калибра.

Рекомендации указанных авторов сводятся к следующему:

1) Отношение сторон заготовки  $\frac{H}{B}$  следует брать в пределах  $1,5 \pm 1,7$ ;

2) высота гребня в первом трапецидальном калибре следует брать 50 мм, а угол гребня не более  $85-87^\circ$ , чем достигается интенсивная высотная деформация в черновых калибрах и улучшение качества рельсов;

3) предлагается 6 рельсовых калибров; при меньшем числе рельсовых калибров снижается обработка отдельных элементов профиля, в частности головки и подошвы; при большем количестве рельсовых калибров снижается стойкость прокатных валков и производительность стана.

Для улучшения качества рельсов они предлагают диагональное обжатие заготовки /рис.46/, которое будет способствовать уплотнению металла головки и подошвы, так как металл ребер слитка, идущий на середину головки и подошвы, лучшего качества, и меньше поражен поверхностными пороками, чем металл на гранях слитка.

А.М.Карпунин [9], на основе опыта прокатки железнодорожных рельсов на заводе им.Дзержинского поддерживает взгляды работников завода "Азовсталь" и считает, что применение глубокого разрезающего гребня в первом тавровом калибре создает неравномерную деформацию в подошве и может приводить к образованию на ней поверхностных пороков.

Во втором калибре происходит скатие металла равнодействующей силой  $P$ , а не разворот фланцев /рис.47/. Поэтому

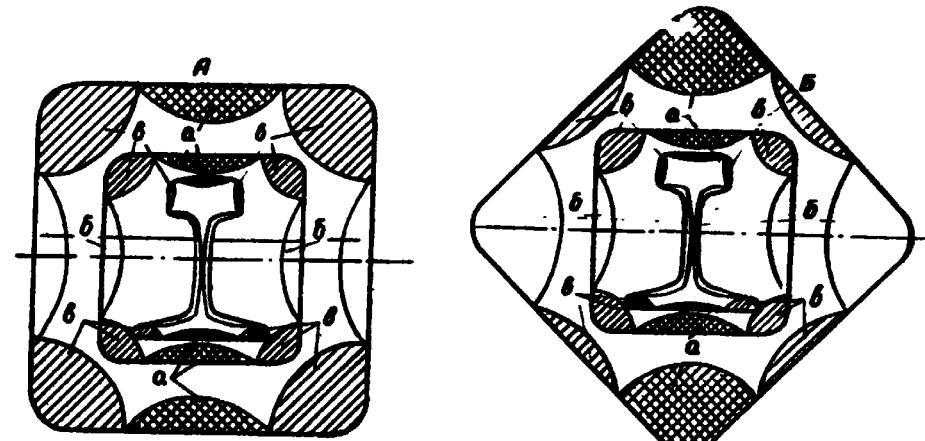


Рис.46. Диагональное расположение рельсов.

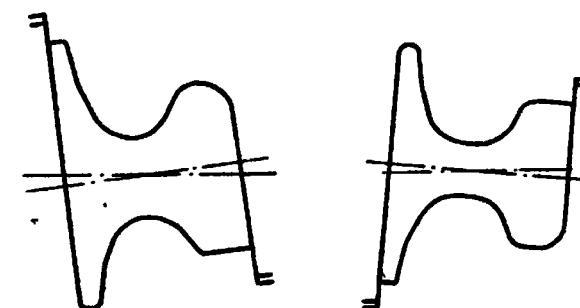


Рис.47. Косо врезанный калибр.

- 130 -

необходимо применять **низкие** гребни высотой около 20 мм. Целесообразно иметь 2-3 трапецидальных калибра. Что касается пластовых рельсовых калибров, то достаточно иметь всего 5 калибров.

Что касается пластовых рельсовых калибров, то на всех заводах применяют косорасположенные рельсовые калибры /рис. 47/, у которых ось калибра расположена под углом к линии прокатки и открытые фланцы /разъем валков/ расположены по диагонали.

Косо расположенные рельсовые калибры имеют следующие преимущества:

- 1) фланцы подоны всегда перпендикулярны к шейке, поэтому не требуется отгибание их при холодной правке;
- 2) увеличивается число переточек, так как благодаря большому наклону уменьшается снимаемый слой за переточку;
- 3) величина уширения уменьшается, соадается обкатка по ширине калибра, что улучшает качество рельсов;
- 4) обеспечивается интенсивное обкатание открытых фланцев, расположенных по диагонали.

К недостаткам косого расположения калибров относятся:

- 1) большие осевые усилия, поэтому требуются большие конусы /буруты/, чем уменьшается полезная длина бочки валка;
- 2) требуется несколько больший начальный диаметр, причем не всегда имеется возможность производить перевалку через окно станины;
- 3) приходится делать более глубокие врезы калибров в валки.

Несмотря на указанные недостатки, косая калибровка рельсов повсеместно внедрена на заводах, причем такая калибровка дает возможность значительно уменьшать уширение в пластовых калибрах / до 6-8 мм вместо 20 мм/, что обеспечивает лучшее качество рельсов.

Проведенная дискуссия сыграла положительную роль, так как содействовала усилению исследований на заводах, поискам более совершенных калибровок, улучшению качества рельсов и повышению производительности станов.

Необходимо также отметить, что на улучшение качества рельсов влияет также режим обкатки на бломинге с достаточным числом кантовок, с ограниченным уширением в калибрах и максимальными обкатками с целью лучшей проработки металла по глубине и более равномерной деформации.

О заводских калибрах и дальнейшем усовершенствовании железнодорожных рельсов будет сказано в параграфе 3.

## 2. Методы расчета калибровки железнодорожных рельсов.

Методика расчета калибровки железнодорожных рельсов изложена в книгах [18, 19, 20, 21, 22].

В книге Б.П.Бахтинова и М.И.Штернова [18] дается примерный расчет калибровки железнодорожного рельса Р-50 по ГОСТ 3542-47.

Общий ход расчета следующий:

1. Устанавливаем схему прокатки рельсов, например 3 трапецидальных калибра и 6 рельсовых калибров,
2. Расчет ведем против хода прокатки, начиная от чистового калибра.

3. Делим чистовой калибр на три элемента - головка, шейка и подошва с обозначением расчетных размеров /рис.48/.

На рис.49 дана пояснительная схема к определению размеров элементов рельса Р-50 /ГОСТ 3542-47/;

4. Рассчитываем горячие размеры чистового калибра с учетом температурного коэффициента усадки профиля;

5. На основании практических данных хорошо работающих калибровок устанавливаем частные и общие коэффициенты деформации для отдельных элементов калибра-головки, шейки и подошвы.

Б.П. Бехтинов и И.И. Петров рекомендуют общий коэффициент деформации для головки и подошв  $K_{общ} = 2,3$ . Для шейки, учитывая условия захвата, этот коэффициент принят  $K_{общ} \approx 3,5$ . Так как толщина шейки неодинаковая /рис.49/, то общий коэффициент деформации для крайних частей шейки принимается

$$K_{общ} = \frac{3,5}{\frac{d}{d}} = \frac{3,5}{\frac{20}{145}} = 254.$$

В табл.16 представлены частные и общие коэффициенты деформации для отдельных элементов рельсовых калибров.

Таблица 16

Общие и частные коэффициенты деформации по элементам профилей в рельсовых калибрах.

Элементы профиля	Частные коэффициенты в калибр					Общий коэффициент $K_{общ}$
	1	2	3	4	5	
1. Головка и подошва	1,07	1,12	1,18	1,24	1,3	2,3
Средняя часть шейки	1,07	1,12	1,25	1,46	1,3	3,5
Крайние части шейки	1,07	1,12	1,18	1,28	1,4	2,

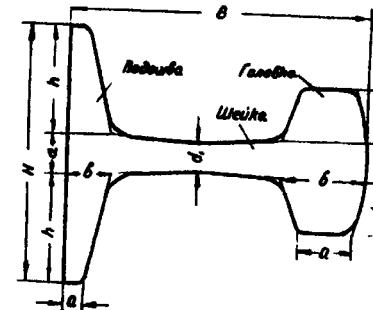


Рис.48. Деление рельсового калибра на элементы.

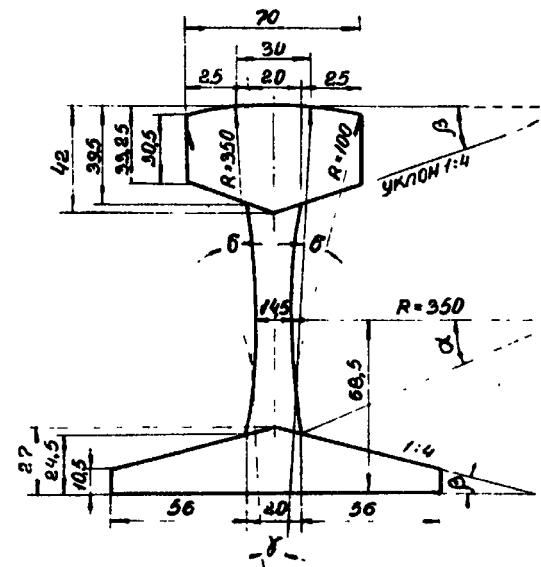


Рис.49. Пояснительная схема к определению размеров рельса Р-50.

6. Далее идет расчет отдельных калибров, а именно, определение размеров подошвы, головки и шейки рельса.

7. После определения 6-го /разрезного/ калибра необходимо определить размеры трапециoidalных калибров и размеры исходной прямоугольной заготовки.

Конфигурация и размеры трапециoidalных /тавровых/ калибров вырабатывались на основе практики работы рельсобалочных станов, проведенных исследований, поэтому при расчете необходимо руководствоваться имеющимися заводскими калибровками и рекомендациями, изданными в литературе.

Так, например, в указанных статьях [1-14] приводятся примеры рекомендуемых размеров для трапециoidalных калибров.

Кроме того, в следующем параграфе будут даны примеры заводских калибровок.

Для ясности методики расчета приводим из книги [18] примерный расчет первого /чистового/ и второго /предчистового/ калибров, а также таблицу с расчетными данными калибровки рельса Р-50.

#### Первый калибр /чистовой/ /рис.49/

Размеры чистового калибра принимаем равными горячим размерам профиля.

