

621.47  
Б-30

Б. П. БАХТИНОВ, М. М. ШТЕРНОВ

ФП24

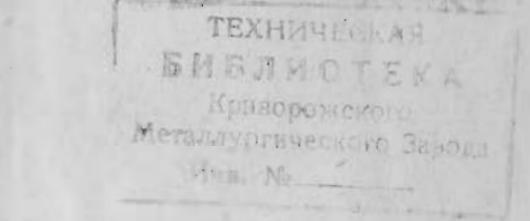
КАЛИБРОВКА  
БАЛОК  
И ШВЕЛЛЕРОВ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ  
1950

621.91  
Б-30

Б. П. БАХТИНОВ и М. М. ШТЕРНОВ

# КАЛИБРОВКА БАЛОК И ШВЕЛЛЕРОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ  
Москва 1950

1959  
1959

## АННОТАЦИЯ

В книге изложен новый метод расчета калибровки валков для прокатки балок и швеллеров. Метод проверен и подтвержден на опыте работы современных высокопроизводительных прокатных станов.

Книга предназначена для инженеров—прокатчиков и калибровщиков прокатных цехов металлургических заводов. Она может быть также полезна для студентов и преподавателей metallurgических вузов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Перечень обозначений, принятых в книге . . . . .	4
Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	7

<b>I. Калибровка балок</b>	
1. Общие положения . . . . .	9
2. Процесс деформации в открытых и закрытых фланцах калибра . . . . .	11
3. Способы прокатки двутавровых балок . . . . .	20
4. Деление профиля на части. Обозначение размеров . . . . .	22
5. Обзор существующих методов калибровки балок . . . . .	23
6. Влияние неравномерности деформации отдельных частей профиля на величину утяжки и приращения высоты фланцев . . . . .	34
7. Величина утяжки и приращения высоты фланцев в зависимости от разности скоростей в калибре . . . . .	39
8. Смещение оси фланцев в условиях равновесия . . . . .	43
9. Определение размеров искомых фланцев . . . . .	45
10. Уширение . . . . .	47
11. Радиусы закруглений . . . . .	52
12. Коэффициенты деформации при прокатке балок . . . . .	54
13. Особенности калибровки двутавровых балок при прокатке на станах трио . . . . .	62
14. Разрезные калибры . . . . .	65
15. Пример калибровки балки № 16 . . . . .	84
16. Определение окончательных размеров калибров (корректирование размеров) . . . . .	103
17. Пример калибровки балки № 33 . . . . .	112
<b>II. Калибровка швеллеров</b>	
18. Общие положения . . . . .	139
19. Различные способы калибровки швеллеров . . . . .	139
20. Контрольные калибры . . . . .	142
21. Коэффициенты деформации . . . . .	145
22. Ложные фланцы . . . . .	150
23. Уширение и условия проникновения профиля в калибр . . . . .	151
24. Схема расчета калибров для прокатки швеллеров . . . . .	154
25. Пример калибровки швеллеров № 16 . . . . .	156
Приложения . . . . .	176
Литература . . . . .	180

## ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ В КНИГЕ

$F$ — общая площадь калибра	
$F_0$ и $F_8$ — площадь открытого и закрытого фланцев	
$H$ — общая высота калибра	
$B$ — общая ширина калибра	
$h_0$ и $h_8$ — высота открытого и закрытого фланцев	
$b_0$ и $b_8$ — толщина открытого и закрытого фланцев у основания	
$a_0$ и $a_8$ — толщина открытого и закрытого фланцев на конце	
$t$ — средняя толщина фланца	
$d$ — толщина шейки	
$B_p$ — ширина разрезного калибра	
$H_p$ — высота разрезного калибра	
$\alpha$ — угол уклона внутренних граней фланцев (в некоторых случаях угол захвата)	
$\psi$ — угол уклона наружных граней фланцев	
$R$ — радиус закругления между фланцем и шейкой	
$r$ — радиус закругления в глубине закрытого фланца	
$D_k$ — катающийся диаметр	
$K$ — коэффициент обжатия	
$k_0, k_8$ и $k_{\psi}$ — коэффициенты обжатия в открытом и закрытом фланцах и шейке	
$\lambda_0$ и $\lambda_8$ — коэффициенты обжатия толщины в открытом и закрытом фланцах	
$\lambda_a$ и $\lambda_b$ — коэффициенты обжатия толщины на конце и у основания фланца	
$\eta_0$ и $\eta_8$ — коэффициенты обжатия высоты открытого и закрытого фланцев	
$\Delta h$ — обжатие (абсолютное)	
$\Delta b$ — уширение	
$\mu$ — вытяжка	
$f$ — коэффициент трения (по Кирхбергу коэффициент обжатия)	
$z$ — смещение оси фланцев из-за неравномерности обжатия	

Со штириком (например:  $\alpha'$ ,  $F'_0$  и т. д.) эти обозначения показывают, что данная величина является искомой

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях массового производства проката на новейших высокопроизводительных станах калибровка любого профиля должна не только обеспечивать получение правильных размеров окончательного продукта, но отвечать также ряду других требований. Важнейшие из них — минимальный расход энергии на прокатку, наименьший износ валков и удобство их переточки, легкость и быстрота настройки стана, простота его обслуживания.

Единственным надежным методом удовлетворения перечисленных требований является, по мнению авторов, метод равномерной деформации во всех частях профиля. Как показывает опыт, применение калибровок, разработанных на основе указанного принципа, значительно уменьшает нагрузку на двигатели, число поломок деталей стана и износ валков. Благодаря этому увеличивается производительность и снижается себестоимость выпускаемой продукции.

Специальная литература по вопросам калибровки устарела и совершенно не отвечает требованиям современного прокатного производства. Существующие методы калибровки фланцевых профилей, главным образом предложенные иностранными авторами, не научны и, хотя построены на эмпирических данных, оторваны от действительных процессов, протекающих в фасонных калибрах, вследствие чего не могут служить основой для проектирования калибровок. Кроме того, имеющиеся в литературе сведения о калибровке фланцевых профилей обычно дают лишь общие положения о способах калибровки, поэтому, пользуясь только ими, начинающий калибровщик или студент не могут самостоятельно создать правильную калибровку без квалифицированного руководства.

Настоящий труд представляет попытку создать метод расчета калибровки фланцевых профилей на основе теоретического анализа процессов деформации в фасонных калиб-

рах. Этот метод, проверенный и подтвержденный на опыте работы современных высокопроизводительных прокатных станов, доступен не только специалисту-калибровщику, но и любому прокатчику — инженеру, технику, студенту.

Основные положения нового метода калибровки разработаны Б. П. Бахтиновым. Они изложены в § 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 14 настоящей книги. Остальные параграфы и примеры калибровок разработал М. М. Штернов, под общим руководством Б. П. Бахтина.

Авторы надеются, что предлагаемое руководство окажет существенную помощь как производственникам, так и преподавателям и студентам учебных заведений.

## ВВЕДЕНИЕ

Калибровка фланцевых профилей является одним из наиболее сложных разделов теории прокатки, так как для получения этих профилей полоса подвергается не только прямым, но и боковым обжатиям, правильный подбор которых вызывает при расчетах значительные трудности.

Существующие в настоящее время методы калибровки фланцевых профилей в большинстве случаев теоретически не обоснованы. Они базируются на эмпирических формулах и дают возможность, исходя из того или иного предположения, получить ряд необходимых промежуточных калибров. Эти методы, разработанные главным образом иностранными авторами, составлены применительно к устаревшим малопроизводительным станам и вдобавок рассчитаны на заграничный сортамент.

В настоящее время, в условиях бурного развития нашего прокатного производства, когда подавляющая масса проката получается на новейших высокопроизводительных станах, образовался некоторый разрыв между теорией и практикой прокатного производства, особенно глубоко ощущаемый в вопросах калибровки. Последние книги по этим вопросам изданы еще до Отечественной войны и не отражают важнейших достижений нашей промышленности за последние 10—15 лет.

Довольно распространенный метод калибровки фланцевых профилей, предложенный Кирхбергом, весьма полно, но без существенной критики изложенный в книге проф. А. П. Виноградова, совершенно не соответствует уровню современных требований и должен быть признан неудовлетворительным. Весьма искусственно и односторонне решается вопрос о калибровке валков по методу Лендла, опубликованному в последнее время в американских технических журналах.

Метод калибровки, изложенный в настоящем руководстве, выгодно отличается от методов Жеза, Мела, Кирхберга, Лендла и других иностранных авторов тем, что его целью является не только получение правильного профиля, но также наименьшая затрата энергии на прокатку и минимальный расход валков. Формулы для определения размеров промежуточных калибров получены аналитическим путем и хорошо согласуются с данными практики, что подтверждает основные положения, на основании которых они выведены.

Уяснение нового метода облегчается приведенными в руководстве примерами, которые составлены применительно к современным прокатным станам. Предлагаемый метод изложен достаточно подробно для составления первоначальной практической пригодной калибровки.

Следует помнить, что новая калибровка должна быть разработана с тщательным учетом всех особенностей имеющегося или проектируемого стана. Нельзя механически переносить с одного стана на другой даже хорошо зарекомендовавшую себя калибровку. Необходимо учитывать все особенности нового стана и в соответствии с ними решать вопросы о возможных изменениях в методе калибровки, подборе рационального режима обжатий, оптимальных чисел калибров и других переменных величин. Все эти вопросы достаточно подробно освещены ниже.

В руководстве рассмотрены методы калибровки двух наиболее типичных представителей фланцевых профилей — балки и швеллеры. С определенными корректировками их можно распространить и на другие аналогичные профили.

## I. КАЛИБРОВКА БАЛОК

### 1. Общие положения

Профили, оси отдельных элементов которых расположены под некоторым углом (чаще всего  $90^\circ$ ) к соединяющей их части, называются фланцевыми. К таким профилям относятся двутавровые балки 1, швеллеры 2, рельсы 3, тавровое железо 4, колонное железо 5 (рис. 1) и некоторые другие.

Специфическая особенность прокатки фланцевых профилей заключается в том, что их нельзя получить из прямоугольной



Рис. 1

заготовки или слитка, если применять более или менее равномерные обжатия, как в случаях прокатки полосы, квадрата и других простых профилей.

Однако при правильной калибровке неравномерное деформирование отдельных частей полосы, неизбежное в процессе прокатки фланцевых профилей, осуществляется не во всех калибрах, а только в первых, когда температура металла высока, сопротивление его деформации незначительно и он более пластичен, чем при последующих пропусках. В остальных калибрах необходимо стремиться применять равномерные обжатия и вытяжки всех частей профиля, так как только при этих условиях можно получать правильный по форме и не имеющий значительных внутренних напряжений конечный продукт при минимальном расходе энергии и наименьшем износе валков.

Второй, не менее важной особенностью прокатки фланцевых профилей является наличие боковых обжатий в отдельных частях калибров. Как яствует из характера профиля, сравнительно высокие и тонкие фланцы можно обжимать только в специальных калибрах, дающих возможность осуществлять значительное боковое обжатие, что вызывается необходимостью уточнять фланцы и предупреждать их утяжку.

Боковое обжатие фланцев облегчается применением калибров, в которых угол наклона внутренних граней фланцев постепенно возрастает. Чем меньше указанный угол, тем меньше требуемое боковое обжатие. Поэтому основой системы калибровки для получения фланцевых профилей является последовательное уменьшение угла плоскостей, образующих фланец,

по мере удаления от исходной заготовки и приближения к готовому (конечному) профилю.

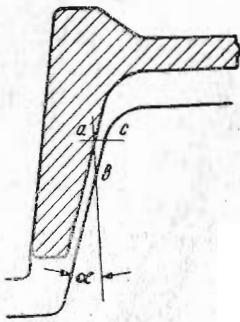


Рис. 2

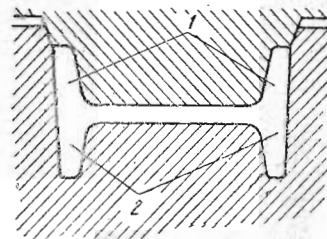


Рис. 3

О характере бокового обжатия фланцев в открытой части калибра дает наглядное представление рис. 2. Обжатие фланца по толщине  $ac$  создается при вертикальном перемещении нижнего вала на величину  $ab$ , так что

$$ac = ab \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

С увеличением угла  $\alpha$  возрастает отношение величины бокового обжатия к величине вертикального перемещения вала. При незначительной величине угла  $\alpha$  величина  $ab$  в несколько раз больше  $ac$ , вследствие чего обжатие фланцев начинается гораздо раньше обжатия шейки, что усложняет процесс истечения металла в калибрах. Подробнее это обстоятельство освещено ниже (стр. 15).

Отметим, что обжатие фланцев по толщине осуществляется только в открытой части калибра, образованной двумя валками (рис. 3). Во время прохождения штуки через калибр стенки его, образующие открытые фланцы 1, приближаются одна к другой, создавая необходимое боковое давление на обжимаемый между ними металл. Закрытые фланцы 2 калибра врезаны в один валок. Образующие их поверхности не могут менять своего взаимного расположения, вследствие чего в этой части калибра возможно лишь проволакивание профиля и некоторое обжатие фланца по высоте (осадка) в результате прямого давления дна калибра на вершину фланца.

## 2. Процесс деформации в открытых и закрытых фланцах калибра

Сказанное выше показывает, что в различных частях калибров, предназначенных для прокатки фланцевых профилей, происходит весьма сложная и различная по характеру деформация.

Наиболее типичным представителем фланцевых профилей является двутавровая балка, поэтому в дальнейшем все основные вопросы рассматриваются в приложении к указанному профилю.

Весьма важным обстоятельством, обуславливающим характер деформации в фасонных калибрах, является различие катящих диаметров в различных частях профиля, из-за чего

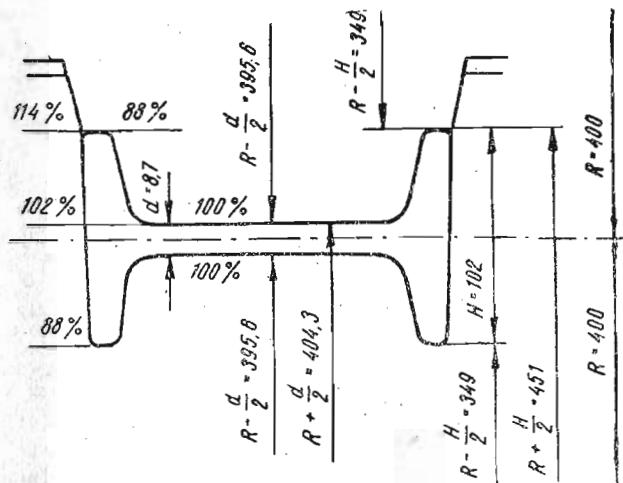


Рис. 4

шейка и фланцы одного и того же профиля прокатываются в калибре с различными скоростями. Так как наиболее сильное воздействие на балку оказывают поверхности, катящие шейку, то вся балка, если не принимать во внимание явления опережения, будет выходить из валков со скоростью, соответствующей скорости этих поверхностей.