Подошва рельса. Высота фланцев

$$h_0 = h_3 = 1,012 \cdot 10,5 = 10,6 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b_0 = b_3 = 1,012 \cdot 24,5 = 24,8 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_0 = a'_3 = 1,012 \cdot 10,5 = 10,6 \text{ мм.}$$

Площадь каждого из фланцев

$$F' = \frac{b' + a'}{2} h' = \frac{24,8 + 10,6}{2} \cdot 56,7 = 1000 \text{ мм}^2.$$

Головка рельса. Высота фланцев

$$h_3 = 1,012 \cdot h = 1,012 \cdot 25,0 = 25,4 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_0 = 1,012 \cdot b = 1,012 \cdot 39,5 = 40,0 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_0 = 1,012 \cdot a = 1,012 \cdot 30,5 = 30,9 \text{ мм.}$$

Площадь каждого из фланцев

$$F' = \frac{b' + a'}{2} h = \frac{40,0 + 30,9}{2} \cdot 25,4 = 905 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Толщина в середине шейки

$$d' = 1,012 \cdot d = 1,012 \cdot 14,5 = 14,7 \text{ мм.}$$

Толщина в местах соединения с подошвой и головкой

$$d = 1,012 \cdot d = 1,012 \cdot 20 = 20,2 \text{ мм.}$$

Ширина шейки

$$B' = 1,012 \cdot B = 1,012 \cdot 152 = 154 \text{ мм.}$$

Площадь шейки с учетом боковых выемок по формуле для параболического сектора

$$F_w' = 154 \cdot 20,2 - \frac{2}{3} (154 - 10 - 24,8) (20,2 - 14,7) = 2780 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь профиля / по скелету калибра/

$$F' = 2 \cdot 1000 + 2 \cdot 905 + 2780 = 6590 \text{ мм}^2.$$

Второй калибр /предчистовой/

Расчет второго калибра производим, исходя из принятого в первом калибре коэффициента деформации

$$K = 1,07.$$

В этом случае толщина шейки составляет в середине

$$d \cdot K d = 1,07 \cdot 14,7 = 15,7 \text{ мм};$$

в местах соединения с подошвой и головкой

$$d \cdot K d = 1,07 \cdot 20,2 = 21,6 \text{ мм.}$$

Радиус очертания шейки определяется в процессе построения калибра.

Поскольку максимальная утажка высоты фланцев будет иметь место при минимальном диаметре валков / наиболее неблагоприятный случай при настройке стана/, дальнейший расчет необходимо вести, исходя из условий прокатки на изношенных /переточенных/ валках. Минимально возможный диаметр переточенных/ валков в третьей клети можно принять равным 0,9 от номинального; тогда

$$D_{\min} = 0,9 D = 0,9 \cdot 800 = 720 \text{ мм.}$$

Определим размеры и коэффициенты обжатия высоты и толщины в каждом из элементов профиля.

Подошва рельса. Высота искомого открытого фланца второго калибра

$$h'_o = \frac{D_w h_o}{D_w - h_3} = \frac{720 - 20,2 / 56,7}{720 - 20,2 / -56,7} = 62 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в закрытой части первого калибра

$$\lambda_3' = \frac{h'_o}{h_{o3}} = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{62 + \frac{21,6}{2}}{56,7 + \frac{20,2}{2}} = 1,09.$$

Коэффициент обжатия толщины в закрытой части первого калибра

$$\lambda_3 = \frac{K}{\lambda_3'} = \frac{1,07}{1,09} = 0,93$$

/ т.е. по толщине фланец не обжимается/.

Высота искомого закрытого фланца второго калибра

$$h'_3 = \frac{D_w h_o}{D_w + d} = \frac{720 - 20,2 / 56,7}{720 - 20,2 / +20,2} = 55,2 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в открытом фланце первого калибра

$$\lambda_3 = \frac{h'_3 + \frac{d}{2}}{h_o + \frac{d}{2}} = \frac{55,2 + \frac{21,6}{2}}{56,7 + \frac{20,2}{2}} = 0,986.$$

Коэффициент обжатия толщины в открытом фланце первого калибра

$$\lambda = \frac{K}{\lambda_3} = \frac{1,07}{0,986} = 1,085.$$

По найденным коэффициентам обжатий определяем толщину фланцев.

Толщина искомого открытого фланца у основания

$$b'_o \cdot b'_3 \lambda_3 = 24,8 \cdot 0,98 = 24,3 \text{ мм.}$$

Толщина искомого открытого фланца на конце

$$a'_o = \frac{1}{2} [\lambda_3 (b'_o + a'_o) \frac{h'_o}{h'_3} + \lambda_3 (b'_3 - a'_3)] = \\ = \frac{1}{2} [1,085 / 24,8 + 10,6 / \frac{55,2}{62} - 0,98 / 24,8 - 10,5 /] = 10,1 \text{ мм.}$$

Площадь открытого фланца

$$F'_o = \frac{b'_o + a'_o}{2} h'_o = \frac{24,3 + 10,1}{2} \cdot 24,3 = 1067 \text{ мм}^2.$$

Толщина искомого закрытого фланца на конце

$$a'_3 = \frac{1}{2} [\lambda_3 (b'_3 + a'_3) \frac{h'_3}{h_o} - \lambda_3 (b'_o - a'_o)] =$$

$$-\frac{1}{2} \left[ 0,98 \cdot 24,8 + 10,6 - \frac{a_2}{55,2} - 1,085 / 24,8 - 10,6 / \right] = 11,8 \text{ мм.}$$

Площадь искомого закрытого фланца

$$F'_3 = \frac{b'_3 + a'_3}{2} h'_3 = \frac{26,9 + 11,8}{2} \cdot 55,2 = 1067 \text{ мм}^2.$$

Равенство  $F'_o = F'_3$  подтверждает правильность расчетов.

Головка рельса. В чистовом пропуске верхний и нижний фланцы головки прокатываются в закрытой части калибра и, следовательно, находятся в одинаковых условиях деформации. Поэтому фланцы профиля, получаемого из второго калибра, также должны быть одинаковыми и оба должны быть рассчитаны на условий последующей деформации в закрытой части калибра.

Высота искомых фланцев

$$h'_o = h'_3 = \frac{D_o h_3}{D_o - h_3} = \frac{720 - 20,2/25,4}{720 - 20,2/25,4} = 26,4 \text{ мм.}$$

Коэффициент обкатки высоты головки в чистовом калибре

$$\eta'_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h'_3 + \frac{d'}{2}} = \frac{26,4 + \frac{21,6}{2}}{25,4 + \frac{20,2}{2}} = 1,05.$$

Коэффициент обкатки толщины головки в чистовом калибре

$$\lambda'_3 = \frac{\kappa}{\eta'_3} = \frac{1,07}{1,05} = 1,02.$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_o = b'_3 = b'_3 \lambda'_3 = 40,1 \cdot 1,02 = 40,7 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_o = a'_3 = a'_3 \lambda'_3 = 30,9 \cdot 1,02 = 31,5 \text{ мм.}$$

Площадь каждого из фланцев

$$F'_o = F'_3 = \frac{b+a}{2} h = \frac{40,7+31,5}{2} \cdot 26,4 = 960 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Толщина шейки определена в начале расчета. Для определения ширины шейки принимаем величину уширения в первом калибре по формуле

$$\Delta b = 0,018 + (n-1) = 0,01 \cdot 154 + /1-1/ = 1,5 \text{ мм},$$

где  $n$  порядковый номер калибра, считая против хода прокатки.

Тогда ширина шейки во втором калибре

$$B' = B - \Delta b = 154 - 1,5 = 152,5 \text{ мм.}$$

Площадь шейки с учетом закруглений

$$F'_s = 152,5 \cdot 21,6 - \frac{2}{3} / 152,5 - 24,3 - 40,7 // 21,6 - 15,7 / = 2950 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь профиля по скелету калибра

$$F' = 2 \cdot 1067 + 2 \cdot 960 + 2950 = 7000 \text{ мм}^2$$

Аналогично рассчитаны третий, четвертый, пятый и шестой /разрезной/ калибры.

В книге [18] даются общие указания для расчета трех трапецидальных калибров, хотя указывается, что размеры этих калибров могут быть определены в результате опытной прокатки. Поэтому для ориентировочного определения размеров следует воспользоваться данными аналогичных калибровок, проверенных на практике.

В учебнике "Прокатное производство" [19] приводятся данные по калибровке и прокатке рельсов Р-43 и Р-65 с размерами для элементов всех калибров при прокатке за 9 проходов.

В этой же книге даются графики изменения коэффициентов вытяжки, уширения, обкатки, утяжки и приращения высоты фланцев головки и подошвы при прокатке рельсов Р-43 и Р-65.

Приведенные графики весьма полезны для определения размеров калибров, особенно при расчете утяжки и приращения

высоты главные головки и подошвы.

В книге [20] приводятся подробные данные по прокатке, калибровке и термической обработке рельсов. В конце книги приложен атлас калибровки рельсов.

Расчеты по калибровке рельсов приводятся также в книге [21].

В книге А.П. Виноградова и Г.А. Виноградова [22] имеются данные по калибровке рельсов и приведены размеры калибров для рельса Р-43 при прокатке за 9 проходов.

В этой же книге приводятся также расчеты калибровки при прокатке рельсов узкой колеи.

### 3. Заводские калибровки железнодорожных рельсов

За последние 10 лет на рельсобалочных станах наших заводов освоена прокатка рельсов по новой калибровке и внесены дальнейшие усовершенствования.

В качестве примера можно привести данные освоения прокатки рельса Р-50 на заводе им. Дзержинского. Этот завод еще в 1929 году осваивал косую калибровку рельсов, но только в 1935 году полностью перешел на прокатку в косо расположенных калибрах.

В своей статье /23/ П.И. Чепелев приводит шаблоны калибров и расположение калибров на валах, а также таблицу калибровки. В этой калибровке применяется 4 трапецидальных калибра и 6 пластовых рельсовых калибров, из которых оси пяти калибров расположены под наклоном 15-12% по отношению

к линии прокатки /угол наклона равен 8,5-7°/.

Для улучшения качества рельсов была увеличена высота заготовки до 240 мм при ширине ее 160 мм с отношением сторон 1,5.

В статье [23] рекомендуется делать врез в первом калибре около 40 мм, а угол гребня около 100°, что обеспечивает более интенсивную проработку центральной части подошвы. Интенсивный режим обжатий на блюминге с кантовками через каждые два прохода также повышает выход рельсов первого сорта.

За последние годы калибровка рельса Р-50 подвергалась дальнейшему усовершенствованию.

О заводских калибровках и опыте прокатки железнодорожных рельсов имеются данные в итогах межзаводской школы по производству железнодорожных рельсов [12]. В этой статье приводится характеристика станов, описывается технология производства рельсов и их качество, схемы прокатки и т.д.

На заводе КМК прокатку рельсов ведут за 10 проходов - 4 трапецидальных и 6 рельсовых калибров.

На заводе "Азовсталь" применяют 2 трапецидальных и 6 рельсовых, причем исходная заготовка имеет вид трапеции. Наклон рельсовых калибров принят до 20% с целью увеличения стойкости валков линии 800.

На стане 900 блок 280x270 мм прокатывается в 3-х калибрах за 4 прохода, причем два калибра трапецидальных, между которыми расположен ребровый калибр / рис. 45/.

Всего требуется 12 проходов для прокатки блока 280x270 с боковиной  $T = 1150$  до готового рельса Р-50.

На заводе КМК блок 390x320 мм прокатывается в готовый рельс за 14 проходов, причем из клети 900 мм выходит заготовка 250x165 мм.

На Нижне-Тагильском комбинате блок 300x320 мм прокатывается в готовый рельс за 12 проходов, причем применяется 9 трапецидальных и 5 пластовых рельсовых калибров.

В нижеследующей таблице приводятся данные прокатки на блокинге указанных трех заводов.

Таблица 17

Прокатка на блокинге рельсового металла

Заводы	Слиток	Вес т	T-ра при посаде °C	Число проходов на блокинге	Сечение блюма	Число рельсов
КМК	760x670	7,0	830	11	320x320	9x12,5
НТМК	775x685	7,2	750	13	320x300	9x12,5
Азовсталь	865x770	8,6	780	17	270x280	6x25

Выход первых сортов на указанных станах был / 12 / на КМК - 95% ; на НТМК - 81,7 ; на Азовстали - 88,29%.