Впервые данный вопрос получил четкое и ясное выражение в трудах известного русского металлурга В. Е. Грум-Гржимайло. В книге «Прокатка и калибровка» он рассмотрел это явление в приложении к прокатке балки № 24 на стане с диаметром валков 800 мм. Указания Грум-Гржимайло в несколько измененном и сокращенном виде приведены ниже (рис. 4).

Окружные скорости  $v_{ш}$  поверхностей валков, прокатывающих шейку, соответствуют радиусу

$$R - \frac{d}{2} = 400 - \frac{8.7}{2} = 395,6 \text{ мм},$$

где  $R$  — радиус начальной окружности валков,  $\text{мм}$ ;  
 $d$  — толщина шейки,  $\text{мм}$ .

Принимая скорость  $v_{ш}$  и, следовательно, скорость выхода балки из калибра за 100%, имеем следующие скорости поверхностей, прокатывающих остальные части профиля.

Скорость нижнего вала в глубине калибра при радиусе

$$R - \frac{H}{2} = 400 - \frac{102}{2} = 349 \text{ мм}$$

составляет от скорости  $v_{ш}$

$$\frac{349}{395,6} \cdot 100 = 88\%,$$

где  $H$  — высота профиля,  $\text{мм}$ .

Скорость верхнего вала на конце фланца в открытой части калибра тоже равна 88% скорости  $v_{ш}$ .

Скорость нижнего вала у основания открытого фланца при радиусе

$$R + \frac{d}{2} = 400 + \frac{8.7}{2} = 404,3 \text{ мм}$$

составляет от скорости  $v_{ш}$

$$\frac{404,3}{395,6} \cdot 100 = 102\%.$$

Скорость нижнего вала на конце фланца открытой части калибра при радиусе

$$R + \frac{H}{2} = 400 + \frac{102}{2} = 451 \text{ мм}$$

составляет от скорости  $v_{ш}$

$$\frac{451}{395,6} \cdot 100 = 114\%.$$

Так как фактическая скорость всех частей профиля одинакова и принята нами за 100%, то, очевидно, нижний (закрытый) фланец при прокатке будет опережать свой калибр, обрабатывающие поверхности которого имеют скорости от 88 до 100%  $v_{ш}$ . Под влиянием воздействия шейки нижний фланец как бы проволакивается сквозь неподвижное очко со скоростью, равной от 0 до 12%  $v_{ш}$ . Чем толще профиль, задаваемый

в закрытую часть калибра, тем больше тянувшее усилие, прилагаемое к закрытому фланцу со стороны шейки, и, как показывает практика, соответственно больше утяжка, его высоты. Учитывая это, необходимо стремиться уменьшать толщину фланца, задаваемого в закрытую часть калибра, сводя обжатие только к уменьшению его высоты.

Совершенно иначе протекает процесс в открытой части калибра. Здесь прокатываемый фланец попадает в пространство между плоской и конической поверхностями, из которых первая движется со скоростью от 102 до 114%  $v_{ш}$ , вторая со скоростью от 100 до 88%  $v_{ш}$ . Фланец, поступая в пространство, имеющее форму суживающегося клина, продавливается через наиболее узкую его часть, получая необходимое обжатие по толщине и некоторое увеличение по высоте.

Указанным свойством открытой части калибра пользуются для утонения и некоторого наращивания высоты фланцев при прокатке фланцевых профилей. Чередуя положение открытых и закрытых фланцев в следующих один за другим калибрах, можно поочередно обрабатывать по толщине как верхнюю, так и нижнюю части профиля.

Приведенные указания Грум-Гржимайло о влиянии различия скоростей отдельных частей калибра на характер деформации открытых и закрытых фланцев весьма ценные и могут быть использованы при калибровке фланцевых профилей. Однако автор не дал никаких количественных зависимостей, позволяющих использовать приведенные рассуждения для практического расчета величин калибров. Ниже, на основании рассмотренных положений, дано количественное выражение для определения утяжки и приращения высоты фланцев, пока же отметим лишь весьма важную деталь, упущенную в рассуждениях Грум-Гржимайло.

Средняя скорость отдельных элементов поверхностей, образующих открытую часть калибра, неизменно будет превышать скорость прокатки шейки (100%  $v_{ш}$ ), если только для суммирования брать точки, лежащие на одной линии, параллельной оси валков. Так, средняя скорость основания верхнего фланца\*

$$v_{cp} = \left( \frac{102 + 100}{2} \right) \% v_{ш} = 101\% v_{ш}^*.$$

Средняя скорость конца верхнего фланца

$$v_{cp} = \left( \frac{114 + 88}{2} \right) \% v_{ш} = 101\% v_{ш}.$$

\* Величина скорости нижнего вала у основания открытого фланца, равная 102%  $v_{ш}$ , у Грум-Гржимайло не рассчитывается.

Тот же результат можно получить и для любых других точек, расположенных на открытом фланце, если выбирать их на одинаковом расстоянии от вершины или основания фланца.

Несущественная на первый взгляд разница между скоростью открытого фланца и шейки значительно возрастает по мере удаления от чистового калибра и в черновых пропусках

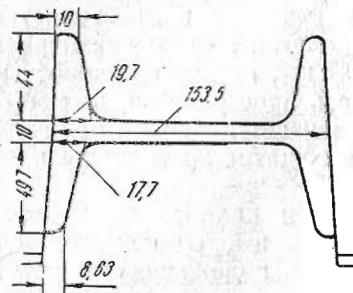


Рис. 5

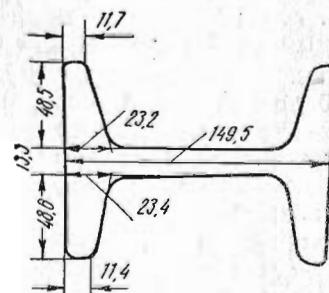


Рис. 6

может достигнуть нескольких процентов. Так как скорость открытого фланца, меньшая по сравнению со скоростью шейки, вызывает его утяжку, то естественно предположить, что большая скорость открытого фланца должна вызвать приращение его высоты, причем с увеличением разницы в скоростях шейки и открытого фланца должна увеличиваться и величина приращения.

Для более полного уяснения процессов, происходящих при прокатке двутавровой балки, рассмотрим последовательность работы отдельных частей калибра на примере одного из черновых калибров при прокатке балки № 16.

Размеры калибра представлены на рис. 5, размеры задаваемого в него профиля — на рис. 6.

Для рассмотрения последовательного изменения в очаге деформации размеров и формы профиля проведем ряд сечений калибра по длине дуги захвата плоскостями, параллельными осям валков, и по правилам начертательной геометрии установим положение профиля по отношению к калибу во всех этих сечениях (рис. 7).

Как видно из чертежа, в первый момент встречи полосы с калибром наружные грани одного из фланцев коснутся стенки закрытого валка в точке, расположенной несколько выше горизонтальной оси калибра. Под влиянием возникающей силы трения и силы инерции полосы верхние фланцы несколько изогнутся и по мере продвижения полосы в калибре прогибнутся

в закрытую часть его, скользя своей наружной гранью по боковой стенке верхнего валка.

Почти одновременно внутренние грани открытой части калибра вступают в соприкосновение с внутренней поверхностью другого фланца, увеличивая втягивающую силу трения, которая создается теперь уже обоими валками (сечение I—I). Затем фланец, поступивший в открытую часть калибра, втяги-

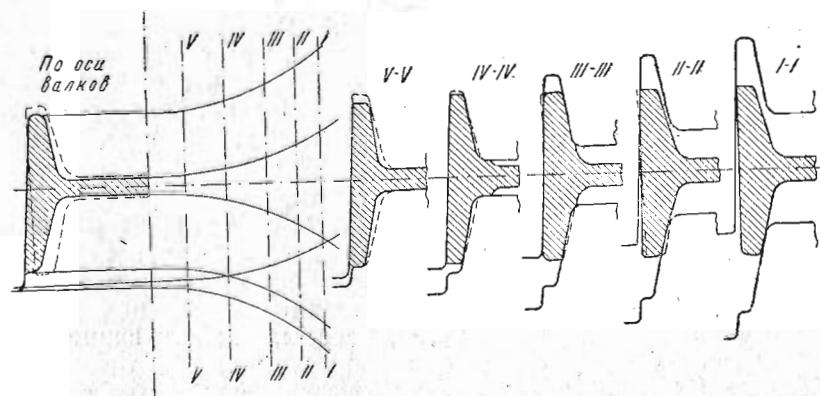


Рис. 7

вается в сужающуюся щель между валками и, получивши изгиб, последовательно обжимается сближающимися плоскостями валков, образующих открытую часть калибра (сечение II—II)\*. Угол валка, образующий открытую часть калибра, в месте соединения фланца с шейкой будет несколько врезаться в нижнюю полку, смешая соприкасающиеся с ним слои металла в направлении шейки (сечение III—III). К этому времени другой фланец профиля уже будет достаточно заклинен в закрытой части калибра и будет оказывать сопротивление усилиям открытого валка, направленным к смещению прокатываемой полосы в сторону закрытого фланца.

Одновременно будет происходить некоторое растяжение шейки, благодаря чему внешняя поверхность полосы почти полностью вступит в соприкосновение с поверхностью закрытого валка. Уширению шейки профиля будет также способствовать приток металла за счет слоев, сдвигаемых в этом направлении углами открытого валка.

\* Изгиб фланцев имеет место, главным образом, в начальный момент захвата. При установленном процессе прокатки фланцы поступают в калибр предварительно изогнутыми за счет воздействия тех частей полосы, которые в этот момент уже вступили в калибр.

Дальнейшее увеличение обжатия в открытом калиbre вынуждает противоположный фланец профиля проникать все глубже и глубже в закрытую часть калибра, после чего начинается обжатие его высоты за счет прямого давления. На рис. 7 обжатие начинается примерно в сечении IV—IV и заканчивается при достижении полосой осевого сечения. Шейка профиля захватывается валками примерно в сечении V—V и сравнительно быстро обжимается до требуемого размера.

Таким образом, рассмотрение чертежа ясно показывает, что обжатие во фланцах начинается намного раньше, чем обжатие в шейке. На протяжении большей части длины дуги захвата полоса удерживается и устанавливается в калибре соответственно соотношению сил, действующих на нижнюю и верхнюю полки профиля. Естественно, что полоса занимает в калибре такое положение, при котором силы, действующие на верхний и нижний фланцы, выравниваются между собой и взаимно уравновешиваются. Считая, что указанные силы пропорциональны величине деформации верхнего и нижнего фланцев, можно сказать, что положение профиля в калибре определяется соотношением коэффициентов деформации в верхней и нижней его частях, которые таким образом автоматически выравниваются за счет смещения оси фланцев относительно нейтральной оси калибра.

Так, если в рассматриваемом случае увеличить толщину фланцев, задаваемых в закрытую часть калибра (рис. 8), то ось полосы получит смещение в сторону открытого калибра. Нижняя поверхность шейки, первой войдя в соприкосновение с соответствующей поверхностью нижнего вала, вызовет появление пары сил, в результате воздействия которой произойдет как бы сдвиг шейки в сторону закрытого фланца. Следствием такого смещения шейки явится укорочение закрытых фланцев (что будет воспринято на вышедшей из калибра полосе как увеличение утяжки) и удлинение открытых, могущее привести к переполнению этой части калибра.

Ниже в соответствующем разделе данный вопрос решен с количественной стороны.

Вторым следствием разновременности обжатия фланцев и шейки в очаге деформации являются весьма значительные перемещения частиц металла внутри профиля. Для уяснения склонного рассмотрим два крайних случая деформации балочного профиля.

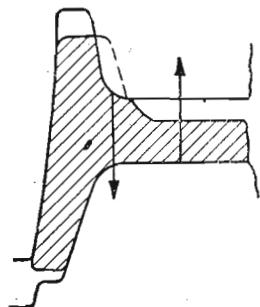


Рис. 8

Сначала предположим, что только фланцы профиля получают обжатие, а шейка обжатию не подвергается. При таком положении фланцы, получившие за счет обжатия некоторую вытяжку, будут стремиться выйти из калибра с большей длиной, чем шейка (рис. 9).

Однако это было бы возможно только в том случае, если бы они могли вытягиваться совершенно независимо от шейки. В действительности из-за наличия сил сцепления между частицами металла, длины всех частей полосы по выходе ее из калибра можно считать практически одинаковыми. Под воздействием увеличивающихся в длине фланцев шейка будет подвергаться более или менее значительному растяжению, в результате которого ее длина тоже увеличится. Получающаяся вытяжка шейки не может быть равна предполагаемой вытяжке фланцев, так как сопротивление материала шейки растяжению вызовет появление сжимающих усилий во фланцах, что, в свою очередь, поведет к сокращению их вытяжки. В результате растягивающего действия фланцев и сдерживающего влияния шейки общая длина полосы будет меньше, чем была бы длина фланцев при отсутствии зависимости между ними и шейкой, но больше исходной длины необжимаемой шейки (пунктирная линия на рис. 9).

Обжимаемый во фланцах металл частично пойдет на питание растяжения шейки, частично — на увеличение высоты фланцев. Так как образование длины шейки будет происходить также за счет уменьшения ее толщины при вынужденном растяжении, то доля металла, притекающего из фланцев, будет зависеть от того, насколько легко поддается шейка растягивающим усилиям, действующим со стороны фланцев. Чем легче осуществляется растяжение, тем меньше металла перейдет из фланцев в шейку, и наоборот, чем оно труднее (например, при пониженной температуре шейки), тем в большей степени образование длины шейки будет происходить за счет металла, перетягиваемого из фланцев.

Таким образом, конечная длина полосы и количество металла, перешедшего в шейку, зависят от ряда факторов, важнейшими из которых являются: величина обжатия, соотношение площадей и форма поперечного сечения шейки и фланцев, пластичность металла (которая, в свою очередь, зависит от температуры, качества металла, наличия примесей и других факторов), разность температур шейки и фланцев, коэффициент трения и др.

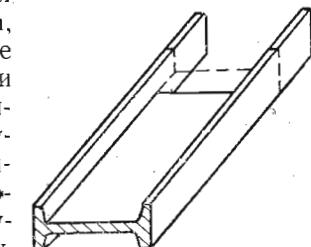


Рис. 9

Так, если в одном случае площадь шейки значительно превышает площадь фланцев, а в другом меньше ее, то при прочих равных условиях, по первому варианту общее удлинение полосы будет получаться меньше, а по второму больше. В первом случае сдерживающее влияние шейки будет в большей степени компенсировать растягивающие усилия фланцев, что влечет за собой усиленное истечение металла из фланцев в шейку.

Примерно такое же влияние на перемещение металла оказывает разность температур шейки и фланцев. Низкая температура шейки по сравнению с температурой фланцев делает шейку более жесткой и, следовательно, менее податливой растягивающему действию фланцев, в результате чего также будет иметь место увеличение количества металла, перемещающегося из фланцев в шейку.

Разбор влияния остальных факторов представляет меньший интерес и потому здесь не приводится.

Рассмотрим теперь другой случай, прямо противоположный только что описанному. Предположим, что обжатие получает только шейка, а фланцы обжатию не подвергаются. Тогда шейка стремится вытянуться на величину, соответствующую данному ей обжатию (рис. 10), но, благодаря задерживающему влиянию фланцев, здесь, как и в предыдущем примере, полоса получит вытяжку меньшую, чем имела бы шейка при независимом перемещении, но большую, чем исходная длина необжимаемых фланцев (пунктир на рис. 10).

Необходимый для вытяжки фланцев металл будет поступать в них из шейки, но в недостаточном количестве, вследствие чего также будет иметь место утяжка фланцев.

Количество металла, перемещающегося из шейки во фланцы, будет зависеть от тех же факторов, что и в предыдущем случае. Можно указать, что увеличение обжатия в шейке, понижение ее температуры (по сравнению с температурой фланцев) или увеличение удельного веса площади поперечного сечения шейки в общей площади профиля всегда будет вызывать увеличение вытяжки всей полосы и, следовательно, увеличение утяжки фланцев.

Возвращаясь снова к процессу деформации балки в калибре, можно сказать, что на протяжении большей части длины дуги захвата мы будем иметь картину истечения металла, соответствующую первому из разобранных случаев. В этой части ду-

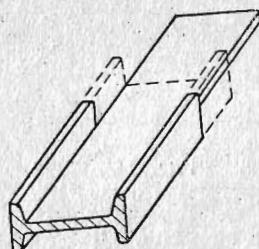


Рис. 10

ги захвата обжимаются только фланцы при полном отсутствии какого-либо обжатия шейки. Обжимаемый во фланцах металл перемещается в сторону шейки (которая на данном участке подвергается растяжению) и частично идет на увеличение высоты фланцев.

В второй части очага деформации после захвата шейки валками имеет место деформация, соответствующая второму из разобранных случаев. Здесь обжатие в шейке превышает обжатие во фланцах (так как они в значительной части были обжаты ранее) и, следовательно, должно иметь место истечение металла в обратном направлении, т. е. из шейки во фланцы. Одновременно за счет вытяжки шейки происходит растяжение фланцев, что вызывает некоторую утяжку последних.

В дополнение к сказанному отметим, что металл, смещаемый валками у основания открытых и закрытых фланцев, образует в этих местах некоторые утолщения, хорошо видимые на сечениях III—III и IV—IV (рис. 7). Благодаря наличию указанных утолщений, или наплыпов, обжатие по краям шейки превышает обжатие в середине. Получающееся вынужденное уширение вызывает дополнительное перемещение металла из шейки во фланцы, что несколько улучшает их заполнение.

Таким образом, детальный разбор процесса деформации в фасонном калибре показывает, что даже в случае, если при калибровке принят одинаковые коэффициенты деформации в шейке и фланцах, в процессе прокатки полосы в калибре неизбежно будут возникать более или менее значительные перемещения частиц прокатываемого металла из одной части профиля в другую. Причиной возникновения таких перемещений является преждевременный захват и обжатие фланцев профиля по сравнению с шейкой.

Совершенно ясно, что такие перемещения металла обуславливают возникновение дополнительных сил трения между металлом и поверхностью валка, а также резко увеличивают межчастичное трение внутри самого металла. Результатом этого является увеличение общего давления (по сравнению с давлением при прокатке простых профилей) и, следовательно, повышенный расход энергии на деформацию.

Калибровки с неравномерным распределением обжатий между отдельными частями профиля увеличивают перемещение металла внутри очага деформации, что способствует еще большему увеличению расхода энергии и быстрейшему износу валков вследствие более быстрого их истирания.

Необходимо отметить, что в последних (по ходу прокатки) калибрах картина деформаций несколько отличается от только что описанной. Боковое обжатие фланцев в закрытой части

калибров почти полностью отсутствует, вследствие чего обжатие в открытой их части может начинаться только после того, как конец закрытого фланца проникнет на полную глубину калибра и начнет подвергаться прямому обжатию, уменьшающему его высоту. В результате длина очага деформации значительно сокращается, и вместе с тем уменьшается количество перемещаемого металла, чему способствует применение в этих калибрах меньших коэффициентов обжатия.

Однако более низкая температура металла в последних пропусках и уменьшение сечений всех частей калибра делают перемещение металла внутри профиля еще более затрудненным, вследствие чего к выбору коэффициентов деформации в последних калибрах нужно подходить особенно осторожно.

### 3. Способы прокатки двутавровых балок

Наибольшее распространение получили следующие способы прокатки двутавровых балок: 1) прокатка в прямых калибрах, 2) прокатка в наклонных калибрах (косая калибровка), 3) прокатка широкополочных балок на универсальном стане.

Чаще других применяется первый способ, при помощи которого можно прокатывать почти все размеры, имеющиеся в сортаменте. Прямоугольная заготовка получает неравномерное обжатие в первом разрезном калиbre, благодаря чему полоса

вчерне приобретает вид двутавровой балки\*. В дальнейшем, путем более или менее равномерной деформации (в зависимости от метода

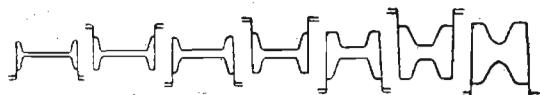


Рис. 11

калибровки) отдельных частей профиля, полоса, вышедшая из разрезного калибра, постепенно приобретает размеры окончательного профиля (рис. 11).

Так как боковое обжатие фланцев осуществимо только в открытых частях калибра, то последние чередуются после каждого пропуска, помещаясь то сверху, то снизу, благодаря чему выравниваются напряжения, которые создаются в прокатываемой балке. Для облегчения выпуска полосы из валков и более легкой их переточки, стенкам калибра придают уклон от 0,5% в чистовом калибре до 2—3% в черновых, причем уклон у открытых фланцев иногда делают больше, чем у закрытых (до 5—6%).

\* Для балок крупных номеров профилировка обычно начинается еще на блуминге, о чем сказано ниже.

Уширение профиля, весьма значительное в первых калибрах, постепенно уменьшается по мере приближения к концу прокатки и в последнем пропуске составляет около 0,01 ширины всего профиля.

Прокатка в прямых калибрах возможна только при значительном уклоне внутренних граней фланцев, который в действующем в настоящее время сортаменте равен 1:6. С умень-

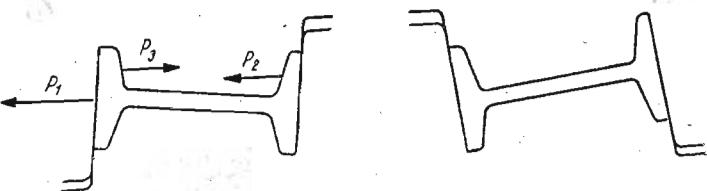


Рис. 12

шением уклона, а также с увеличением высоты фланцев трудности получения правильного профиля возрастают и при значительной величине полок прокатка делается невозможной.

Прокатка в наклонных калибрах (рис. 12) позволяет прокатывать балки с меньшим уклоном внутренних граней полок и с большей их высотой. Наклонные калибры по сравнению с прямыми имеют ряд преимуществ, которые в основном сводятся к следующему:

1. Наружные стенки профиля во всех калибрах могут оставаться перпендикулярными к шейке (отсутствует выпуск калибра).

2. В наклонных калибрах можно обжимать профиль без уширения и даже давать некоторое обжатие по ширине.

3. Благодаря большому наклону открытых фланцев (что достигается помещением одного из них в верхней, другого в нижней части калибра) (рис. 12), обжатие в них и, следовательно, во всем профиле может быть значительно увеличено, что приводит к сокращению общего числа пропусков.

4. Облегчается переточка валков.

Однако наряду с указанными преимуществами косое расположение калибров имеет и ряд недостатков, важнейшими из которых являются глубокий врез в валки при прокатке больших номеров балок и возникновение значительных осевых усилий в валках поскольку силы  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 12) не уравновешиваются силой  $P_3$ . Последнее обстоятельство вызывает настолько значительные трудности в работе, что заставляет в большинстве случаев отказываться от описываемого метода калибровки.

Балки с высокими тонкими фланцами прокатываются на универсальных станах для широкополочных балок (рис. 13).

Прокатка на них очень удобна и проста, поскольку обжатие в стенках и фланцах можно регулировать независимо одно от другого путем изменения установки горизонтальных и вертикальных валков. Но такие станины применяются обычно только для прокатки специальных балок больших размеров и широкого распространения не получили.

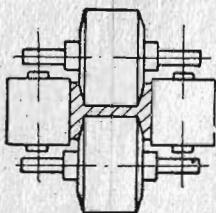


Рис. 13

#### 4. Деление профиля на части. Обозначение размеров

В целях упрощения расчетов сложный двутавровый профиль при калибровке стремится свести к нескольким простейшим, на которых можно без труда проконтролировать степень деформации в каждой его части. Наиболее простые и распространенные способы деления профиля на элементы представлены на рис. 14 и 15.

Фактически определить границу истечения металла из углов профиля во фланцы и шейку весьма трудно, тем более что

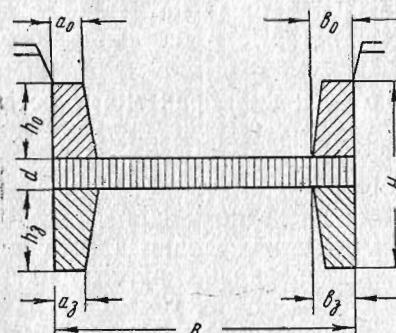


Рис. 14

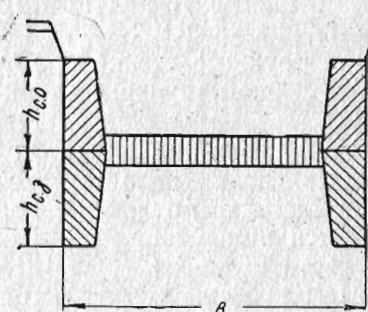


Рис. 15

в указанном месте профиль имеет значительные радиусы закругления. Однако деление профиля на части не относится к принципиальным вопросам калибровки и необходимо калибровщику лишь в целях, указанных выше, и для удобства представления размеров. Поэтому, не останавливаясь на данном вопросе, ограничимся замечанием, что при дальнейшем изложении материала мы будем придерживаться схемы, представленной на рис. 14.

Все размеры профиля, относящиеся к закрытым фланцам, будут обозначаться с индексом «з» (закрытый), а относящиеся к открытому фланцам — с индексом «о» (открытый).

Принимая такую систему обозначений, имеем (рис. 14):

$h_3$  и  $h_o$  — высота закрытого и открытого фланцев на конце;  
 $a_3$  и  $a_o$  — толщина закрытого и открытого фланцев на концах;  
 $b_3$  и  $b_o$  — толщина закрытого и открытого фланцев у основания;

$d$  — толщина шейки;

$B$  — общая ширина калибра по оси шейки;

$H$  — общая высота калибра.

$$H = h_3 + h_o + d.$$

В отдельных случаях, когда это удобно, можно использовать величины  $h_{c,o}$  и  $h_{c,z}$  (рис. 15)\*:

$$h_{c,o} = h_o + \frac{d}{2},$$

$$h_{c,z} = h_3 + \frac{d}{2}.$$

В тех случаях, когда по известным размерам одного калибра определяются размеры последующего, соответствующие размеры искомого калибра обозначаются теми же буквами, но со штрихом.

#### 5. Обзор существующих методов калибровки балок

Калибровка двутавровых балок обычно производится по способу последовательного чередования открытой и закрытой частей калибра, причем расчет калибров, как правило, производится против хода прокатки.

Ниже в исторической последовательности рассмотрены те методы калибровки двутавровых балок, которые получили наибольшую известность в литературе и некоторое применение на практике.

##### Метод Жеза

Автор этого метода, как и некоторые другие, разбивает профиль двутавровой балки на отдельные элементы (рис. 14), расчет толщины которых ведет согласно положениям, применяемым при калибровке полос.

\* Обозначения  $h_0$ ,  $a_3$ ,  $h_{c,o}$  и др. проясняются так: «аш открытое», «з закрытое», «з среднее открытое» и т. д.

Коэффициенты обжатия толщины шейки профиля  $K$  у автора излагаемого метода берутся как члены арифметической прогрессии от

$$k_1 = 1 + r$$

до

$$k_n = 1 + nr,$$

где  $n$  — число пропусков;

$r$  — показатель арифметической прогрессии, определяемый по формуле

$$r = \frac{k_{\max} - 1}{n}.$$

Число пропусков должно быть задано, а максимальное значение  $k_{\max}$  лежит в пределах от 1,5 до 1,6.