В указанной статье указывается, что стоимость передела одной тонны проката на КМК в два раза ниже, чем на других заводах при высоком выходе первых сортов рельса.

-----

Глава II. Особенности прокатки и калибровки различных сложных профилей

В предыдущих главах были рассмотрены калибровки типичных лесных профилей - уголка, двутавровой балки, швеллера и железнодорожного рельса.

В сортаменте прокатных станов имеется целый ряд сложных профилей, применяемых в различных отраслях народного хозяйства [1]. Сюда относятся специальные профили для строительства / сталь для оконных и фонарных переплетов, для спунтовых свай /, для судостроения / полособульбовая и др./, для паровозов и вагоностроения / зетовая сталь /, для сельскохозяйственного машиностроения / сталь тавровая, коробчатая и др./, для железнодорожного транспорта / накладки и подкладки/ для автотракторостроения/ автообод, бортовое кольцо/ и ряд других профилей.

Прокатными станами Советского Союза уже освоено 835 фасонных профилей [2]. В дальнейшем намечается расширить этот сортамент примерно в два раза. Большое значение в сортаменте прокатных изделий имеют экономические профили- тонкостенные уголки, балки, швеллеры и другие горячекатанные фасонные профили специального назначения, которые могут давать экономию металла от 8 до 15% и выше.

В отечественной литературе довольно подробно освещены калибровки по отдельным профилям, прокатываемым на наших заводах.

Ниже дается характеристика прокатки и калибровки отдельных профилей.

1. Прокатка и калибровка зетовой стали

Зетовая сталь для вагонов / ГОСТ 5267-50/ прокатывается

от № 4 до № 20, где номер показывает высоту профиля в см. На рис.50 даны размеры зетовой стали № 18.

Расчеты калибровки правильных зетовых профилей подробно изложены в книге Д.И.Старченко[3], в которой рассматривается методика калибровки с развернутыми полками. Эта методика во многом сходна с методикой калибровки углового профиля, поэтому расчет заключается в выборе обжатий по калибрам, в определении уширения, в построении калибров с изогнутыми полками. При построении калибров принимаются следующие положения[3]:

1/ Сохраняется прямой участок полки в пределах

$$b = 70,3 + 0,5 / b$$

2/ изогнутая часть полки  $b-b'$  изгибается радиусом, равным

$$R = \frac{b-b'}{0,01745\alpha};$$

3/ во всех зетовых калибрах сохраняется постоянным положение линии ножки.

Зная метод расчета калибровки уголка, нетрудно разобраться с расчетом калибровки зетового профиля, изложенным в книге[2]. В этой же книге даются расчеты калибровки неправильных зетовых и зетообразных профилей / рис.51/.

Расчет калибровки зетовой стали приводится также в книге Б.П.Бахтикова и И.М.Штернова[4].

Заводские калибровки и их расчеты даны в литературе, например в статьях И.И.Кучко[7], Б.В.Мерекина[8], С.В.Макаева и Б.В.Мерекина[9], в книгах по калибровке валков[4,5,6].

## 2. Прокатка и калибровка оконно-рамных профилей

Согласно ГОСТ 7511-58 имеются специальные профили, изготовленные горячей прокаткой и холодной формовкой и пред-

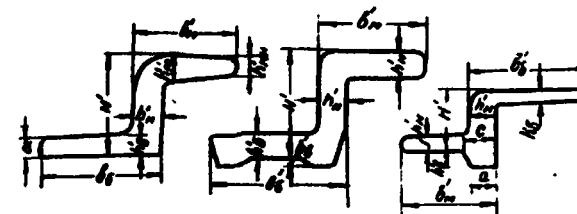
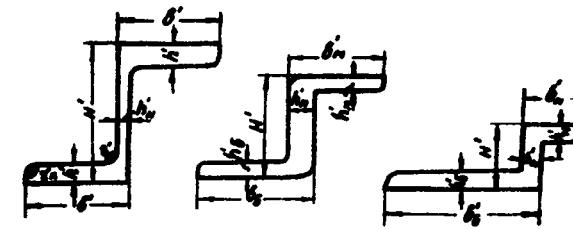


Рис.50. Зетовая сталь.

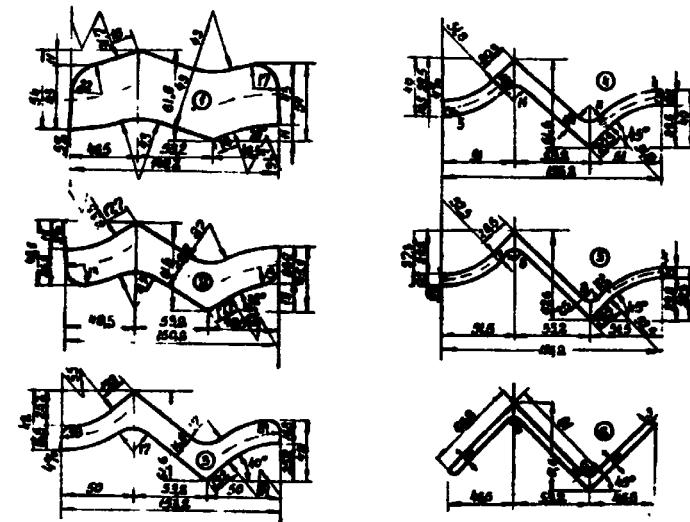


Рис.51. Зетообразные и неправильные зеты..

назначенные для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий. Эти профили имеют различную форму: уголка, тавра, кс-рата.

Прокатка оконно-рамных профилей изложена в статьях [10, 11] и в книге по калибровке [4].

В книге [4] приводится калибровка /темплеты/ оконно-рамного профиля в виде уголка. Прокатка ведется из заготовки 98x95 мм. В калибрах производится обкатание полок, причем уступ в профиле образуется уже в первом калибре. Для уменьшения высоты вреза малая полка имеет изгиб, как это делается в калибровке обычных уголков.

### 3. Прокатка и калибровка автообода

Для изготовления колес автомобиля требуется большое количество профилей сложной конфигурации, из которых изготавливают автообод.

Разнообразные профили автообода прокатывает завод им. Петроградского на среднесортном стане Д-550 линейного типа, состоящем из 4 рабочих клетей [12].

Как видно из рис. 52, автообод представляет собой полосу, имеющую на одном конце крючок, а на другом хвостовик или буртик. Колеса автомобилей для ЯАЗ-200, ЗИЛ-150 и ЗИЛ-155, ГАЗ-51 имеют автообод с одним бортовым кольцом, причем сам автообод удлинен так, что он со вторым бортовым кольцом представляет собой одно целое. Следует также отметить, что прокатанная полоса автообода ЯАЗ-200, ЗИЛ-150 и др. выходит из чистового калибра в изогнутом виде, а при холодной правке средняя часть /полотно/ выравнивается.

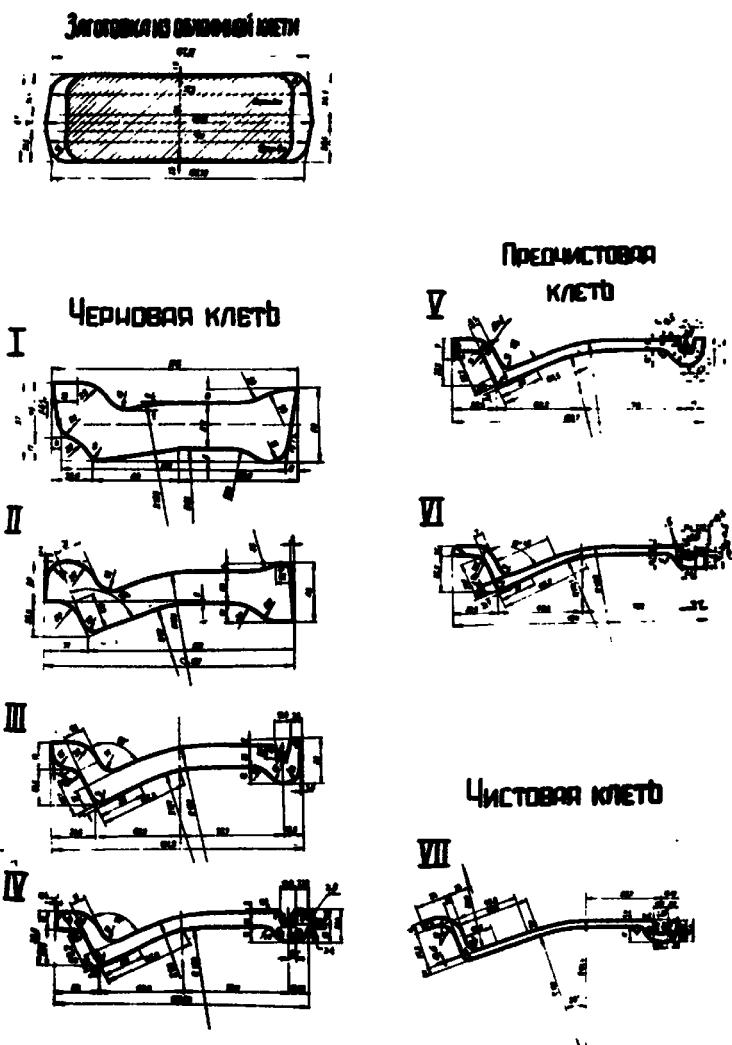


Рис.52. Калибровка автообода.

Во время отечественной войны на Магнитогорском металлургическом комбинате впервые была освоена прокатка автообода 170x5 на непрерывном штрапсовом стане 300 [4, 13, 14, 15].

Калибровка этого автообода представлена на рис.53.

Как видно из этого рисунка, прокатка и калибровка автообода по своему характеру приближается в прокатке полосовых профилей, когда обжатие происходит в одном направлении. Однако крючек на одном конце и буртик на другом создают усложнения при прокатке и калибровке автообода.

Укажем здесь на некоторые особенности калибровки автообода [4].

Горячие размеры чистового профиля взятые такие же, как и холодные размеры, т.е. прокатка ведется с минусовыми допусками.

Конфигурация профиля позволяет делать разъем в чистовом калибре только сверху. Коэффициенты вытяжки во всех элементах калибра взяты одинаковые, причем по шейке /полотну/ коэффициент уменьшения высоты принят:

$$\mu = \eta = \frac{d_1}{d_2} = \frac{6,5}{5,0} = 1,3.$$

где  $d_1$  и  $d_2$  - толщина шейки в чистовом и предчистовом калибре.

Так как крючок обжимается одновременно по толщине и высоте, то коэффициент обжатия крючка по высоте взят меньший

$$\eta = \frac{16,75}{14,25} = 1,17.$$

По дну крючка для лучшего заполнения взят коэффициент обжатия более значительный

$$\eta = \frac{8,5}{5,25} = 1,62.$$

Так как буртик сбоку не обжимается, то коэффициент обжатия высоты буртика должен быть равен приблизительно коэффициенту вытяжки  $\mu$ .