Коэффициент бокового обжатия толщины фланцев  $\lambda = \frac{b'}{b}$ , принимаемый автором метода на 10% меньше коэффициента обжатия шейки, принимается одинаковым для открытых и закрытых фланцев  $\lambda_0 = \lambda_3$ . Уменьшение коэффициента обжатия во фланцах автор объясняет тем, что внутренние грани фланцев имеют уклон, вследствие чего при вертикальном обжатии шейки фланцы получают дополнительное боковое обжатие. Приращение же высоты фланца в открытом калибре он объясняет естественным уширением металла вследствие его обжатия и определяет величину уширения по известной формуле:

$$\Delta b = c (t' - t),$$

где  $c$  — коэффициент уширения, имеющий значения от 0,35 до 0,48;

$t$  и  $t'$  — средняя толщина фланца до и после обжатия

$$t = \frac{a + b}{2}, \quad t' = \frac{a' + b'}{2}.$$

Следовательно, при обжатии в открытом фланце должно иметь место отрицательное обжатие (приращение) его высоты, равное естественному уширению (рис. 16):

$$\Delta b_0 = -\Delta h_0 = h'_0 - h_0.$$

Тогда размеры искомого закрытого калибра по известному открытому (так как в открытый калибр поступают фланцы из закрытого) можно определить следующим образом:

толщина фланца у основания

$$b'_3 = b_0 \lambda_0;$$

толщина фланца на конце

$$a'_3 = a_0 \lambda_0;$$

приращение открытого фланца

$$-\Delta h_0 = \Delta b = c \left( \frac{b'_3 + a'_3}{2} - \frac{b_0 + a_0}{2} \right);$$

высота искомого закрытого фланца

$$h'_3 = h_0 - \Delta h_0.$$

При обжатии в закрытом фланце, по этому методу, также должно иметь место естественное уширение ( $\Delta b_3$ ), но вследствие наличия разных окружных скоростей калибра у основания и на конце фланца, одновременно должна происходить также утяжка высоты фланца, которую автор метода находит, рассуждая следующим образом. Пусть высота обжимаемого фланца будет  $h'$ ; так как величины катающих радиусов различны, длина основания фланца пропорциональна  $R$ , а длина конца фланца пропорциональна  $l$ , то длину фланца

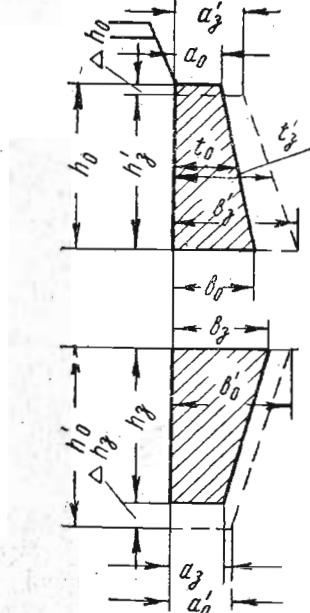


Рис. 16

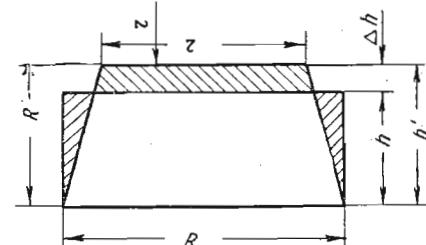


Рис. 17

можно представить в виде трапеции (рис. 17). Однако фланец фактически имеет одинаковую длину, равную длине шейки, следовательно, край фланца вытягивается за счет утяжки его высоты и площадь прямоугольника должна быть равна площади трапеции:

$$Rh = \frac{R + r}{2} h'.$$

Так как

$$h' = R - r,$$

то

$$Rh = \frac{(R+r)(R-r)}{2} = \frac{R^2 - r^2}{2},$$

откуда

$$r = \sqrt{R(R-2h)}.$$

С другой стороны (рис. 17),

$$r = R - h - \Delta h,$$

$$R - h - \Delta h = \sqrt{R(R-2h)},$$

откуда величина утяжки

$$\Delta h = R - h - \sqrt{R(R-2h)}.$$

Однако автор данного метода считает, что от бокового обжатия толщины фланца в закрытом калибре также имеет место естественное уширение ( $\Delta b_3$ ), вследствие чего утяжка несколько уменьшится и в окончательном виде составит

$$\Delta h_3 = h'_0 - h_3 = \Delta h - \Delta b_3.$$

Тогда размеры искомого открытого фланца можно определить по формулам:

$$h'_0 = h_3 + \Delta h_3; \quad b'_0 = b_3 \lambda_3; \quad a'_0 = a_3 \lambda_3.$$

Искомая толщина шейки определяется путем умножения известной толщины на коэффициент деформации для шейки

$$d' = d \cdot k.$$

Отметим, что по описанному методу имеет место равномерное обжатие толщины по всей высоте как открытых, так и закрытых фланцев:

$$\frac{b'}{b} = \frac{a'}{a} = \lambda.$$

### Метод Кирхберга

Сущность метода заключается в последовательном увеличении угла наклона внутренних граней фланцев по параболическому закону

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = \operatorname{tg} \alpha_0 (1 + \operatorname{tg} \alpha_0).$$

По известному углу наклона фланцев, при постоянном положении конструкционной точки  $K$  ( $x = \text{const}$ ), легко определяется и толщина фланцев (рис. 18).

Приращение высоты фланца в открытом калибре ( $-\Delta h_0$ ) принимается в пределах  $0,5 \div 1,0$  мм и, следовательно, высота искомого закрытого фланца определяется выражением

$$h'_0 = h_0 - (0,5 \div 1,0) \text{ мм},$$

а толщина фланцев из формул

$$a'_3 = (x - h'_0) \operatorname{tg} \alpha'_3; \quad b'_0 = x \operatorname{tg} \alpha'_3.$$

Коэффициент обжатия толщины фланца в открытом калибре по этому методу в зависимости от величины  $\Delta h_0$  получается несколько меньшим у основания, чем на конце фланца, т. е.

$$\frac{b'_0}{b_0} < \frac{a'_3}{a_0}.$$

Исходя из равенства вытяжек всех элементов профиля, площадь искомого открытого фланца принимается равной найденной площади закрытого:

$$F'_0 = F'_3.$$

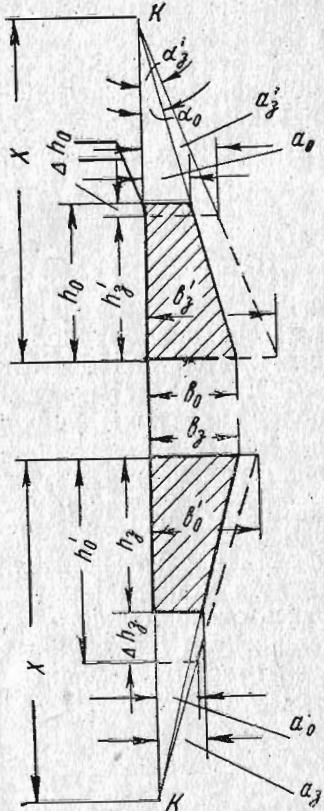
Далее, задавшись утяжкой высоты фланца в закрытом калибре (этота величина принимается постоянной для всех калибров  $\Delta h_3 = 5$  мм), можно определить и высоту искомого открытого фланца, исходя из равенства

$$h'_0 = h_3 + \Delta h_3.$$

Рис. 18

По найденной высоте определяется средняя толщина фланца

$$t'_0 = \frac{F'_0}{h'_0},$$



тангенс угла наклона

$$\operatorname{tg} \alpha'_0 = \frac{t'_0}{x - \frac{h'_0}{2}}$$

и остальные размеры фланцев:

$$a'_0 = (x - h'_0) \operatorname{tg} \alpha'_0; \quad b'_0 = x \operatorname{tg} \alpha'_0.$$

Так как  $h'_0 > h_3$ , то при постоянном положении конструкционной точки коэффициент бокового обжатия толщины фланца в закрытом калибре будет больше у основания, чем на конце фланца, что хорошо видно также из рис. 18, т. е.

$$\frac{b'_0}{b_3} > \frac{a'_0}{a_3}.$$

Указанное обстоятельство является основным недостатком описываемого метода, так как зачастую при расчете искомого открытого калибра получается, что конец фланца будет иметь в закрытом калибре отрицательное обжатие по толщине ( $a'_0 < a_3$ ), что ведет к невыполнению толщины фланца. Постоянство положения конструкционной точки Кирхберга приводит также к другому недостатку его метода. Разрезной калибр, как правило, получается с тупым гребнем, что на практике совершенно недопустимо, так как ведет к увеличению расхода энергии и к необходимости в большом размере высоты заготовки, задаваемой в разрезной калибр.

Для устранения указанных дефектов автор метода, отказываясь от постоянного положения конструкционной точки, вносит поправку и для крупных профилей рекомендует определять искомый открытый фланец по известному закрытому, исходя из формулы

$$a'_0 = a_3 + \frac{a_3^2}{200}.$$

Приведенная поправка, меняя положение конструкционной точки, несколько ослабляет значение упомянутых недостатков данной системы калибровки, но вместе с тем нарушает целостность всего описанного выше построения.

Устранен недостаток предыдущего метода (применение одинаковых коэффициентов обжатия толщины фланцев в закрытых и открытых калибрах). По предлагаемому методу  $\lambda_0 > \lambda_3$

$$\frac{b'_3}{b_0} > \frac{b'_0}{b_3}.$$

Учитывая, что калибровка по описанному методу не позволяет заранее определять число калибров, вследствие чего в некоторых случаях может получиться несоответствие полученной калибровки с возможным числом пропусков, Торкар внес некоторые изменения в определение коэффициентов вытяжки. Вначале определяется суммарная вытяжка во всех калибрах за исключением чистового, в котором оставлена вытяжка, предложенная Кирхбергом:

$$\mu_1 = 1 + \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Тогда суммарная вытяжка в  $(n-1)$  калибрах

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{F_n}{F_2}.$$

Неизвестная площадь заготовки  $F_n$  предварительно определяется как

$$F_n = B_n \cdot H_n;$$

$$B_n = B_1 - \Sigma \Delta b;$$

$$H_n \approx 2H_1,$$

где  $B_n$  и  $H_n$  — ширина и высота заготовки;

$\Sigma \Delta b$  — суммарное уширение во всех пропусках.

Полученный общий коэффициент вытяжки  $\mu_{\text{общ}}$  на глаз разбивается на  $n-1$  возрастающих вытяжек, так что произведение их должно составлять  $\mu_{\text{общ}}$ .

Определение размеров калибров производится по формулам Кирхберга.

### Метод Грум-Гржимайло

Выше уже приводились весьма ценные указания Грум-Гржимайло о различии скоростей поверхностей валков, обрабатывающих различные части профиля. Эти указания должны служить одним из положений, на основе которых объясняется происхождение утяжки и приращения высоты фланцев.

При калибровке балок Грум-Гржимайло, в противоположность Жезу, предлагает брать обжатие во фланцах несколько больше, чем в шейке, сокращая таким путем величину утяжки в закрытой части калибра и увеличивая приращение в открытой его части.

Толщину фланцев Грум-Гржимайло определяет по методу Кирхберга, причем утяжку высоты фланцев принимает в 5—7 мкм в зависимости от размеров балки.

### Метод Меса

При калибровке балок по этому методу размеры искомых фланцев определяют графическим путем, исходя из конструкционной точки Кирхберга, которая, однако, по желанию калибровщика может менять свое положение (рис. 19).

Величину утяжки высоты фланцев в закрытом калибре и приращения высоты в открытом устанавливают, в зависимости от размеров фланцев, в пределах  $\Delta h_s = 4 \div 10 \text{ мм}$ ;  $\Delta h_o = 0,5 \div 3,0 \text{ мм}$ .

Коэффициенты обжатия по пропускам выбирают на основании практических данных в виде арифметического ряда Жеза, но различные для шейки и для фланцев.

Для открытых фланцев максимальный коэффициент обжатия толщины у основания принимается не более 1,35:

$$\frac{b'_s}{b_o} \leq 1,35,$$

Для закрытых фланцев коэффициент деформации принимается с таким расчетом, чтобы десятичная дробь его составляла не более  $\frac{2}{3}$  десятичной дроби коэффициента деформации для открытых фланцев, так что

$$\frac{b'_s}{b_o} - 1 = \frac{2}{3} \left( \frac{b'_s}{b_o} - 1 \right).$$

Рис. 19

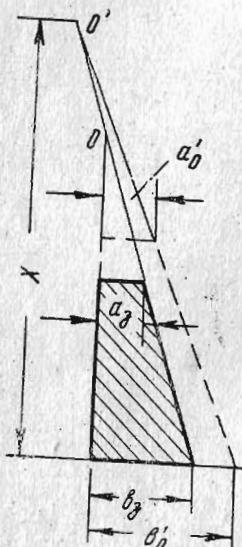
Так же, как и по методу Кирхберга, обжатие толщины фланца в открытой части калибра почти равномерно по всей высоте фланца

$$\frac{b'_s}{b_o} \leq \frac{a'_s}{a_o},$$

но в закрытой части калибра больше у основания, чем на конце фланца

$$\frac{b'_s}{b_o} > \frac{a'_s}{a_o}.$$

Для практической работы данный метод прост и дает достаточно хорошие результаты, хотя вопрос о равномерной деформации всех частей профиля в этом методе также не получил разрешения.



### Обзор существующих методов калибровки балок

### Метод Гольцвейлера и Даля

На основе практических данных авторы метода [13] разработали ряд эмпирических правил и формул для определения размеров калибров.

Толщина фланцев при обжатии в открытом калибре определяется по формулам:

$$b'_s = c'_o b_o - \sqrt{b_o};$$

$$a'_s = c''_o a_o - \sqrt{a_o}.$$

По аналогичным формулам определяется и толщина фланцев при обжатии в закрытом калибре:

$$b'_o = c'_s b_s - \sqrt{b_s};$$

$$a'_o = c''_s a_s - \sqrt{a_s}.$$

При этом коэффициенты  $c$  различны для каждого пропуска и зависят от размера балки и числа пропусков. Они подобраны таким образом, что в открытом калибре имеет место меньшая деформация толщины фланца у основания и большая на конце, т. е.

$$c''_o > c'_o.$$

При обжатии в закрытом калибре большая деформация имеет место у основания фланца, т. е.

$$c'_s > c''_s.$$

Обжатие толщины фланца у основания в закрытом калибре меньше, чем в открытом

$$c'_s < c'_o$$

и составляет примерно  $\frac{2}{3}$  от последнего.

Высоту фланцев авторы также определяют по эмпирическим правилам. Приращение высоты фланца в открытом калибре

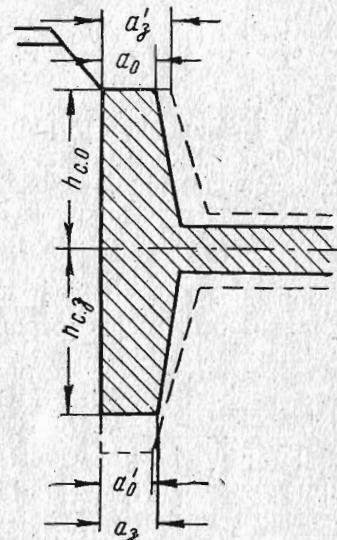


Рис. 20

ре (рис. 20) получается всегда равным половине обжатия шейки, так что средняя высота известного открытого калибра и искомого закрытого всегда равны между собой:

$$h'_{c,3} = h_{c,0}.$$

Выражая их значение через  $h$  и  $d$  (рис. 20), имеем

$$h'_3 + \frac{d'}{2} = h_0 + \frac{d}{2},$$

откуда

$$h_0 - h'_3 = \frac{d' - d}{2}.$$

Утяжка высоты фланца в закрытом калиbre определяется из эмпирической формулы

$$\Delta h_3 = (5 \div 7) - \frac{d' - d}{2} + n - 1,$$

где  $n$  — порядковый номер калибра (против хода прокатки).

Описанный метод калибровки основан на практике хорошо работающих калибровок, построенных по методу Мецца. Однако установленные закономерности представляют чисто эмпирические соотношения и не имеют никакой научной основы.

Предложенные авторами коэффициенты  $\mu$  рассчитаны на заграничный сортамент и для калибровки балок по нашему ОСТ должны быть пересмотрены.

### Метод Лендла

Этот метод, применяемый для проверки заполнения калибров при прокатке фасонных профилей, является по сути дела искусственным приемом определения средней вытяжки профиля при неравномерной деформации отдельных его частей.