В данном случае

$$\eta = \frac{d_1}{d_2} = \frac{18}{14,25} = 1,27.$$

В предчистовом калибре взят коэффициент уменьшения толщины

$$\eta = \frac{d_1}{d_2} = \frac{8,5}{6,5} = 1,31 - \mu_3$$

Так как конец крючка по толщине не обжимается, то необходимо высоту крючка увеличить соответственно коэффициенту вытяжки

$$h_3 = \mu_1 h_1 = 1,31 \cdot 8,5 + 8,25 = 22 \text{ мм}$$

На чертеже /рис.53/ высота 28 относится к шаблону, так что калибр по высоте не заполняется.

Для буртика высота принята

$$h_3 = \mu_2 h_2 = 1,31 \cdot 18 = 23,5 \text{ мм}$$

Следует обратить внимание на небольшой ложный фланец с противоположной стороны буртика.

В третьем калибре для шейки принят коэффициент уменьшения толщины

$$\eta = \frac{d_1}{d_2} = \frac{14}{8,5} = 1,65$$

Этот коэффициент принят в основу расчета размеров крючка и буртика.

Как видно из рис.53, в 5-м проходе / считая против хода прокатки/ полоса обжимается в вертикальных валах до определенной ширины В=163 мм.

Из исходной прямоугольной заготовки 170x42 мм в 6-м

калибре получается полоса с утолщениями по краям толщиной  $h = 36$  мм, чтобы иметь металла для буртика и крючка.

Как указывалось выше, на стане 550 завода им.Петровского успешно прокатывается несколько профилей автообода, причем за последнее время здесь проведена рационализация калибровок [12].

По старой калибровке автообод РВ-202 прокатывался в 9 фасонных калибрах, по новой - в 5 фасонных калибрах, что привело к повышению производительности става и улучшению качества профиля.

Если в старой калибровке средний коэффициент вытяжки в 9 фасонных калибрах был  $M_{cp} = 1,28$ , то по новой в 5 фасонных калибрах коэффициент вытяжки значительно увеличился и равен  $M_{cp} = 1,56$ .

Сокращение числа проходов проведено и для других типов автообода. Например, НАЗ-200 прокатывался за 11 проходов, теперь за 7 проходов, ГАЗ-51 прокатывался за 15 проходов, теперь за 9.

О прокатке и калибровке автообода, кроме указанных источников имеются данные в статьях [13-18], а также в книге по калибровке валков сортовых станов [5].

#### 1. Прокатка и калибровка бортового кольца

Бортовое кольцо колеса автомобиля /рис.54/ прокатывается как правило, на мелкосортных станах линейного типа.

На мелкосортном стане 325 завода "Красный Октябрь" прокатывают бортовое колесо облегченного типа /рис.54/, который по сравнению со старым профилем легче на 20-22% [19]. Этот профиль прокатывается в 6 фасонных калибрах из квадратной

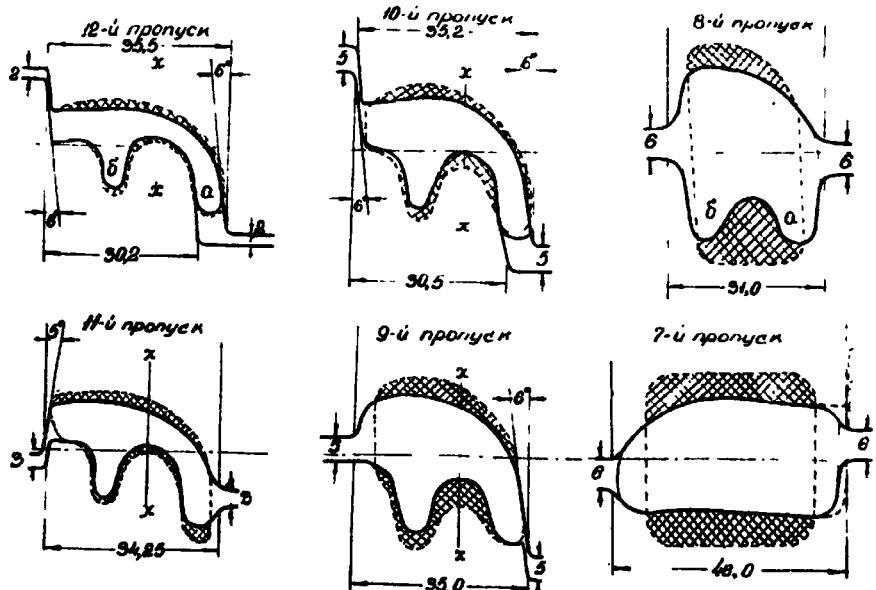


Рис.54. Калибровка бортового кольца.

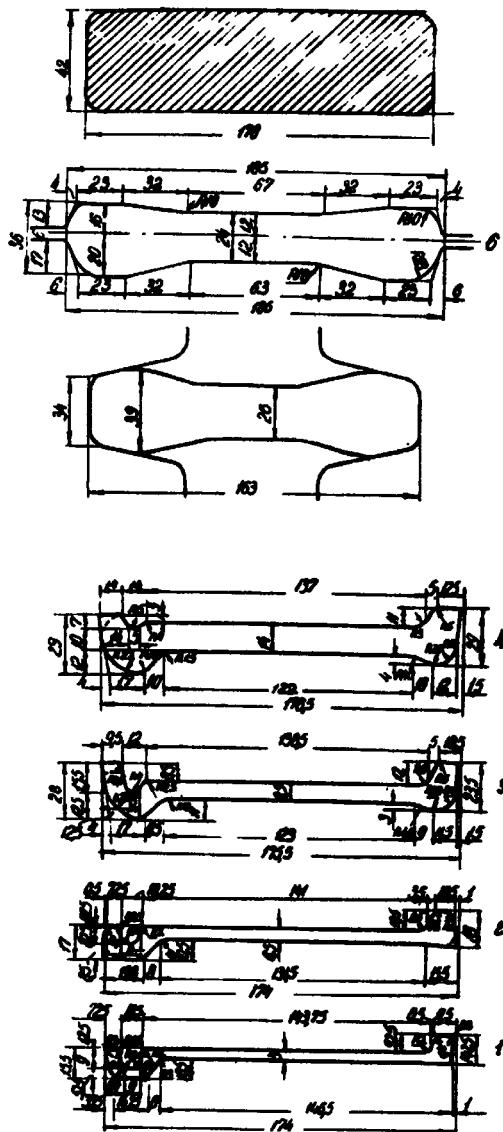


Рис.53 Калибровка штампованного обода 170 x 5.

заготовки 75x75 мм, длиной 2,4 м, весом 100 кг.

Коэффициенты вытяжки принятые следующие:

номер прохода	7	8	9	10	11	12
коэффиц. вытяжки	1,23	1,22	1,30	1,30	1,235	1,215

Как видно из представленной калибровки, 2-й (второй) калибр /8-й проход/ является разрезным, в котором начинает формироваться ножка "з" и сосок "б". В этом калибре создается наибольшая неравномерная деформация, за счет чего в последующих калибрах обеспечивается более равномерная деформация по элементам профиля.

Применение больших коэффициентов вытяжки для "соска" обеспечило хорошее его заполнение. Облегченный профиль бортового кольца таких же размеров, как описанный выше, прокатывается на линейном стане 250 Чусовского металлургического завода [20]. При освоении этого профиля на заводе был выявлен ряд недостатков, которые были впоследствии устранены. Была усовершенствована вводная арматура и проводился строгий контроль за его работой, было обращено внимание на тщательную обработку опорных конусов, применено более совершенное расположение чистового калибра и изменено расположение разъемов. Прокатка облегченного профиля бортового кольца, несмотря на уменьшение веса профиля, не снизила производительности прокатного стана.

Бортовое кольцо № 203 прокатывается на стане 330 завода им. Дзержинского в 6 фазонных калибрах из квадратной заготовки 60x60 мм [21].

В литературе [22] дается описание калибровки и прокатки бортового кольца 25-т для колеса автосамосвала. Технология

приводится расчет калибровки для бортового кольца РW-128.

### 5. Прокатка и калибровка подкладки для железнодорожных рельсов

В книге Б.П. Бахтинова и М.М. Штерова [4] приводится пример калибровки подкладки для рельса 1а /Р-43/, которая проектировалась на стане 500. Этот профиль характеризуется несимметричностью, что обуславливает применение неравномерного обжатия по ширине полосы.

На рис.55 приводятся калибры для прокатки подкладки, которая прокатывается в 9 фасонных калибрах.

Как видно из рис.55, в первых 4-х калибрах происходит максимальное обжатие в средней части полосы и получение приближенной формы готового профиля. Первый и второй калибры являются разрезными. В четвертом калибре получается по ширине симметричный профиль, причем против выступов профиля имеются небольшие противофланцы.

В следующих 3-х калибрах значение коэффициентов  $\frac{H}{h}$  изменяется в сторону более равномерного распределения обжатий по ширине полосы.

В последних двух калибрах /чистовом и предчистовом/ для фланцев /выступов/ принимается более значительное обжатие, что обеспечивает хорошее заполнение фланцев, противофланец в предчистовом калибре полностью выдавливается, чем обеспечивается хорошее заполнение фланцев.

Примеры калибровки и основы расчета рельсовых подкладок для рельса Р-50, рельсов метрополитена приводятся в книге Н.В. Литовченко, Б.Б. Диомидова и В.А. Курдюмовой [5].

### 6. Прокатка и калибровка накладки изолирующих стыков к железнодорожным рельсам

Накладка к железнодорожным рельсам имеет сложную конфигурацию и значительную несимметричность /рис.56/, что обуславливает трудности при прокатке и калибровке. Это объясняется следующими причинами:

1/ профиль имеет глубокую впадину для подошвы рельса; такую впадину почти невозможно получить обычной прокаткой;

2/ выступ а /рис.56/ прокатывается в закрытой части калибра и при прокатке получает утяжку;

3/ так как накладка плотно прилегает к рельсу, профиль накладки прокатывается с малыми допусками.

На стане 600 трио Чкаловского завода ведется прокатка накладки из заготовки 220x220 мм за 19 проходов: семь проходов в обжимной клети, шесть - в черновой и шесть - в чистовой клети.

Первые восемь проходов прокатка ведется в прямоугольных калибрах, остальные одиннадцать проходов прокатка ведется в фасонных калибрах. Сначала прокатка велась за 17 проходов с загнутой полкой на 20°. В цехе отделки полка отгибалась до нормального положения, однако такая операция оказалась сложной, и от нее пришлось отказаться.

Поэтому перешли на прокатку за 19 проходов, причем в 18-м проходе полка отогнута на 10°, а в чистовом, 19-м калибре получается окончательный профиль без обжатия, но с подгибкой полки до нормального положения /подгибочный калибр/.

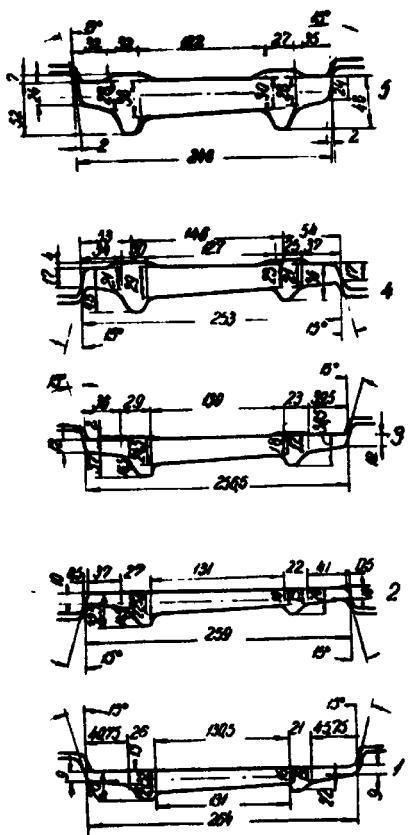


Рис.55 Калибры для подкладок (продолжение).

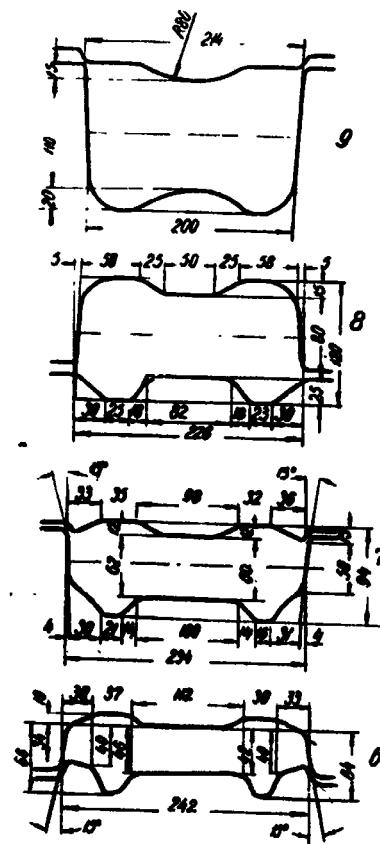


Рис.55 Калибры для подкладок

В остальных 6 калибрах, расположенных в чистовой клети, стремится к более равномерной деформации по отдельным элементам профиля. Для возможности прокатки полки последняя прокатывается в отогнутом виде, а в калибрах 13, 14, 15 и 16 полки развернуты.

#### 7. Прокатка и калибровка полособульбовых профилей

Полособульбовые профили /рис.57/ предназначены для судостроения /ГОСТ 5353-52/ и прокатываются из сталей Ст.Зс, Ст.4с и различных никелевированных конструкционных сталей. Полособульбовая сталь представляет собой несимметричный профиль, горячая прокатка и холодная правка, которая связана с значительными трудностями.

Существуют различные способы калибровки полособульбовой стали 25 : полосовая, полосоугловая, хебчато-полосовая калибровка. Д.И.Старченко предложил новый способ калибровки полособульбовой стали, так называемую корытную калибровку, которая подробно изложена в его статье [26].

Сущность корытной калибровки полособульбового профиля определяется двумя особенностями:

1/ все подготовительные калибры, включая и предчистовой выполняются корытыми, окончательное выправление полотна со свободным уширением осуществляется в чистовом закрытом не головке калиbre;

2/ высота головки и ширина полотна контролируется за счет ребрового обжатия этих элементов.

На рис.57 представлена корытная калибровка полособульбовой стали № 12 с прямым расположением всех калибров, выполненная Д.И.Старченко и осуществленная на наших прокатных станах.

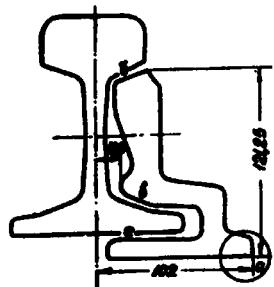


Рис.56 Накладка к железнодорожным рельсам.

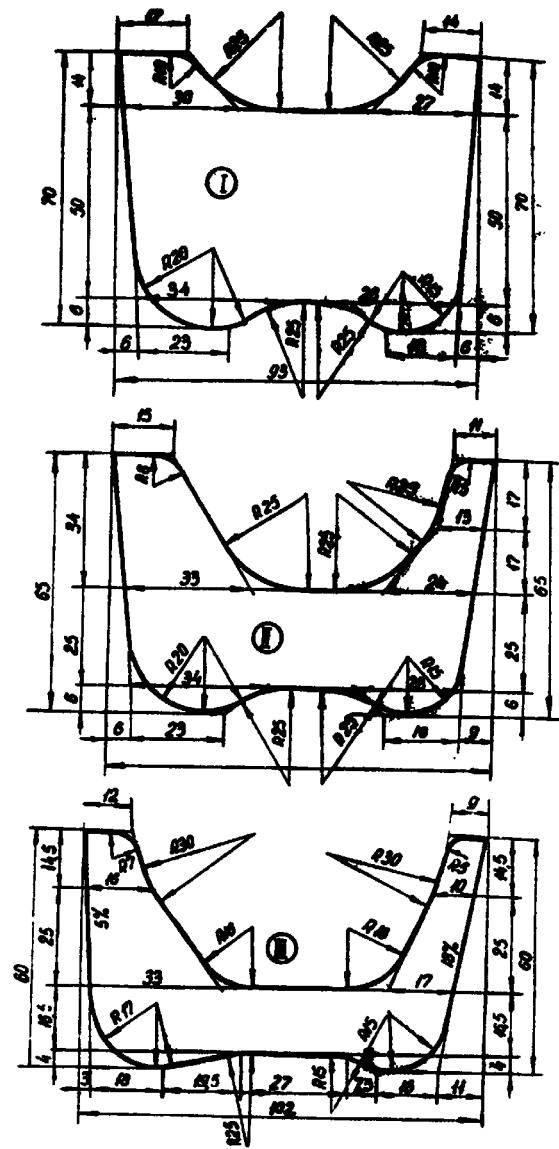


Рис.57 Калибровка полособульбовой стали.

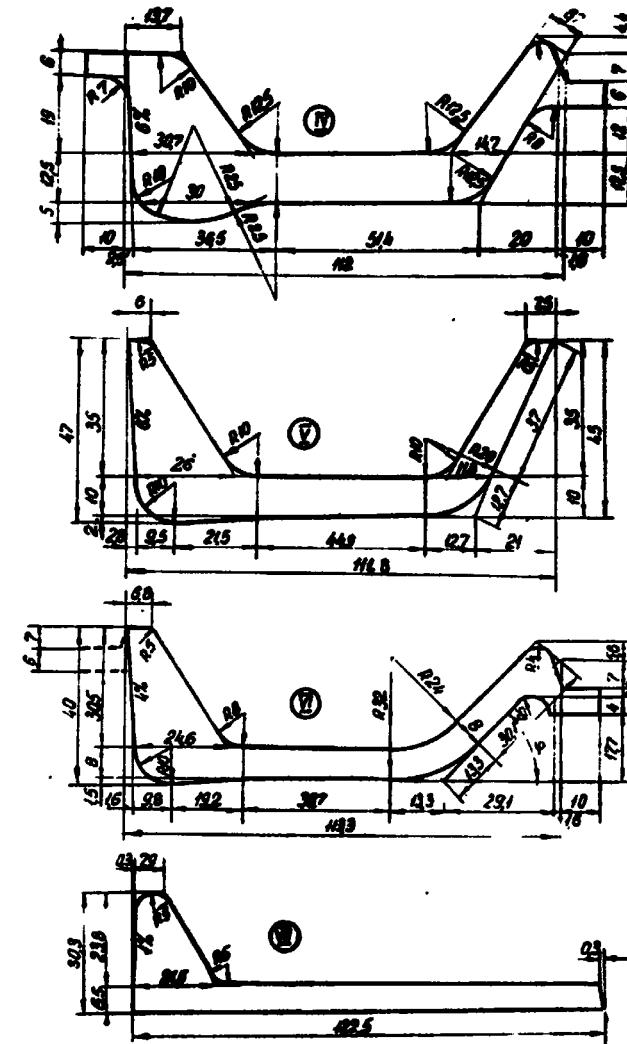


Рис.57 Калибровка полособульбовой стали (продолжение).

- 152 -

Подробный расчет калибровки профиля приводится в статье [25]. Ниже дается краткая характеристика прокатки и калибровки полособульбовой стали. Всего принимается 6-7 фасонных калибров. В последних 5 калибрах необходимо соблюдать равномерность деформации по элементам профиля, в первых двух по ходу прокатки калибрах-разрезных производится черновое формоизменение с неравномерной деформацией. Первые два калибра могут иметь прямое и косое расположение.

Предчистовой калибр с закрытой головкой /У1-й по рис.57/ со свободным уширением головки раската и ребровым обкатием полки оказался наиболее удовлетворительным.

В первом контрольном калибре /1У калибр, рис.57/ происходит ребровое обкатие головки и полки раската. В предчистовом калибре полка имеет также ребровое обкатие с контролированием размеров.

В чистовом калибре осуществляется окончательное разгибание полотна полособульбовой стали при небольшом равномерном обкатии по всем элементам раската.

Внедрением новой калибровки полособульбовых профилей в производство достигнуто снижение брака примерно в 2 раза, сокращение расходного коэффициента на 5-7% и увеличение производительности стана по этому профилю на 40-50%. Ведется также прокатка сдвоенного полособульбового профиля [26].

#### 8. Прокатка и калибровка лемешной полосы

На стане 500 завода им.Дзержинского прокатывается лемешная полоса с переменным сечением по длине полосы и с местными утолщениями /магазинами/, начиная с 1949 года [27].

С 1954 года прокатывается на этом стане более сложная лемешная полоса 149Д.

Прокатка лемешной полосы ведется по следующей схеме. На обжимной клети стана 500 заготовка 180x180 мм прокатывается за 7 проходов в прямоугольную заготовку 90x124 мм. Эта заготовка далее поступает во вторую клеть чистовой линии, в которой производится 5 проходов, в третьей /чистовой/ клети дается 2 прохода - предчистовой и чистовой.

За последнее время освоена прокатка нового профиля для составного лемеха, состоящего из спинки и лезвия. На рис.58 показана сдвоенная полоса для спинки составного лемеха, которая прокатывается на стане 500 завода им.Дзержинского. Сдвоенная полоса для лезвия составного лемеха прокатывается на стане 550 завода "Днепропресссталь" [29].

Данные по прокатке и расчету калибровка лемешной стали имеются также в [5,28].

#### 9. Прокатка и калибровка тавровых профилей

Тавровые профили применяются в строительстве, сельском хозяйстве, железнодорожном транспорте, для оконных переплетов промышленных зданий и т.д. Некоторые виды тавровой стали представлены на рис.59. Обычно применяют для указанных целей тавровые профили мелких и средних размеров.

Прокатка тавровой стали ведется в закрытых калибрах и открытых калибрах. При прокатке в закрытых калибрах заготовка сперва обжимается в диагональных и трапециoidalных калибрах для получения глубокого таврового очертания за счет неравномерной деформации. Затем идет чередование

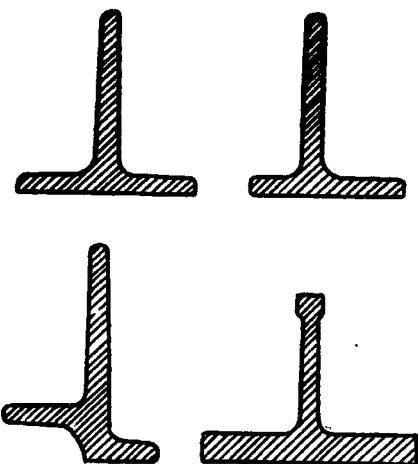


Рис.59. Виды тавровых профилей.