При определении средней вытяжки двух соседних частей профиля автор метода пользуется формулой\*:

$$\mu_{cp} = \mu_1 + (\mu_2 - \mu_1) \frac{F_2 \mu_2}{F_2 \mu_2 + F_1 \mu_1}$$

\* Формулу можно заменить более простой:

$$\mu_{cp} = \frac{\mu_1 F_1 + \mu_2 F_2}{F_1 + F_2}$$

где  $\mu_1$  — коэффициент вытяжки менее обжимаемой части;

$\mu_2$  — коэффициент вытяжки более обжимаемой части;

$F_1$  — площадь менее обжимаемой части;

$F_2$  — площадь более обжимаемой части.

Разделение профиля на части (рис. 21) производится путем наложения одного калибра на другой, исходя из следующего.

Выделяется независимый фланец с высотой  $h'_3$ , который вследствие бокового обжатия толщины в открытой части кали-

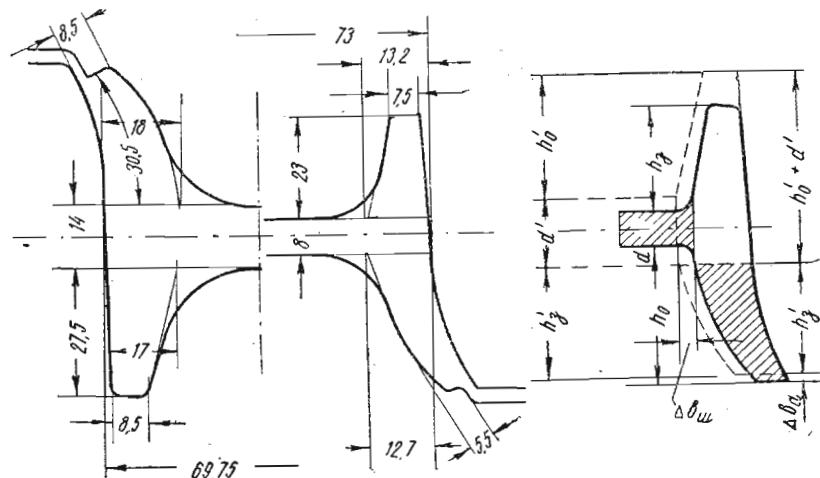


Рис. 21

бра должен получить естественное уширение  $\Delta b_0$ , направленное на заполнение оконечности открытой части калибра. Затем выделяется независимая шейка  $d'$ , которая, обжимаясь до  $d$ , также получит естественное уширение  $\Delta b_{sh}$ . Остающаяся площадь с высотой  $h'_3 + d'$  должна заполнить остальную часть площади калибра и незаполненную часть шейки.

Такое деление профиля на части теоретически ничем не обосновано и вряд ли может претендовать на всеобщее признание. Естественное уширение, получаемое от обжатия в открытой фланце, должно пойти не на заполнение его вершины, как считает Лендл, а наоборот, в противоположную сторону, т. е. к основанию фланца, потому что сопротивление перемещению металла в этом направлении меньше, чем в противоположном.

Приращение высоты в открытом калибре в приведенном примере (рис. 21) достигает 5 мм:

$$\Delta h_0 = h_0 - h'_3 = \frac{d' - d}{2} + \Delta b_0.$$

Для данного примера весьма велика также утяжка высоты фланца в закрытом калибре, равная 7,5 мм. Обычно утяжка не превышает 10—15% от высоты фланцев (на основании практических данных) и, следовательно, в приведенном примере должна составить

$$(0,10 \div 0,15) \cdot 23,5 = (2,35 \div 3,5) \text{ мм.}$$

Отсюда можно сделать вывод, что автор метода заранее предусматривает утяжку фланцев с большим запасом, который и создает условия для перетяжки излишне обжимаемого металла из закрытого фланца в открытый.

Неравномерность деформации отдельных частей профиля — характерная особенность метода калибровки Лендла. Так, например, профиль, приведенный на рис. 21, при средней вытяжке

$$\mu_{cp} = 1,5$$

имеет вытяжку в открытых фланцах

$$\mu_0 = \frac{(8,5 + 17,0) \cdot 27,5}{(5,5 + 12,7) \cdot 32,5} = 1,2,$$

а в закрытых

$$\mu_3 = \frac{(8,5 + 18,0) \cdot 30,5}{(7,5 + 13,2) \cdot 23,0} = 1,7.$$

Совершенно ясно, что такая большая разница в вытяжке фланцев должна вызвать смещение оси фланцев относительно оси шейки, чем и объясняется столь значительное приращение высоты в открытом фланце. Связанная с этим перетяжка металла из закрытого фланца в открытый совершенно не нужна и вредна, так как ведет к увеличению расхода энергии при прокатке и к быстрой выработке валков.

Указания на недостатки формулы Лендла для определения средней вытяжки и критика его метода имеются также в работах Л. Д. Соколова и М. С. Мутьева.

## 6. Влияние неравномерности деформации отдельных частей профиля на величину утяжки и приращения высоты фланцев

При рассмотрении существующих методов калибровки балок можно заметить весьма искусственный подход их авторов к определению размеров отдельных частей профиля, следствием чего являются несовершенство упомянутых методов и глубокие противоречия, заложенные в них.

Основной недостаток, который должен быть устранен при первоначальной разработке калибровки, — неравномерная деформация отдельных частей профиля. При прокатке фасонных профилей неравномерная деформация приводит к перетяжке металла из одной части профиля в другую, вследствие чего создаются условия для увеличения трения между металлом и валками, которое, в свою очередь, приводит к увеличению расхода энергии на деформацию металла, быстрой выработке валков, преждевременному расстройству стана и понижению его производительности.

Полное устранение перечисленных недостатков при разработке системы калибровки было бы возможно лишь при достаточном изучении законов истечения металла при деформации его в фасонном калибре. Недостаточное знание этих законов не позволяет в настоящий момент окончательно решить вопрос о наилучшем способе определения размеров профиля. Однако, практические наблюдения над прокаткой фланцевых профилей дают возможность установить некоторые закономерности поведения металла в калибре в зависимости от характера деформации отдельных частей профиля.

Так, при прокатке балок, рельсов и швеллеров, построенных с учетом равномерного обжатия толщины фланцев в открытом калибре

$$\frac{b'_3}{b_0} = \frac{a'_3}{a_0},$$

наблюдаются лишь незначительное приращение высоты фланцев. При неравномерном обжатии толщины фланцев в открытом калибре

$$\frac{b'_3}{b_0} < \frac{a'_3}{a_0}$$

наблюдаются увеличение приращения высоты, возрастающее по мере увеличения степени деформации от оснований к концам фланцев.

Практически при большой выработке валков часто наблюдается и обратное явление, т. е.

$$\frac{b'_3}{b_0} > \frac{a'_3}{a_0}.$$

В таком случае всегда будет иметь место минимальное приращение высоты фланцев в открытом калибре, переходящее иногда в утяжку.

Неодинаковая степень деформации отдельных частей профиля также приводит к колебаниям высоты фланцев в открытом калибре. Если количество металла, деформируемого во фланцах, преобладает над количеством металла в шейке, то всякое уменьшение коэффициента деформации шейки ведет к увеличению приращения высоты открытых фланцев и, наоборот, преобладание вытягивания шейки вызывает утяжку фланцев.

При прокатке балок и рельсов на приращение высоты фланца в открытом калибре значительное влияние оказывает также увеличение степени деформации фланцев в закрытом калибре, а при прокатке швеллеров — ложные фланцы. Практика показала, что открытые калибры срабатываются раньше закрытых, вследствие чего по мере износа валков деформация постепенно увеличивается в закрытых калибрах и уменьшается в открытых. Таким образом, одновременно с износом валков высота фланца постепенно увеличивается в открытом калибре и уменьшается в закрытом. Именно такого рода явление перетяжки металла из одной части профиля в другую и наблюдается в процессе работы на стане при прокатке балок и рельсов.

При обжатии фланца по толщине в открытом калибре, в зависимости от перечисленных выше условий, происходит большее или меньшее приращение высоты фланцев, переходящее в некоторых случаях в утяжку. В отличие от открытого калибра в закрытом происходит только утяжка, притом значительно большая, чем в открытом калибре. Явление утяжки в закрытом калибре более закономерно, чем приращение высоты в открытом калибре, хотя, в свою очередь, зависит от ряда факторов.

Из практики хорошо известно, что чем меньше обжатие толщины фланца в закрытом калибре, тем меньше и утяжка его высоты. По мере износа валков, обжатие толщины фланца в закрытом калибре возрастает (так как в него поступают фланцы из открытой, более интенсивно вырабатываемой части калибра) и, естественно, растет величина утяжки. Увеличение утяжки высоты фланцев в этом случае легко объясняется увеличением степени заклинивания металла в закрытом калибре. Однако, даже при полном отсутствии заклинивания, утяжка высоты фланца все же будет иметь место. Значительное влияние как на утяжку фланцев в закрытом калибре, так и на приращение высоты в открытом, оказывает также величина уширения, роль которого будет рассмотрена несколько ниже.

В рассмотренных выше методах калибровки разные авторы различно объясняют причины, вызывающие утяжку и приращение высоты фланцев. Так, явление утяжки в закрытом калибре Грум-Гржимайло и Жез объясняют разностью скоростей калибра у основания и на конце фланца. Такое объяснение следует считать вполне правильным, так как указанная разность скоро-

стей действительно имеет место. К сожалению, Грум-Гржимайло не дал в своей работе количественных зависимостей, позволяющих по имеющейся разности скоростей найти величину утяжки, в выводе же формулы Жеза имеется значительная неточность, искажающая окончательный результат. Введение в эту формулу величины уширения делает ее окончательно непригодной.

Другие авторы вообще не рассматривают причин, вызывающих утяжку, и берут ее на основании опытных данных или эмпирических правил в пределах 4—10 мм. На рис. 22 показаны кривые утяжки высоты закрытых фланцев в процессе прокатки балки № 16 по данным разных авторов (1—по Жезу, 2—по Кирхбергу, 3—по Грум-Гржимайло, 4—по Гольцвейлеру и Далю, 5—по Бахтинову).

Еще более противоречивые указания даются различными авторами при объяснении причин, вызывающих приращение высоты фланцев в открытом калибре.

Жез объясняет приращение высоты фланцев естественным уширением. Такое объяснение нельзя считать удовлетворительным, так как получающееся в открытом калибре уширение металла должно пойти на заполнение не оконечности открытого фланца, а, наоборот, его основания, поскольку сопротивление движению металла в калибре в этом направлении пропорционально величине  $(2f - \operatorname{tg} \alpha)$ , что меньше, чем в противоположном направлении  $(2f + \operatorname{tg} \alpha)$ , где  $f$  — коэффициент трения,  $\alpha$  — угол уклона внутренних граней.

Действительно, в случаях прокатки балок, рельсов и швеллеров иногда даже при очень малой величине абсолютного обжатия толщины фланцев наблюдается значительное приращение их высоты, которое часто бывает в несколько раз больше абсолютного обжатия толщины фланцев.

Хотя кривая изменения приращения высоты фланцев по пропускам, рассчитанная по формуле Жеза

$$\Delta h_0 = 0,35 (t_3 - t_0),$$

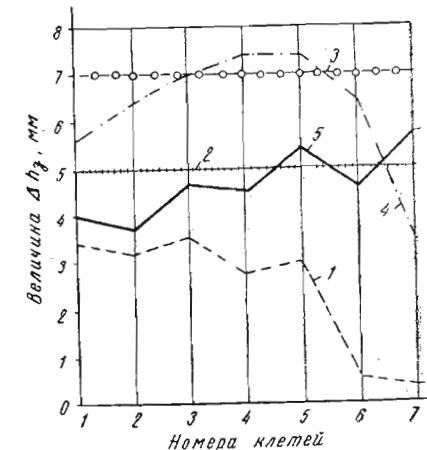


Рис. 22

имеет тот же характер, что и кривая, построенная для той же величины из условия разности скоростей (Б. П. Бахтинов), расхождение в величине приращения получается очень значительным, поскольку исходные положения в обоих случаях совершенно различны (рис. 23). Очевидно, выводы Жеза основаны на случайном совпадении, поскольку калибры для балок строятся всегда таким образом, что с увеличением толщины шейки возрастает и величина обжатия фланцев.

Нельзя согласиться также с объяснением Гольцвейлера и Даля, которые считают, что величина приращения высоты фланцев в открытом калибре должна равняться половине обжатия шейки. Приведенное положение не может иметь удовлетворительного объяснения и потому расчеты по этому методу дают еще большее расхождение с данными практики. На рис. 23 показаны кривые приращения высоты открытых фланцев при прокатке (1 — по Жезу, 2 — по Грум-Гржимайло и Кирхбергу, 3 — по Мецу, 4 — по Гольцвейлеру и Даю, 5 — по Лендлу, 6 — по Бахтинову).

Еще большую величину приращения высоты фланцев принимает Лендл, суммируя данные Жеза и Гольцвейлера. Такого большого приращения высоты фланцев, даже при весьма значительной неравномерности обжатия его толщины, достигнуть можно только искусственным путем: воздействием закрытого фланца, из которого излишне обожатый металл перемещается в открытую часть калибра.

При рассмотрении графиков на рис. 22 и 23 не следует расценивать завышенные (или заниженные) величины  $\Delta h_s$  и  $\Delta h_0$  как абсолютно неверные. Они неверны, главным образом, в условиях равномерной деформации всех частей профиля, но иногда вполне достижимы, если допустить перетяжку металла из одной части профиля в другую. Для суждения о возможности таких перетяжек графики рис. 22 и 23 следует рассматривать совместно.

Из приведенных примеров видно, что по желанию калибровщика можно направить течение металла в любом направлении,

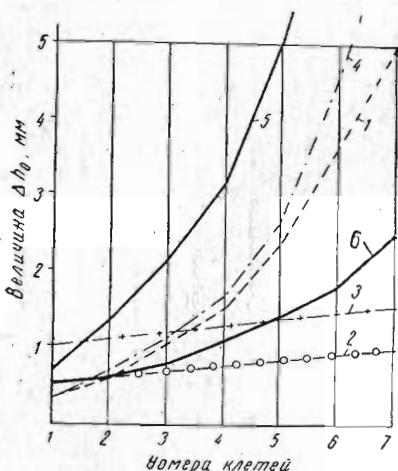


Рис. 23

в зависимости от того, какие условия для истечения металла созданы в калибре. При известном построении калибров можно получить не только максимальное приращение высоты в открытом калибре, достигаемое в калибровках Лендла, но даже и некоторую утяжку. О возможности утяжки высоты в открытых калибрах ни один из авторов не упоминает, хотя на практике это явление также наблюдается достаточно часто.