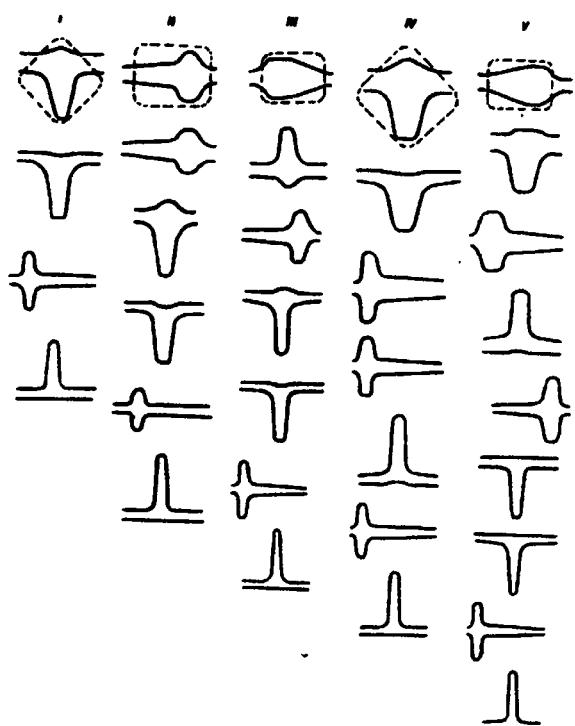


Рис.60. Прокатка таврового профиля в открытых калибрах.

пластовых и ребровых калибров для обжатия стенки и языка таврового профиля, для чего полоса кантуется. Размеры калибров делаются так, как и в балочных калибрах, так что имеется закрытый и открытый фланец для полки.

Прокатка тавровых профилей в закрытых калибрах имеет ряд недостатков: износ опорных конусов приводит к неравномерному обжатию полок, возникает опасность заклинивания металла в калибре, быстро изнашивается и выходит из строя валковая арматура, часто образуются закаты в месте соединения полки и стенки, наличие опорных конусов требует больше места для размещения калибров на валках и т.д.

Однако калибровка таврового сечения в закрытых калибрах обеспечивает более точные размеры и часто применяется при прокатке крупных сечений тавровых профилей на заводах ММК, КМК и др.

Методика расчета калибровки при прокатке таврового профиля в закрытых калибрах излагается в книге Б.П.Бахтинова и М.И.Штернова [4].

За последнее время широкое применение получила прокатка тавровых профилей в открытых калибрах, которая имеет следующие преимущества [3]:

- 1/ вследствие меньшей глубины вреза и простой формы калибров можно применять более значительные деформации;
- 2/ в ребровых калибрах с вертикальным расположением стенки отсутствуют осевые усилия при прокатке;
- 3/ сокращается расход энергии, так как отсутствует трение металла о боковые стени калибра;
- 4/ уменьшается расход прокатных валков вследствие более рационального размещения калибров без больших реборд с

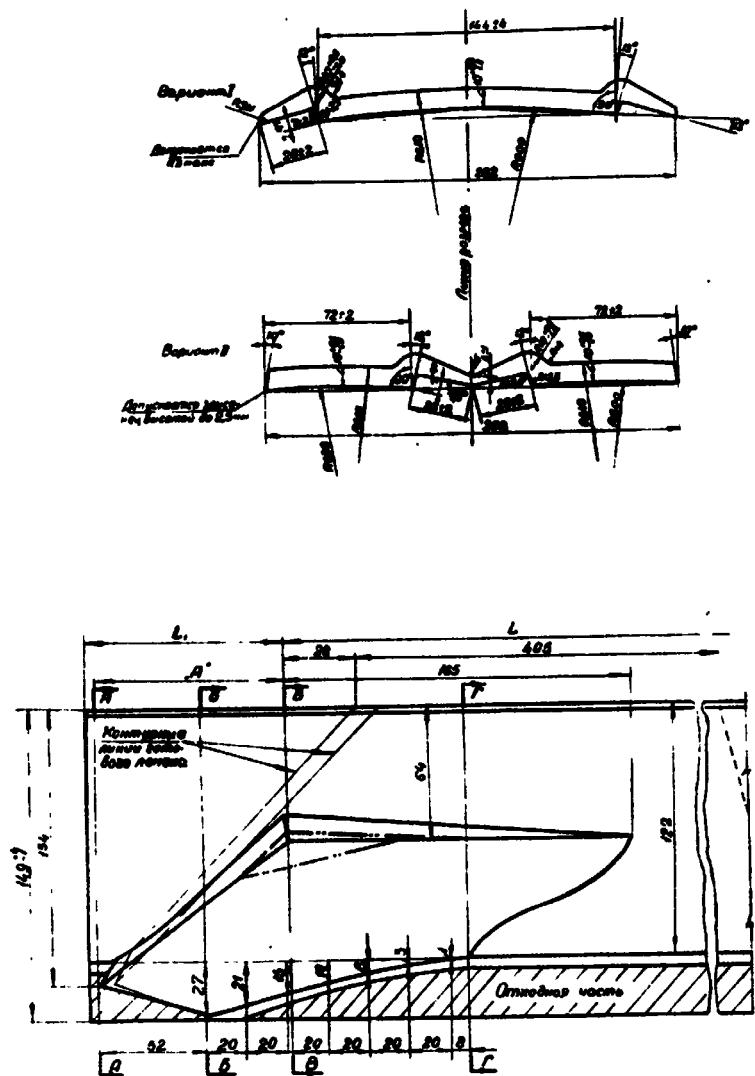


Рис.58 Сдвоенная лемешная полоса

конусами;

5/ одним и тем же калибрами могут быть использованы для прокатки ряда профилей смежных размеров.

Прокатка в калибрах со свободным уширением по сравнению с прокаткой с ограниченным уширением в закрытых калибрах имеет следующие недостатки:

1/ в открытых черновых калибрах возможно свертывание полос;

2/ при прокатке со свободным уширением в отдельных случаях не дает возможности получить точных размеров;

3/ в открытых калибрах на боковых гранях полосы при недоброкачественном металле возможны случаи образования трещин;

4/ возможны случаи сковывания валков за счет защемления стеки;

5/ необходимо периодически кантовать полосу.

Изложенные недостатки при современном уровне производства удается устранить, поэтому прокатка в калибрах со свободным уширением с успехом применяется на наших заводах /Гурьевском, "Серп и Молот" и др./.

На рис.60 представлены типовые схемы прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением [31].

Схема I предназначена для прокатки тавровой стали небольших размеров с толщиной стенки и полок 5-7 мм. Прокатка ведется за 4 прохода, причем первые два прохода в ребровых калибрах. Схемы II и III применяются для прокатки тонкостенных тавровых профилей за 6 и 7 проходов. По этим схемам прокатываются профили средних размеров с высотой стенки от 30 до 60 мм с шириной полок до 65 мм.

Схема 1У применяется для крупных размеров тавровой стали с высотой стенки 70-250 мм и общей шириной полок 70-200 мм.

Схема У служит для прокатки тавровых профилей средних размеров на линейных станах, когда число проходов доходит до 9.

В упомянутой книге [31] приводятся примерные расчеты калибровки и даются размеры наблонов для тавровых профилей различной формы.

#### 10. Прокатка и калибровка шпунтовых свай

Горячекатанные шпунтовые сваи применяются для различных металлических перемычек, изготавливаемых путем забивания металлических свай. Согласно ГОСТ 4781-55 существует сталь шпунтовая плоского профиля /ШП-1 и ШП-2/, сталь шпунтовая корытного профиля /ШК-1 и ШК-2/, сталь шпунтовая зетового профиля /ШД-3 и ШД-5/.

На рис.61 представлены указанные три типа шпунтовых свай. В указанном ГОСТ приведены все размеры, допускаемые отклонения, технические условия и другие данные.

Шпунтовая свая представляет собой весьма сложный профиль, который с успехом осваивался на наших заводах [35,36, 37,38].

Особенно сложной является замковая часть шпунтовой сваи, которая получается путем сгибания не только в валках, но также в проводках и направляющих /оправки/.

Калибровка шпунтовой сваи корытного профиля /ШК-1/ приведена в книге [1], в которой дается также монтаж калибров в валках черновых клетей трюо и чистовой клети дуо.

В сборнике [37] в статье В.Л.Сазоненко подробно описана прокатка и калибровка шпунтовой сваи типа Ларсена Л1У и ЛУ /рис.61,г/. Этот профиль отличается от шпунтовой сваи типа ШК-2 /рис.61,б/ формой замочного крючка. Для прокатки шпунта ЛУ заготовка от блюминга 950 размерами 360x320 мм поступает на рельсобалочный стан 925, на котором дается 15 проходов в 3 рабочих клетях / 9+3+3 прох./. Для получения замкового крючка применяли непосредственный загиб в последнем калибре.

Опыт прокатки показал, что непосредственный загиб крючка в валках не совсем рационален. Лучшие результаты получаются, если загиб производят в специальных проводках.

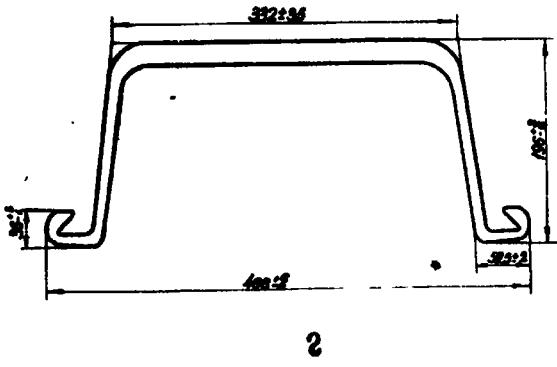
#### 11. Продольная прокатка периодических профилей

Для сокращения операций и потерь при штамповке применяют исходную заготовку периодического профиля, полученную прокаткой. Продольная прокатка периодических профилей освоена на стане 550 завода им.Петровского [39,40,41,42]. В настоящее время на этом стане прокатывается 12 периодических профилей, идущих для нужд автомобилестроения.

Освоены такие профили как ось ГАЗ-51, ось ЗИЛ-150, ось ЗИЛ-355, ось ЗИЛ-5, коленчатый вал М-20 и другие профили.

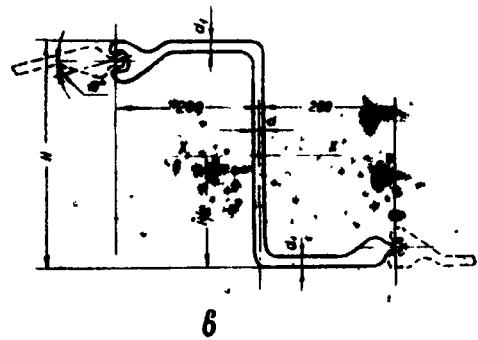
На рис.62 представлены некоторые периодические профили, прокатываемые на стане 550.

Применение заготовок периодического проката в кузнецких цехах автозаводов позволяет повысить производительность штамповочных машин на 10-25%, снизить расходы на штампы.