Поскольку в задачу калибровщика входит не только получение конечного профиля с правильными размерами, но и осуществление прокатки его с минимальной затратой энергии на деформацию, обеспечивающей получение профиля без перенапряжения его отдельных частей, построение калибров необходимо вести с учетом естественного течения металла в калибре в направлении наименьшего сопротивления. При правильной калибровке должны быть устранены вынужденные перетяжки металла из одной части профиля в другую, как вредные и совершенно ненужные.

## 7. Величина утяжки и приращения высоты фланцев в зависимости от разности скоростей в калибре

Из рассмотрения условий деформации балки в калибре и влияния неравномерной деформации отдельных частей профиля на характер истечения металла можно заключить, что важнейшими факторами, обуславливающими величину утяжки и приращения высоты фланцев, являются различие скоростей шейки и фланцев и соотношение коэффициентов деформации в различных частях профиля.

Некоторое влияние на величину утяжки могут также окажать: величина уширения, принятая для данного калибра; соотношение площадей фланцев и шейки; неодинаковая температура в различных частях профиля; величина коэффициента трения между полосой и валками; форма очага деформации.

Учет всех перечисленных факторов при определении величины утяжки и приращения высоты фланцев не представляется возможным, да в этом и нет необходимости, так как практические наблюдения над прокаткой балок показывают, что степень их влияния весьма различна. Решающее значение для величины утяжки и приращения высоты фланцев имеют различие скоростей утяжки и приращения высоты фланцев и соотношение коэффициентов деформации отдельных частей профиля. Влияние остальных факторов гораздо слабее, оно проявляется, главным образом, при резких отклонениях условий прокатки от нормы и может быть значительно ослаблено правильным подбором калибров и надлежащей организацией технологического процесса прокатки.

Как уже указывалось выше, правильным построением калибра с равномерным распределением деформации по всем частям профиля можно добиться естественного течения металла в калибре, исключающего возможность перетяжки металла из одной части профиля в другую\*. В нормальном случае величина утяжки и приращения высоты фланцев будет зависеть только от разности скоростей отдельных частей калибра, обрабатывающих шейку и фланцы профиля.

Возвращаясь к схеме Грум-Гржимайло, замечаем, что так как средняя скорость открытого фланца больше, а закрытого фланца меньше скорости шейки, то разность между скоростями открытого фланца и шейки будет создавать опережение металла в открытом калибре, а разность между скоростями шейки и закрытого фланца будет создавать отставание металла в закрытом калибре. Но так как все части полосы выходят из валков с одинаковой скоростью, то на основании уравнения постоянства секундных объемов опережение металла в открытом калибре должно пойти на приращение высоты открытого фланца, а отставание металла в закрытом калибре — вызвать утяжку высоты закрытого фланца.

В закрытом калибре окружная скорость валков у основания закрытого фланца равна окружной скорости валков, соответствующей катающему диаметру шейки, а именно:

$$v_3' = v_{\text{ш}} = \frac{\pi n}{60} D_{\text{ш}}.$$

По мере удаления от основания к концу закрытого фланца скорость поверхности валков будет все время уменьшаться и в глубине вреза калибра составит

$$v_3'' = \frac{\pi n}{60} (D_{\text{ш}} - 2h_3).$$

Среднюю скорость, с которой частицы металла должны проходить в закрытом калибре, можно определить как полусумму этих скоростей

$$v_3 = \frac{1}{2} (v_3' + v_3'') = \frac{\pi n}{60} (D_{\text{ш}} - h_3).$$

В открытом калибре окружная скорость у основания фланца, со стороны открытого валка, также равна скорости, соответствующей катающему диаметру шейки

$$v_0' = v_{\text{ш}} = \frac{\pi n}{60} D_{\text{ш}},$$

\* Следует отметить, что более или менее полное равенство коэффициентов деформации шейки и фланцев может быть достигнуто только в начальный момент работы. В дальнейшем, вследствие неравномерного износа отдельных частей калибра, указанное равенство нарушается.

и со стороны закрытого валка скорости, соответствующей катающему диаметру (рис. 24),

$$D_{\text{к}} = D_{\text{ш}} + 2d,$$

$$v_0'' = \frac{\pi n}{60} (D_{\text{ш}} + 2d).$$

По мере удаления от основания открытого фланца окружная скорость со стороны закрытого валка будет возрастать, а со стороны открытого валка уменьшаться на одну и ту же величину. Следовательно, средняя скорость, с которой должны проходить частицы металла в открытом калибре, по всей высоте открытого фланца остается постоянной и равной полусумме этих скоростей.

$$v_0 = \frac{1}{2} (v_0' + v_0'') = \frac{\pi n}{60} (D_{\text{ш}} + d).$$

Так как фактическая скорость всех частей полосы будет одинакова и равна  $v_{\text{ш}}$ , то выравнивание скоростей шейки и фланцев должно произойти за счет изменения площадей поперечного сечения последних. На основании уравнения постоянства секундных объемов будут справедливы следующие равенства.

Для закрытого фланца:

$$v_{\text{ш}} F_3 = v_3 (F_3 + \Delta F_3)$$

или

$$\frac{v_{\text{ш}}}{v_3} = \frac{F_3 + \Delta F_3}{F_3}.$$

Для открытого фланца:

$$v_{\text{ш}} F_0 = v_0 (F_0 + \Delta F_0)$$

или

$$\frac{v_{\text{ш}}}{v_0} = \frac{F_0 + \Delta F_0}{F_0}.$$

В этих равенствах  $\Delta F_0$  и  $\Delta F_3$  — изменение площадей фланцев в открытом и закрытом калибрах за счет выравнивания их скоростей со скоростью шейки.

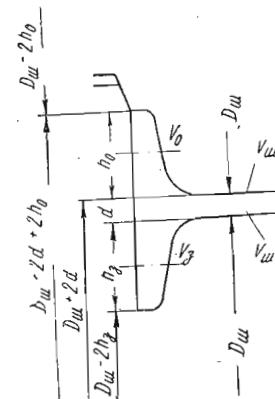


Рис. 24

Так как всякое изменение площадей фланцев в калибре может происходить только за счет изменения их высоты, то уменьшение площади закрытого фланца на величину  $\Delta F_3$  вызовет утяжку его высоты на величину  $\Delta h_3$ , а соответствующее приращение площади открытого фланца—приращение его высоты  $\Delta h_0$ .

Вследствие этого отношение площадей можно заменить отношением высот соответствующих фланцев:

$$\frac{v_{\text{ш}}}{v_3} = \frac{F_3 + \Delta F_3}{F_3} = \frac{\frac{a_3 + b_3}{2} (h_3 + \Delta h_3)}{\frac{a_3 + b_3}{2} h_3} = 1 + \frac{\Delta h_3}{h_3};$$

$$\frac{v_{\text{ш}}}{v_0} = \frac{F_0 + \Delta F_0}{F_0} = \frac{\frac{a_0 + b_0}{2} (h_0 + \Delta h_0)}{\frac{a_0 + b_0}{2} h_0} = 1 + \frac{\Delta h_0}{h_0},$$

откуда

$$\Delta h_3 = h_3 \left( \frac{v_{\text{ш}}}{v_3} - 1 \right),$$

$$\Delta h_0 = h_0 \left( \frac{v_{\text{ш}}}{v_0} - 1 \right).$$

Подставляя в эти уравнения определенные ранее значения  $v_{\text{ш}}$ ,  $v_0$  и  $v_3$ , находим, что утяжка высоты закрытого фланца

$$\begin{aligned}\Delta h_3 &= h_3 \left[ \frac{60 \pi n D_{\text{ш}}}{60 \pi n (D_{\text{ш}} - h_3)} - 1 \right]; \\ \Delta h_3 &= \frac{D_{\text{ш}} h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} - h_3;\end{aligned}\quad (1)$$

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{\text{ш}} - h_3}; \quad (1a)$$

приращение высоты открытого фланца

$$\begin{aligned}\Delta h_0 &= h_0 \left[ \frac{60 \pi n D_{\text{ш}}}{60 \pi n (D_{\text{ш}} + d)} - 1 \right]; \\ \Delta h_0 &= \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d} - h_0;\end{aligned}\quad (2)$$

$$\Delta h_0 = -\frac{h_0 d}{D_{\text{ш}} + d}. \quad (2a)$$

Знак минус перед значением  $\Delta h_0$  показывает, что при задаче в открытом калибре высота фланца должна быть взята меньше,

чем  $h_0$ , так как здесь имеет место не утяжка, а приращение высоты фланца.

Из уравнений (1) и (2) сразу определяется высота закрытого и открытого фланцев следующего калибра (по ходу калибровки). Учитывая чередование открытых и закрытых фланцев, получаем

$$h'_3 = h_0 + \Delta h_0 = \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d}; \quad (3)$$

$$h'_0 = h_3 + \Delta h_3 = \frac{D_{\text{ш}} h_3}{D_{\text{ш}} - h_3}. \quad (4)$$

Приведенные формулы показывают, что величина утяжки высоты фланца в закрытом калибре и приращения высоты в открытом, вызванные разностью скоростей в калибре, зависят от диаметра валков и размеров профиля.

## 8. Смещение оси фланцев в условиях равновесия

Как уже упоминалось выше, при неодинаковой степени деформации отдельных частей профиля будет иметь место перетяжка металла из одной части профиля в другую.

Если же заранее при расчете калибровки предусмотреть одинаковую степень деформации в шейке и фланцах, то, очевидно, никакой перетяжки не будет. Однако, и в таком случае вследствие неравномерной выработки валков коэффициенты деформации в отдельных частях профиля через некоторое время изменят свою величину. Как правило, при прокатке балок вследствие более быстрой выработки открытых фланцев по сравнению с закрытыми будет наблюдаться постепенное уменьшение деформации в открытых и увеличение ее в закрытых фланцах, что поведет к переполнению первых и увеличению утяжки во вторых.

Указанное явление было рассмотрено выше, как смещение оси фланцев относительно нейтральной оси калибра (см. рис. 8).

В условиях равновесия смещение оси фланцев происходит таким образом, что коэффициенты деформации открытого и закрытого фланцев становятся равными между собой, т. е.

$$k_0 = k_3.$$

Но, поскольку в открытых и закрытых калибрах, одновременно с осадкой высоты фланцев происходит обжатие их толщины, то для удобства расчетов общий коэффициент деформации  $k$  удобно

подразделять на коэффициент деформации высоты  $\eta$  и коэффициент обжатия толщины  $\lambda$ , так что

$$k = \eta \lambda; \quad (5)$$

тогда, согласно принятой системе обозначений,

$$k_0 = \eta_0 \lambda_0$$

и

$$k_3 = \eta_3 \lambda_3.$$

В условиях совпадения оси фланцев с осью калибра приведенные в формуле коэффициенты деформации высоты в закрытом ( $\eta_3$ ) и открытом ( $\eta_0$ ) фланцах должны определяться по формулам:

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{h'_{c.0}}{h_{c.3}}; \quad (6)$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{h'_{c.3}}{h_{c.0}}. \quad (7)$$

В случае неравномерной деформации с учетом смещения оси фланцев (на величину  $z$ ), высотные коэффициенты обжатий получат следующие значения (рис. 25):

$$\eta_0 = \frac{h'_{c.3} - z}{h_{c.0}}$$

$$\eta_3 = \frac{h'_{c.0} + z}{h_{c.3}}$$

и в условиях равновесия при  $k_0 = k_3$

$$\eta_0 \lambda_0 = \eta_3 \lambda_3;$$

$$\frac{h'_{c.3} - z}{h_{c.0}} \lambda_0 = \frac{h'_{c.0} + z}{h_{c.3}} \lambda_3.$$

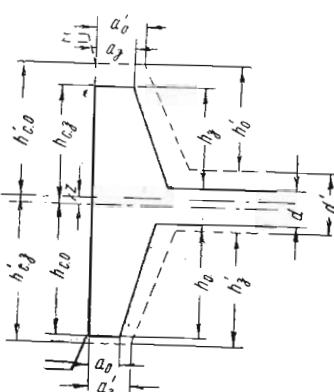


Рис. 25

Решая уравнение относительно  $z$ , получаем искомое смещение оси фланцев

$$z = \frac{h'_{c.3} h_{c.3} \lambda_0 - h'_{c.0} h_{c.0} \lambda_3}{h_{c.3} \lambda_3 + h_{c.0} \lambda_0}. \quad (8)$$

Полученное выражение дает возможность определять смещение оси фланцев относительно нейтральной оси калибра и, таким образом, объяснить явление увеличения или уменьшения утяжки и приращения высоты фланцев в установленвшемся процессе прокатки.

В случае одинаковой деформации открытых и закрытых фланцев и правильно принятых величин утяжки и приращения высоты фланцев, смещение оси  $z$  должно равняться нулю и условие равновесия определится равенством

$$\frac{h'_{c.3}}{h_{c.0}} \lambda_0 = \frac{h'_{c.0}}{h_{c.3}} \lambda_3. \quad (9)$$

Это равенство и должно быть принято как основное правило при расчете калибровок фланцевых профилей.

## 9. Определение размеров искомых фланцев

Высота искомых закрытых и открытых фланцев определяется из уравнений (3) и (4). Для определения толщины искомых фланцев на основании уравнений (6) и (7) определяют коэффициент обжатия их высоты в известном калибре. После этого, пользуясь уравнением (5), находят коэффициенты обжатия толщины в открытом и закрытом калибрах:

$$\lambda_0 = \frac{k_0}{\eta_0};$$

$$\lambda_3 = \frac{k_3}{\eta_3}.$$

В приведенных выражениях, согласно уравнению (9),

$$k_0 = k_3 = k_{ш},$$

где  $k_{ш}$  — коэффициент обжатия шейки.

Полученные значения  $\lambda_0$  и  $\lambda_3$  необходимы для определения толщины фланцев. Так как в основу излагаемого метода положено равномерное обжатие всех частей профиля, то в открытых и закрытых калибрах должно иметь место равномерное обжатие толщины фланцев по всей их высоте

$$\frac{b'}{b} = \frac{a'}{a} = \lambda.$$

В данном случае искомые величины толщины фланцев могли бы быть легко найдены из уравнений

$$b'_0 = b_3 \lambda_3;$$

$$b'_3 = b_0 \lambda_0;$$

$$a'_0 = a_3 \lambda_3;$$

$$a'_3 = a_0 \lambda_0.$$

Однако, нетрудно проследить, что при  $k_0 = k_3$  и  $\eta_0 \neq \eta_3$  величина  $\lambda_0 \neq \lambda_3$ , вследствие чего площади фланцев, размеры которых были бы подсчитаны по приведенным формулам, оказались бы неодинаковы.\*

$$F'_{0,y} = \frac{1}{2} \lambda_3 (b_3 + a_3) h'_0; \quad (a)$$

$$F'_{3,y} = \frac{1}{2} \lambda_0 (b_0 + a_0) h'_3, \quad (b)$$

что нарушает основное условие  $k_0 = k_3$  и ведет к перетяжке металла из одного фланца в другой. Во избежание этого при определении толщины искомых фланцев необходимо допустить некоторую неравномерность их обжатия по толщине, но так чтобы

$$F'_0 = F'_3.$$

В таком случае толщина фланцев у основания может быть определена по приведенным формулам без изменения, т. е.

$$b'_0 = b_3 \lambda_3;$$

$$b'_3 = b_0 \lambda_0,$$

а толщина фланцев на конце  $a'_0$  и  $a'_3$  будет неизвестной.