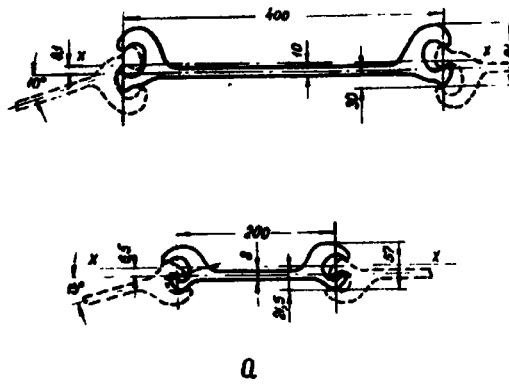


2

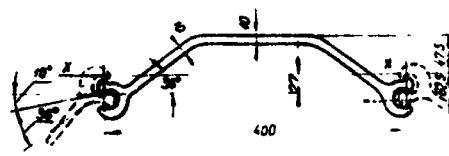
Рис.61. в. диагональная ШД-3  
г. шпунт Ларсена



6

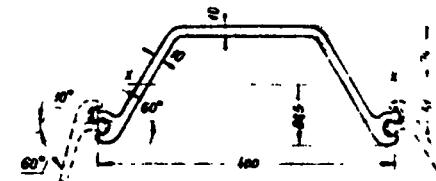


7



8

Рис.61 Гипс для щебнях сеял  
а. короткая ШД-1 и ШД-2  
б. короткая ШД-1 и ШД-2



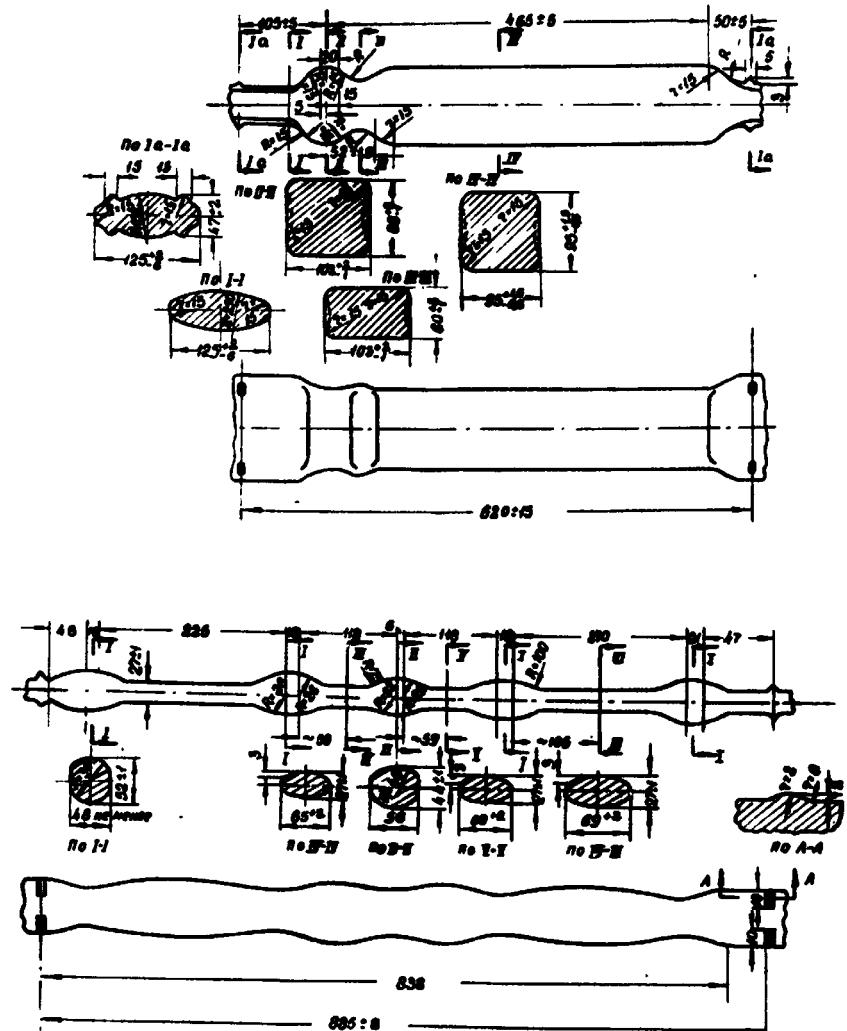


Рис. 62. Периодические профили.

Основная трудность продольной прокатки периодических профилей заключается в том, чтобы за один проход добиться совпадения отпечатков на верхней и нижней сторонах профиля. Чтобы периоды верхнего и нижнего валков были одинаковы, на стане 550 применена кулачковая муфта, состоящая из двух полумуфт. Для точной настройки валков регулируются конусные вкладыши кулачковой муфты. Чистеренная клеть, предложенная С.Н.Филипповым, дает возможность производить настройку стана без остановки стана. Имеется также механизм, задающий раскат в калибр чистовой клети при определенном положении валков.

Для обеспечения точной длины периодов необходимо соблюдать постоянство температуры проката в чистовом проходе в пределах 1000-1030°C.

На длину прокатываемых заготовок необходимо удалять оканчу, для чего перед чистовым калибром оканчина сбивается водой под давлением 25 атм.

При прокатке периодических профилей коэффициент обкатки в чистовом калибре колеблется от 3 до 1,25. Для устранения ударов и толчков при прокатке необходимо также учитывать влияние профиля валков.

При проектировании периодических профилей и расчета калибров можно воспользоваться данными, приведенными в книжке С.Н.Филиппова [39] и брошюре И.И.Синицы [40].

Так как прокатка периодических профилей представляет собой сложный процесс, то за последнее время проведены обширные исследования с целью изучения условий захвата,

явлениями перекосами, уширениями, давлением при прокатке и других факторов.

Кафедра обработки металлов давлением ДМетИ также проводит систематическое исследование процесса периодической прокатки, используя для этого лабораторный стан [41].

### Л и т е р а т у р а

#### К главе I

1. А.П.Чекмарев, М.С.Мутьев, Р.А.Макковцев. Расчеты по калибровке прокатных валков, ч. 1, Днепропетровск, 1963.
2. Сортамент черных металлов. Прокат и калиброванная сталь, Государственное издательство стандартов, 1960.
3. Б.П.Бахтинов, М.И.Штернов. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1953.
4. А.П.Чекмарев, О форме калибров для прокатки углового хомута, ДОМЕЗ, 1934, № 8.
5. Д.И.Старченко, Развернутая калибровка фасонных профилей, Металлургиздат, 1952.
6. Б.П.Бахтинов, Уточненный метод расчета калибровки угловой стали, Сталь, 1960, № 4.
7. М.И.Штернов, Калибровка угловой стали, Металлургиздат, 1961.
8. В.С.Смирнов, К.Н.Богоявленский, Н.Н.Павлов, Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
9. Б.В.Мерекин, О калибровке угловой стали, Сборник "Обработка металлов давлением", вып.5-4, 1959.
10. Н.В.Литовченко, Б.Б.Дюмидов, В.А.Курдомова, Калибровка валков сортовых станов, Металлургиздат, 1963.
11. Д.И.Старченко, Новая методика калибровки экономичной тонкополойчной угловой стали, Теория прокатки, Материалы конференции в Днепропетровске по теоретическим вопросам прокатки, Металлургиздат, 1962.
12. М.И.Штернов, К расчету калибров для угловой стали, Сталь, 1960, № 6.
13. В.П.Савоненко, Рационализация калибров на мелкосортных станах 330 и 280 с целью повышения производительности, Труды научно-технического общества черной металлургии, т. II, Днепропетровск, 1957.

14. А.П.Чекмарев, В.В.Остапенко, Г.П.Борисенко, В.В.Гетманец, Л.Н.Левченко, Прокатка угловой стали на непрерывном станове, Обработка металлов давлением, Научные труды Днепропетровского металлургического института, том XI.Ш, Металлургиадат, 1962.
15. С.В.Макаев, И.Я.Винокуров, Б.В.Мерекин, Г.Д.Фейгин, Н.П.Скрябин, Н.К.Рябоконь, Производство облегченных профилей, Металлургиадат, 1962.
16. А.И.Соловьев, Рациональная калибровка непрерывного сортового стана 350-1, Труды научно-технического общества черной металлургии, том II, Днепропетровск, 1957.
17. И.С.Победин и В.Г.Дрозд, Производство сортовой стали, Металлургиадат, 1962.
18. Я.Б.Фурман, Опробование пластовой калибровки угловой стали на сортовых станах 300 мм, Сталь, 1962, № 8.
19. В.К.Яцура, Исследование прокатки уголка № 4, Сталь, 1958, № 6.
20. В.К.Яцура, Условия успешного применения открытых калибров при прокатке угловой стали, Сталь, 1958, № 11.
21. И.М.Кочетов, Калибровка угловой стали, Сталь, 1951, № 11.

К главам П и Ш

1. А.П.Чекмарев. Калибровка фланцевых профилей. Труды НТО ЧМ, т.II, Днепропетровск, 1957.
2. Б.П.Бахтинов и М.М.Штернов. Калибровка прокатных валков. Металлургиадат, 1953.
3. А.П.Виноградов и Г.А.Виноградов. Калибровка прокатных валков. Металлургиадат, 1950.
4. Х.Хофф и Т.Даль. Прокатка и калибровка, Металлургиадат, 1957.
5. Рационализация профилей проката. Сборник, Профиздат, 1956.
6. С.В.Макаев, И.Я.Винокуров, Б.В.Мерекин, Г.Д.Фейгин, Н.П.Скрябин, Н.К.Рябоконь. Производство облегченных профилей. Металлургиадат, 1962.

7. Росс Е.Бейнол. Калибровка валков и расположение прокатных станов. Металлургиадат, 1960.
8. Первый британский стан для прокатки универсальных балок.
9. А.А.Королев. Зарубежные прокатные стани. Машгиз, 1958.
10. Iron and Steel Engineer, 1958, № 12
11. В.Э.Диттрих. Прокатка широкополосных балок в Ингэнд Стил Компани. Iron and Steel Eng. 1957, 1, 34, № 1.
12. И.И.Кучко, Н.П.Кудрявцев и В.А.Ернов. Производство облегченных балок на рельсобалочном стане КМК. Болшевенъ ЦНИИЧМ, 1960, № 22.
13. П.И.Полухин. Прокатка и калибровка двутавровых балок. Металлургиадат, 1956.
14. И.С.Победин и В.Г.Дрозд. Производство сортовой стали. Металлургиадат, 1962 г.
15. П.И.Полухин и др. Прокатное производство. Металлургиадат, 1960.
16. А.П.Чекмарев, Г.И.Малый, П.Ф.Карлов, В.И.Сорокин, Н.И.Беда, А.В.Маякин, С.П.Струков, А.Д.Коцеев, А.А.Карлов, Р.А.Манковцев и Г.Г.Иломчак. Освоение прокатки облегченных швеллеров. Сталь, , 1962, № 5
17. Д.И.Старченко. Раазвернутая калибровка фасонных профилей. Металлургиадат, 1952.
18. Б.В.Мерекин и И.Н.Филиппов. Опыт освоения прокатки облегченных двутавровых балок, швеллеров и уголков /по материалам меж заводской школы/. ЦНИИЧМ, 1961.
19. И.И.Кучко, Н.П.Кудрявцев. Калибровка и прокатка облегченного швеллера № 40. Сталь, , 1959, № 6
20. А.П.Чекмарев и Р.А.Манковцев. Износ прокатных валков. Металлургиадат, 1956.
21. Н.И.Серавандинов. Освоение облегченных профилей на МЗК. Сталь, 1960, № 7.

22. В.Н.Ершов. Расчет температурного режима прокатки двутавровых балок и швеллеров. Сталь, 1960, №12.
23. С.В.Макаев, Н.П.Скрибен, Д.М.Рабинович, В.А.Шадрин, В.Д.Корщиков. Освоение прокатки облегченных профилей из низколегированных сталей. Сталь, 1961, №3.
24. Р.А.Машковцев и А.М.Карпунин. Деформации металла в балочных калибрах. Известия ВУЗов, Черная металлургия, 1961, № 8.
25. П.И.Полухин и О.С.Попов. Исследование деформации в ко-корасположенных балочных калибрах. Сталь, 1960, № 12.
26. И.И.Кучко. Опыт освоения прокатки облегченных двутавровых балок, швеллеров и уголков. Бюллетень ЦНИИЧМ, 1961 г.
27. И.И.Кучко, Н.П.Кудрявцев. Развернутая форма калибров при прокатке двутавровых балок. Металлург, 1959, № 1.
28. В.Н.Ершов и В.М.Пиндорин. Причины получения фланцев с рваными кромками при прокатке двутавровых балок. Бюллетень ЦНИИЧМ, 1960, № 14.
29. М.А.Зайков. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке. Металлургиздат, 1960.
30. В.Е.Грум-Григориадо. Прокатка и калибровка. КУБУЧ, 1933.
31. М.С.Мутьев. Определение высоты исходной заготовки при прокатке в закрытом разрезном калибре. Сб. Обработка металлов давлением, научные труды Х УШ Днепропетровского металлургического института, 1962.
32. М.С.Мутьев. Калибровка черновых валков. Изд-во "Металлургия", 1964.

К главе 1У

- 1.П.А.Александров и И.С.Тришевский. О рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1955, №12.
- 2.В.П.Хлебников, М.Д.Фрадин, П.А.Чеховский. К вопросу о рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1954, № 5.
- 3.П.А.Александров и И.С.Тришевский. Повышение качества рельсов путем улучшения и унификации калибровок, Сталь, 1954, №5.
- 4.Новые стандарты на рельсы и накладки для железнодорожных рельсов шириной колеи, Бюллетень ЦНИИ, 1955, №1.
- 5.Б.С.Шапиро, О рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1953, № 3.
- 6.И.И.Кучко, Освоение прокатки рельсов тяжелого типа, Бюллетень ЦНИИ, 1961, №16.
- 7.И.И.Кучко, Н.Е.Скороходов. Анализ калибровок железнодорожных рельсов, Сталь, 1952, №5.
- 8.И.И.Кучко, М.Г.Серкин, Л.Н.Сороко, о рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1956, № 5.
- 9.А.И.Карпунин, О рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1957, № 6.
- 10.В.П.Хлебников, М.Д.Фрадин, П.А.Чеховский, К вопросу о рациональной калибровке рельсов, Сталь, 1957, № 12.
11. М.П.Галемин, Прокатка железнодорожных рельсов с сокращенным числом проходов, Труды НТИЧМ, том II, Днепропетровск, 1957.
12. М.П.Чепелев, А.И.Карпунин, Итоги межвузовской школы по производству железнодорожных рельсов, Бюллетень ЦНИИ, 1957, № 21.
13. П.А.Емцило, А.И.Девченко, В.П.Хлебников. Повышение прочности подошвы рельсов прокаткой их в ванках с различными настройками, Сталь, 1946, № 11-12.
14. Б.И.Шум, Особенности калибровки рельсов, труды конференции в Магнитогорске "Технический прогресс в технологиях прокатного производства", Металлургиздат, 1960.

15. М.М.Горенители, А.З.Дильеич. Режимы прокатки тяжелых рельсов, Сталь, 1962, № 7.
15. Н.П.Добин и В.В.Грофимов, Качество рельсов, Металлургиздат, 1959.
17. Казарновский, Пути решения рельсовой проблемы, Сталь, 1958, № 2.
1. Б.П.Бахтинов и М.И.Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
19. П.И.Полухин, Н.В.Грдина, Е.Я.Заревин. Прокатка и термическая обработка рельсов, Металлургиздат, 1963.
20. П.И.Полухин, Н.М.Федосов, А.А.Королев, Д.М.Матвеев, Прокатное производство, Металлургиздат, 1960.
21. Н.В.Литовченко, Б.Б.Диомидов, В.А.Курдомова. Калибровка валков сортовых станов, Металлургиздат, 1963.
22. А.П.Виноградов и Г.А.Виноградов, Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1960.
23. П.И.Чепелев, Калибровка и прокатка железнодорожных рельсов на заводе им.Дзержинского, Труды НТО ЧМ, т.П., Днепропетровск, 1957.
24. Рельсы тяжелого типа Р-65, Болхетень ЦМИН, 1957, № 3.

К главе У

1. Сталь углеродистая обыкновенного качества и низколегированная. Сортовой и фасонный прокат. Стандартгиз 1960.
2. Б.С.Шамиро. Достижение прокатного производства СССР к 45-летию Октября, Сталь, 1962, № 11.
3. д.и.Старченко, Разворнутая калибровка фасонных профилей, Металлургиздат, 1952.
4. Б.П.Бахтинов и М.И.Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
5. Н.В.Литовченко, Б.Б.Диомидов, В.А.Курдомова. Калибровка валков сортовых станов, Металлургиздат, 1963.
6. С.В.Макаев, И.Я.Винокуров, Б.В.Мерекин, Г.Д.Рейгин, Н.И.Скрибин, Н.К.Рябоконь. Производство облегченных профилей, Металлургиздат, 1962.

7. А.А.Хучко, Калибровка зетовой балки 310x174x125, Сталь, 1963, № 4.
8. Б.В.Мерекин, Калибровка зетовой балки 310x174x125, Сталь, 1963, № 4.
9. С.В.Макаев, Б.В.Мерекин. Опыт прокатки облегченного профиля 310, Сталь, 1959, № 12.
10. А.А.Крупник, Рациональная калибровка окончаемых профилей № 8 и № 8а, Труды НТО ЧМ, том.П., Днепропетровск, 1957.
11. Г.И.Павловский и А.А.Крупник. Рациональная калибровка экономичных окончаемых профилей и механизация трудоемких операций на мелкосортном стане, Сталь, 1962, № 12.
12. А.В.Мякинин, Усовершенствование калибровки автообода, Труды НТО ЧМ, том П, Днепропетровск, 1957.
13. А.К.Кноблох, Калибровка и прокатка профиля автообода на непрерывном стане, Сталь, 1945, № 6.
14. Калибровка и прокатка автообода на непрерывном стане, Золотець ЦМИН, 1954, № 19.
15. Н.В.Литовченко и Б.Б.Диомидов. Прокатка фасонного обода на непрерывном стане, Сборник трудов Московского вечернего металлургического института, 1955, вып.1.
16. А.Ф.Германов. Вопросы калибровки и пути освоения прокатки обода легковой автомашины, Металлург, 1939, № 2.
17. А.А.Духовский и И.П.Ковыриков. Освоение колесных профилей, Сталь, 1948, № 7.
18. К.В.Гредасов, Калибровка специального профиля РW128-1, Сталь, 1942, № 1-2.

19. Терентьев, Освоение облегченного профиля бортового кольца, Металлург, 1957, № 8.
20. Б.М.Илюкович, Прокатка и калибровка облегченного профиля бортового кольца, Металлург, 1958, № 5.
21. Г.П.Клименко, Калибровка и прокатка облегченного профиля борткольца в железнодорожном цехе завода им.Дзержинского, "Производство и применение экономичных профилей проката", Сборник материалов Украинского республиканского совещания, Днепропетровское книжное издательство, 1961.
22. М.Л.Миренский, Калибровка бортового кольца 25-т автосамосвала, Сталь, 1953, № 5.
23. Г.П.Бrimov, Производство рельсовых подкладок к железобетонным шпалам, Сталь, 1957, № 7.
24. А.И.Соловьев, Калибровка и прокатка накладки изолирующих стыков к рельсам Р-43, Металлург, 1958, № 8.
25. Д.И.Старченко, Корытная калибровка полособульбовых профилей, Известия ВУЗов, Черная металлургия, 1958, № 8.
26. Н.Н.Бекетов, В.М.Заруев, С.А.Гуров, И.Ф.Ревенко, Прокатка сдвоенного полособульбового профиля с продольной разрезкой в валах чистовой клети, Сталь, 1960, № 12.
27. Х.Н.Назаренко, Освоение прокатки экономической лемешной полосы 149Д, "Производство и применение экономичных профилей проката", Сборник материалов Украинского республиканского совещания, Днепропетровское книжное издательство, 1961.
28. В.В.Гончар, Калибровка лемешной стали, Сталь, 1947, № 10.

29. Б.Г.Честовский, А.Н.Тунде. Производство и применение экономичных горячекатанных профилей, Металлург, 1962, № 8.
30. П.В.Заборский, Калибровка и прокатка тавриков из легированной стали, Сталь, 1946, № 7-8.
31. Б.М.Илюкович, Прокатка тавровых профилей в открытых калибрах, Металлургиздат, 1961.
32. М.Л.Миренский, Освоение прокатки новых профилей для шахтных стоек, Металлург, 1958, № 4.
33. Б.М.Шум, Калибровка экономичного профиля СВП17 для крепления горных выработок, Сталь, 1952, № 3.
34. Ч.Ф.Протасов, В.П.Хлебников, А.И.Сикорский, В.В.Гончаров, А.И.Болдырев, В.Е.Степанов, Опыт освоение профилей для шахтного крепления, Металлург, 1958, № 12.
35. В.П.Хлебников, Б.М.Шум, Н.Л.Рудольский, П.А.Чеховский, Калибровка валков для шпунтовых профилей, Сталь, 1954, № 1.
36. П.А.Александров, С.В.Макаев. Калибровка валков и прокатка шпунтовых свай типа Ларсена, Сталь, 1945, № 1.
37. В.П.Савоненко, Освоение прокатки шпунтовых свай типа "Ларсен" на заводе им.Дзержинского, Производство и применение экономичных профилей проката, Сборник материалов Украинского республиканского совещания, Днепропетровское книжное издательство, 1961.
38. Освоение производства стальных шпунтов для великих строек коммунизма, Бюллетень ЦИИИ, 1953, № 7.
39. С.Н.Филиппов. Продольная прокатка периодических профилей, Металлургиздат, 1956.
40. И.И.Синица. Двусторонние периодические профили. Металлургиздат, 1956.
41. А.П.Чекмарев, А.Ф.Смольянинов. Некоторые вопросы теории продольной периодической прокатки. Сборник "Производство и применение экономичных профилей проката", Сб.материалов Украинского республиканского совещания, Днепропетровское книжное издательство, 1961.

затровское книжное издательство ,1961.

42. Н.И.Беда. Об освоении экономичных профилей проката,  
Днепропетровское книжное издательство,1962.

-----

*Печатно-множительная лаборатория  
Днепропетровского Металлургического Института*

*заказ № 62 тираж 200  
1965 г.*