Площади искомых фланцев определяются тогда следующими выражениями:

$$F'_0 = \frac{1}{2} (b_3 \lambda_3 + a'_0) h'_0;$$

$$F'_3 = \frac{1}{2} (b_0 \lambda_0 + a'_3) h'_3.$$

Чтобы неравномерность деформации фланцев по высоте получалась минимальной, площадь каждого фланца должна быть

\* Индекс  $y$  показывает, что уравнения написаны условно, фактически, по указанным причинам приведенными формулами при расчете не пользуются.

принята средней от написанных в уравнениях (a) и (b) условных площадей

$$F'_0 = F'_3 = \frac{1}{2} (F'_{0,y} + F'_{3,y}).$$

Используя приведенное тождество, определяем значения  $a'_0$  и  $a'_3$  для искомых фланцев.

Для открытого фланца:

$$\frac{1}{2} (b_3 \lambda_3 + a'_0) h'_0 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} \lambda_3 (b_3 + a_3) h'_0 + \frac{1}{2} \lambda_0 (b_0 + a_0) h'_0 \right],$$

откуда

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_0 (b_0 + a_0) \frac{h'_3}{h'_0} - \lambda_3 (b_3 - a_3) \right]. \quad (10)$$

Для закрытого фланца:

$$\frac{1}{2} (b_0 \lambda_0 + a'_3) h'_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} \lambda_3 (b_3 + a_3) h'_0 + \frac{1}{2} \lambda_0 (b_0 + a_0) h'_0 \right],$$

откуда

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_3 (b_3 + a_3) \frac{h'_0}{h'_3} - \lambda_0 (b_0 - a_0) \right]. \quad (11)$$

Применение формул (10) и (11) обеспечивает получение равных площадей открытых и закрытых фланцев; при этом коэффициент обжатия толщины конца открытого фланца

$$\frac{a'_3}{a_0} > \lambda_0,$$

а коэффициент обжатия толщины конца закрытого фланца

$$\frac{a'_0}{a_3} < \lambda_3.$$

Заметим кстати, что получающаяся в данном случае неравномерность деформации по высоте фланцев гораздо меньше, чем при расчете по другим методам калибровки.

## 10. Уширение

Величина уширения в балочных и швеллерных калибрах связана с величиной обжатия, растягивающим действием фланцев при их сгибании и обжатии и условиями проникновения профиля в калибр.

Обычно при калибровке выбирают величину уширения от 1÷3 мм в первых пропусках (по ходу калибровки) до 8÷

÷ 10 мм в последних. Как показывает практика прокатки двутавровых балок, величину уширения можно изменять в больших пределах, вследствие чего иногда представляется возможным из общих черновых калибров прокатывать соседние номера балок и швеллеров, ширины шеек которых отличаются друг от друга на 20 мм и больше. Первоначальный расчет ведется на балку (или швеллер), имеющую меньшую ширину. Более широкая балка получается за счет последовательного увеличения уширения в каждом пропуске.

Рассматривая схему деформации балочного калибра (см. рис. 14), можно заметить, что шейка на длине ( $B - 2\delta$ ) подвергается только высотному (прямому) обжатию и коэффициент

$$k_{\text{ш}} = \frac{d'}{d},$$

а фланцы, имеющие сложную деформацию, подвергаются и высотному и боковому обжатию, так что коэффициенты

$$k_0 = \eta_0 \lambda_0;$$

$$k_3 = \eta_3 \lambda_3.$$

Участок шейки, находящийся под основаниями фланцев, не подвергается боковому обжатию и имеет только высотные коэффициенты обжатий, —  $\eta_0$  со стороны открытого калибра и  $\eta_3$  со стороны закрытого. Дополнительная деформация на указанном участке ( $\lambda_0$  со стороны открытого и  $\lambda_3$  со стороны закрытого фланцев) должна компенсироваться уширением металла, полученным в результате обжатия шейки и фланцев. Именно в таком направлении должен течь металл в уширение при обжатии шейки и фланцев.

Величина уширения оказывает существенное влияние на величину утяжки и приращения высоты фланцев. Если разность калибров по ширине значительно превосходит естественное уширение от обжатия профиля в калибре, то компенсация дополнительного уширения (растяжение шейки профиля) будет происходить за счет утяжки фланцев. Поэтому в балочных и швеллерных калибрах, построенных с большим уширением, значительно увеличивается утяжка фланцев в закрытом калибре и уменьшается приращение фланцев (или даже переходит в утяжку) в открытом калибре.

Исходя из сказанного, метод получения из общих черновых калибров балок или швеллеров нескольких номеров следует считать экономически целесообразным только в тех случаях, когда увеличенный расход энергии и валков за счет имеющейся в калибре перетяжки металла из фланцев в шейку компенсируется получающимся при данном методе сокращением парка валков.

В большинстве случаев более рациональным следует считать изменение ширины следующего калибра на величину естественного уширения, получаемого из уравнения постоянства объемов

$$\frac{H'_{\text{пр}} B'}{H_{\text{пр}} B} = \frac{L}{L'} = \frac{F}{F'}, \quad (a)$$

где  $H_{\text{пр}}$  и  $H'_{\text{пр}}$  — приведенные высоты известного и искомого калибров, получаемые по формулам:

$$H_{\text{пр}} = \frac{F}{B}; \quad H'_{\text{пр}} = \frac{F'}{B'}.$$

В условиях одинаковой степени деформации всех частей профиля (при  $k_0 = k_3 = k_{\text{ш}} = k$ )

$$\frac{H'_{\text{пр}}}{H_{\text{пр}}} = k.$$

После подстановки этой величины в уравнение (a) легко определяется ширина  $B'$  искомого калибра

$$B' = \frac{BF'}{kF}. \quad (12)$$

Для расчетов по уравнению (12) необходимо знать величину площади искомого калибра ( $F'$ ), которая зависит от величины уширения (еще не определенного). Поэтому при расчете следует предварительно задаться величиной уширения ( $\Delta b$ ) и, определив  $F'$ , найти по уравнению (12) ширину  $B'$  искомого калибра.

Если она удовлетворяет принятому уширению

$$B - B' = \Delta b,$$

то перерасчет не нужен, в противном случае надо задаться новой величиной  $\Delta b$  (с учетом получившегося расхождения) и методом последовательного приближения добиваться совпадения принятых и расчетных данных.

Заметим, что данная формула может быть применима только в случае полного равенства коэффициентов деформации во всех частях профиля

$$k_0 = k_3 = k_{\text{ш}}.$$

Для предварительных определений величины  $\Delta b$  можно воспользоваться эмпирической формулой (13), результаты подсчета по которой в большинстве случаев сразу дают хорошее

совпадение с величиной естественного уширения, найденного после расчета по уравнению (12):

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1), \quad (13)$$

где  $n$  — порядковый номер пропуска (против хода прокатки).

Формулу (13) можно использовать также в тех случаях, когда требуется определить суммарное уширение ( $\Sigma \Delta b$ ) в нескольких ( $n$ ) калибрах:

$$\sum_1^n \Delta b = \Delta b_1 + \Delta b_2 + \dots + \Delta b_n.$$

$$\Delta b_1 = 0,01 B_1 + (1 - 1)$$

$$\Delta b_2 = 0,01 B_2 + (2 - 1)$$

$$\Delta b_3 = 0,01 B_3 + (3 - 1)$$

⋮

$$\Delta b_n = 0,01 B_n + (n - 1).$$

Считая изменение величины  $0,01 B$  незначительным по сравнению с величиной  $\Delta b$  (т. е. принимая  $0,01 B_1 \approx 0,01 B_2 \approx \dots \approx 0,01 B_n$ ) и определяя сумму первых членов, находящихся в скобах как сумму арифметической прогрессии, в результате сложения получаем

$$\sum_1^n \Delta b = n \cdot 0,01 B_1 + \frac{1+n}{2} n - n;$$

$$\sum_1^n \Delta b = n \left( 0,01 B_1 + \frac{n-1}{2} \right). \quad (14)$$

Так, если надо заранее определить примерную ширину 7-го калибра при прокатке балки № 18, то суммарное уширение в предыдущих шести калибрах составит

$$\sum_1^6 \Delta b = 6 \left( 0,01 \cdot 180 + \frac{6-1}{2} \right) = 25,8 \text{ мм},$$

а ширина 7-го калибра

$$B_7 = B_1 - \sum_1^6 \Delta b = 180 - 25,8 = 154,2 \text{ мм.}$$

При прокатке в прямых калибрах увеличение ширины каждого последующего (по ходу прокатки) калибра необходимо

также для беспрепятственного проникновения профиля в калибр, что хорошо видно из рис. 7 и рис. 26.

Полоса может войти в калибр только при условии, что ширина профиля, измеренная по концам развернутых фланцев ( $B'$ ), будет меньше ширины открытой части калибра ( $B''$ ):

$$B' < B''.$$

При одинаковом угле наклона наружных граней профиля и калибра, указанное условие выполнимо только в случае, если ширина последующего калибра больше ширины предыдущего.

Вторым условием беспрепятственного входа полосы в калибр является отсутствие возможности среза внутренней

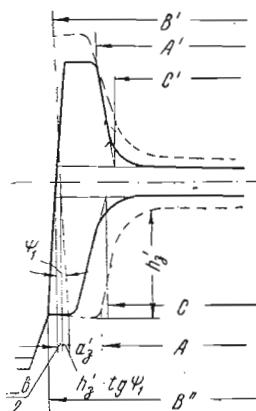


Рис. 26

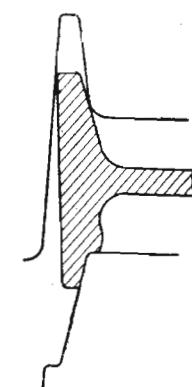


Рис. 27

части фланцев профиля углами у основания фланцев калибра (рис. 27). При наличии такого явления задача полосы в калибр сильно затрудняется, а срезаемый металл образует наплывы, что приводит к получению складок на ножке.

Чтобы избежать указанного явления, надо размер  $A$  на рис. 26 принимать больше размера  $C$ .

Рассмотрение рис. 26 показывает, что неравенство

$$A > C$$

достигается при условии, что

$$b_0 > a'_3 + \frac{\Delta b}{2} + h'_3 \operatorname{tg} \psi_1,$$

откуда

$$\Delta b \leq 2(b_o - a'_s - h'_s \operatorname{tg} \psi_1), \quad (15)$$

где  $\psi_1$  — угол уклона наружных граней фланцев, задаваемых в открытую часть калибра.

Для части профиля, задаваемой в закрытую часть калибра, необходимо выдержать условие

$$A' > C'$$

или

$$b_s \geq a'_o + \frac{\Delta b}{2} - h'_o \operatorname{tg} \psi_2,$$

откуда

$$\Delta b \leq 2(b_s - a'_o + h'_o \operatorname{tg} \psi_2). \quad (15a)$$

Поскольку условие (15a) выполняется легче условия (15), уширение следует проверять по условию (15).

Заметим, что на практике иногда допускают уширение несколько больше указанного. В таких случаях проникновение профиля в калибр происходит за счет значительного округления углов калибра между шейкой и фланцами, благодаря чему последние в момент удара полосы о валки несколько разгибаются и захват делается возможным.

## 11. Радиусы закруглений

Существенную роль в получении правильного и хорошо выполненного профиля играют закругления углов калибра.

Как показывает практика работы, уменьшение радиусов закругления у основания фланцев ( $R_o$  и  $R_s$  на рис. 28) приводит к сдвигу слоев металла со стороны внутренних граней фланцев (сечения III—III и IV—IV на рис. 7), что может повести к образованию складок у основания полок профиля.

С другой стороны, уменьшение указанных радиусов со стороны открытой части калибра улучшает условия проникновения металла в закрытую часть калибра, что улучшает его заполнение.

Необходимо также отметить, что в процессе работы углы у основания фланцев подвергаются наиболее сильному (по сравнению с другими частями калибра) истиранию, что ведет к искажению очертания калибра в данной его части.

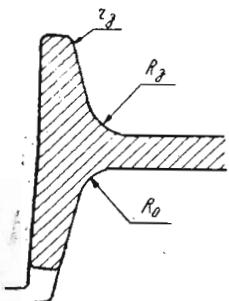


Рис. 28

Величину  $R_o$  и  $R_s$  обычно связывают со средней толщиной фланцев, увеличивая их с увеличением толщины последних.

Переход от шейки к фланцам Кирхберг рекомендует делать по параболе с параметром

$$2p = 100 \text{ или } y^2 = 100x,$$

причем основание фланца предварительно утолщается на величину

$$E = \frac{b^2}{200}.$$

Наиболее логичным методом определения радиусов закруглений следует признать такой, при котором величина последних связывается с толщиной прилегающей части профиля. В качестве исходной величины должно быть взято отношение радиуса к прилегающей части профиля в готовом продукте. Сохраняя данное отношение постоянным на протяжении всей калибровки, можно легко определить радиусы закруглений во всех калибрах.

$$\frac{R}{b} = c = \text{const}, \quad (16)$$

где  $R$  — радиус закругления между шейкой и фланцем в готовом профиле;

$b$  — толщина фланца у основания в готовом профиле.

Тогда для каждого искомого калибра

$$R'_o = cb'_o;$$

$$R'_s = cb'_s.$$

Радиусы закруглений в глубине вреза закрытого фланца  $r_s$  следует также принимать в зависимости от толщины фланца, применяя формулы, аналогичные написанным для  $R_o$  и  $R_s$ , т. е. принимая

$$\frac{r}{a} = c = \text{const}; \quad (17)$$

$$r'_s = ca'_s \text{ и т. д.,}$$

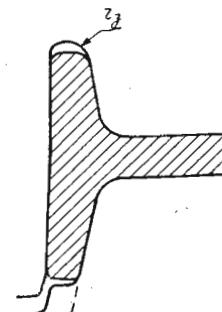


Рис. 29

где  $r$  — радиус закругления конца фланца у готового профиля;  $a$  — толщина фланца на конце.

Необходимо отметить, что с увеличением радиуса закругления  $r'_s$  заполнение конца фланца металлом затрудняется (рис. 29), вследствие чего взятое по готовому профилю отношение  $\frac{r'_s}{a'_s}$  в черновых калибрах следует несколько уменьшить.

Конец фланца с наружной стороны закругляется конструктивно с целью лучшей посадки шаблона.

Фланцы открытого калибра в целях предупреждения образования заусенцев обычно прорезаются ниже размера расчетной высоты (рис. 29), вследствие чего величина закругления калибра в этой части не играет никакой роли.

## 12. Коэффициенты деформации при прокатке балок

Число пропусков при прокатке балок и других профилей зависит от величины выбираемых коэффициентов деформации.

На основании практики работы различных станов для предварительного выбора числа пропусков в зависимости от размеров профиля можно пользоваться данными табл. 1.

Следует, однако, помнить, что специфические условия прокатки на данном конкретном стане могут сложиться так, что величина допускаемых коэффициентов деформации позволит прокатать тот или иной профиль в меньшее или большее число пропусков чем указано в табл. 1.

Таблица 1  
Зависимость числа пропусков от номера профиля

Номер профиля . . .	10—12	12—18	18—27	24—60
Число пропусков в фасонных калибрах . .	6—8	7—9	8—11	10—15
Диаметр валков, мм . .	350—500	400—650	500—950	600—950

Так как от числа пропусков обычно зависит производительность стана, то при калибровке всегда стремятся вести работу с максимально большими обжатиями, позволяющими получить профиль за минимально возможное число проходов. Исключение составляет прокатка некоторых профилей на непрерывных станах и станах с последовательным расположением клетей, работающих по принципу «в каждой клети — один пропуск». На таких станах иногда некоторое сокращение числа пропусков не приводит к увеличению производительности, тогда как полное использование всех клетей стана позволяет организовать более спокойную работу с меньшим износом калибров благодаря некоторому снижению коэффициентов деформации. Не следует, однако, забывать, что с увеличением числа пропусков возрастает расход энергии на деформацию.

Основными факторами, определяющими максимальную возможную деформацию в данном пропуске, являются: пластич-

ность металла, прочность валков, мощность привода, угол захвата, износ валков.

Учет всех перечисленных факторов представляет значительные трудности, поскольку некоторые из них еще недостаточно освещены теорией, а существующие методы расчета весьма громоздки, недостаточно точны и часто дают противоречивые результаты. В настоящее время не существует поэтому достаточно надежного метода для полного решения задачи распределения коэффициентов деформации при прокатке фланцевых профилей, и калибровщик вынужден решать ее, основываясь на изучении опыта работы отдельных калибровок и личных наблюдений.

Однако, при первоначальной разработке системы калибров полезно учесть некоторые приведенные ниже замечания относительно упомянутых факторов.

### Пластичность металла

Как известно, пластичность прокатываемого металла зависит от температуры и химического состава стали. Хотя влияние последнего фактора можно исключить, поскольку для изготовления балок применяется обычно только мягкий металл со сравнительно небольшими колебаниями количества примесей, все же решение вопроса об изменении пластичности металла в отдельных пропусках остается весьма сложным и трудным.

Даже располагая исчерпывающими сведениями об изменении пластичности металла в зависимости от температуры (чего фактически мы не имеем), нельзя разрешить вопрос, поскольку изменение температуры по пропускам остается неизвестным. Характер этого изменения зависит от очень многих причин, например, от толщины полосы, времени прокатки (определенного скоростью, длиной полосы, методами работы, оборудованием стана и т. д.), коэффициента теплоотдачи, величины деформации, формы поперечного сечения и пр. Некоторые из указанных величин, например, форма и толщина полосы, степень деформации и величина излучающей поверхности полосы, зависят от калибровки профиля, а размеры калибров как раз и являются неизвестной величиной, которая определяется. В силу сказанного при расчетах необходимо вначале ориентировочно принимать те или иные размеры, затем уже вычислениями проверять правильность принятых допущений.

Получаемые в результате таких расчетов данные значительно обесцениваются неуверенностью в сохранении принятых исходных величин. Как известно, температура заготовок, выдаваемых из печи, может весьма значительно колебаться; отдельные

заготовки и даже части заготовок могут иметь температуру, значительно отличающуюся от тех пределов, которые были приняты при расчетах. Кроме того, нужно считаться с тем фактом, что бригада, обслуживающая стан, стремясь «спасти» отдельные полосы, если в процессе прокатки имели место по тем или иным причинам короткие задержки, будет пытаться прокатывать несколько захоложенные штуки с пониженной пластичностью.

Указанные соображения, а также отсутствие вполне надежных методов расчета, заставляют калибровщика отказаться от точного определения изменения пластичности по пропускам и обратиться к весьма приближенным грубым оценкам данной величины по упрощенным формулам.

К таким методам следует отнести уже описанные выше методы распределения обжатий по Жезу и Кирхбергу.

Первый метод основан на предположении, что при равномерном падении температуры по пропускам отношения сопротивлений деформации являются членами арифметического ряда, поэтому коэффициенты деформации Жеза по пропускам представляют арифметическую прогрессию с знаменателем, величина которого зависит от числа пропусков и выбранного максимального обжатия:

$$r = \frac{k_{\max} - 1}{n}$$

Последующие, более точные исследования не подтвердили основных положений Жеза, но все же его таблицами обжатий пользуются до настоящего времени.

Кирхберг распределяет обжатия по пропускам, исходя из условия, что пластичность металла прямо пропорциональна толщине полосы.

В результате он приходит к параболическому закону распределения обжатий по пропускам:

$$f_n = f_{n-1} (f_{n-1} + 1);$$

$$f = \frac{H_n - H_{n-1}}{H_n},$$

где  $H$  — высота полосы.

Для двутавровых балок величина обжатия связывается с изменением угла наклона внутренних граней фланцев по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = \operatorname{tg} \alpha_0 (1 + \operatorname{tg} \alpha_0).$$

Для первого пропуска величина обжатия принимается из условия

$$\lambda_1 = 1 + \operatorname{tg} \alpha_1,$$

где  $\alpha_1$  — угол наклона внутренних граней фланца в готовом профиле.

Сравнительный график распределения обжатий показан на рис. 30 (по Жезу — кривая 1, по Кирхбергу — кривая 2).

Как видно из графика (номера пропусков показаны на нем против хода прокатки), обжатия в первых черновых калибрах, рассчитанные по Кирхбергу, могут достигнуть очень больших величин, что вынудило его отказаться от применения своей формулы для этих калибров. По Жезу, величина обжатий изменяется равномерно, уменьшаясь с каждым последующим пропуском на одну и ту же величину.

#### Прочность валков

Калибры для прокатки двутавровых балок отличаются глубоким времом в валки, значительно ослабляющим их прочность. Если учесть повышенное значение удельного давления металла на валки при прокатке данного профиля, то приведенные обстоятельства заставляют весьма осторожно подходить к выбору коэффициентов обжатий при прокатке в том или ином калибре.

Величина удельного давления металла связана также с его температурой. Учтя указанное обстоятельство, при оценке пластичности металла мы получаем примерно совпадающее изменение коэффициентов деформации по пропускам и с точки зрения прочности валков. Полученные результаты можно проверить и скорректировать расчетами, которые излагаются в специальных курсах, или на основании данных практики.

#### Мощность привода

Мощность привода, как и прочность валков, тесно связана с температурой, удельным давлением и площадью соприкосновения металла с валком. Наличие при прокатке балок неизбежных перемещений металла внутри очага деформации вызывает повышенный расход энергии, что иногда заставляет уменьшать намеченные коэффициенты деформации.

Существующие методы расчета мощности привода при прокатке фланцевых профилей весьма громоздки и не всегда

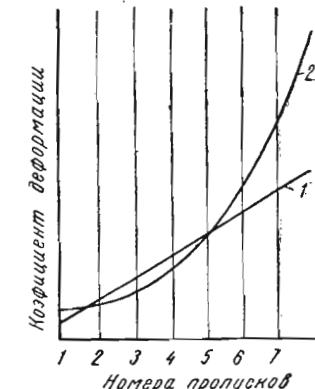


Рис. 30

дают правильные результаты, вследствие чего производятся очень редко. Обычно калибровщик проверяет нагрузку на моторы уже при испытании готовой калибровки, внося в случае необходимости корректиры в намеченный режим обжатий. Очень полезно также при первоначальной разработке калибровки учитывать опыт других подобных станов, в сортаменте которых имеются аналогичные профили.

Поставленная задача несколько облегчается тем, что привод стана обычно выбирается с таким расчетом, чтобы его мощность была достаточной для осуществления обжатий, допускаемых прочностью валков.

### Угол захвата

При прокатке балок величина угла захвата лимитирует размер обжатий только в первых клетях, вследствие чего при калибровке первых пропусков всегда нужно производить проверку на условия захвата полосы. Наличие глубокого вреза калибров позволяет допускать весьма значительные углы захвата, доходящие, в отдельных случаях, до  $25-26^\circ$ . Дополнительно данный вопрос освещен ниже в разделе о разрезных калибрах и в приведенных примерах калибровки.

### Износ валков

Этот фактор имеет особенно важное значение при выборе коэффициента деформации в чистовом и предчистовом калибрах. Поскольку состояние поверхности готового профиля определяется стойкостью чистового калибра, очень важно, чтобы он подвергался возможно меньшему износу и стоял как можно дольше. Кроме того, частая смена калибра неизбежно увеличивает простой стана и возможность получения вторых сортов при настройке.

Увеличение стойкости чистового калибра достигается выбором незначительного коэффициента деформации в данном пропуске или применением перлито-цементито-графитовых валков или валков с отбеленными ручьями. Уменьшение коэффициента деформации способствует уменьшению величины удельного давления металла на валок и сокращению длины очага деформации, благодаря чему перемещения металла, вызываемые разновременностью деформации и различием скоростей отдельных частей профиля, протекают с меньшим трением. Износ разрезного и черновых калибров допустим в значительно большей степени и, как правило, величины обжатия не лимитируют.

Очевидно, что вопрос о том или ином распределении коэффициентов деформации по пропускам, с учетом всех перечисленных факторов, можно окончательно решить только после тщательного

и всестороннего изучения стана, для которого проектируется калибровка. Для вновь строящихся станов примерное распределение коэффициентов деформации можно установить на основании изучения опыта калибровки подобных профилей на существующих аналогичных станах.

Очень часто калибровка двутавровой балки должна быть связана с определенным, заранее заданным, числом пропусков, отклонения от которого нежелательны или даже невозможны. Так, при прокатке балок на шахматных станах с последовательным расположением клетей или на непрерывных станах общее число пропусков не может превосходить имеющегося числа клетей, а при прокатке на станах трой — числа калибров, которые можно разместить на длине бочки валков.

В таких случаях, чтобы обеспечить совпадения возможного числа пропусков с расчетным, очень важно заранее иметь представление о величине общего коэффициента деформации, равного произведению отдельных коэффициентов деформации

$$k_{\text{общ}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n. \quad (18)$$

Знание величины  $k_{\text{общ}}$  существенно облегчает расчеты по калибровке, позволяя, во-первых, сразу решить вопрос о возможности прокатки проектируемого профиля на имеющемся стане в заданное число пропусков, и, во-вторых, в значительной степени избежнуть перерасчетов и пробных подстановок, неизбежных при калибровке.

В связи со сложными схертаниями профиля двутавровой балки, определение общего коэффициента деформации представляет значительные затруднения и не может быть сделано путем обычного расчета по формуле:

$$k_{\text{общ}} = \frac{\text{толщина исходной заготовки}}{\text{толщина конечного профиля}}$$

Вследствие этого величину общего коэффициента деформации можно окончательно определить только по окончании калибровки или на основании имеющихся практических данных по прокатке того или иного номера балки на данном стане.

Однако, во избежание грубых ошибок при первоначальной калибровке можно наметить приблизительную величину общего коэффициента деформации, при условии, что в основу калибровки положено равномерное обжатие всех частей профиля.

Рассматривая общую схему калибровки балки, показанную на рис. 31, можно заметить, что равномерная деформация наблюдается во всех калибрах за исключением разрезного. Обозначая необходимые величины и размеры калибров с индексами,

соответствующими номерами пропусков (по ходу калибровки) и используя уравнения (5) и (18), имеем

$$k_{\text{общ}} = \lambda_1 \eta_1 \cdot \lambda_2 \eta_2 \cdot \lambda_3 \eta_3 \cdots \lambda_n \eta_n,$$

что можно записать как произведение общих коэффициентов деформации по высоте и толщине

$$k_{\text{общ}} = \lambda_{\text{общ}} \cdot \eta_{\text{общ}}.$$

Неизвестные величины  $\lambda_{\text{общ}}$  и  $\eta_{\text{общ}}$  можно выразить через размеры разрезного калибра и готового профиля

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \eta_n.$$

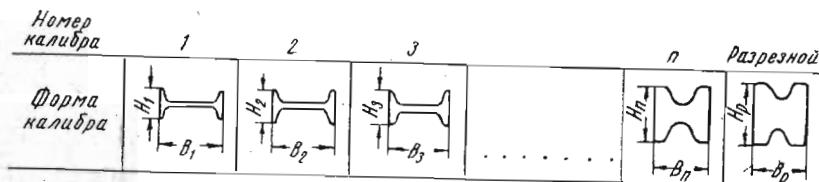


Рис. 31

Подставляя значение  $\eta$  из уравнения (6) или (7), получаем (размеры с индексом «р» относятся к разрезному калибуру)

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{h_2 + \frac{d_2}{2}}{h_1 + \frac{d_1}{2}} \cdot \frac{h_3 + \frac{d_3}{2}}{h_2 + \frac{d_2}{2}} \cdot \frac{h_4 + \frac{d_4}{2}}{h_3 + \frac{d_3}{2}} \cdots \frac{h_p + \frac{d_p}{2}}{h_n + \frac{d_n}{2}},$$

откуда после сокращения имеем

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{h_p + \frac{d_p}{2}}{h_1 + \frac{d_1}{2}}$$

или, умножая числитель и знаменатель на 2,

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{H_p}{H_1}.$$

Величину  $\lambda_{\text{общ}}$  можно определить из соотношения толщины основания фланцев разрезного калибра и готового профиля

$$\lambda_{\text{общ}} = \frac{b_p}{b_1}.$$

Поскольку калибровка обычно заканчивается при достижении пересечения внутренних граней фланцев, можно считать, что \*

$$b_p \approx \frac{B_p}{2}.$$

Тогда

$$\lambda_{\text{общ}} = \frac{B_p}{2b_1}.$$

Таким образом, общий коэффициент деформации в  $n$  калибрах

$$k_{\text{общ}} = \frac{B_p}{2b_1} \cdot \frac{H_p}{H_1}. \quad (19)$$

В полученное значение  $k_{\text{общ}}$  не входит коэффициент деформации в разрезном калибре, который подсчитывается особо после определения размеров исходной заготовки.

Для пользования уравнением (19) необходимо знать ширину  $B_p$  и высоту  $H_p$  (или отношение  $\frac{H_p}{H_1}$ ) разрезного калибра, которые в начальный момент калибровки остаются неизвестными.

Ориентировочно ширину разрезного калибра можно определить путем уменьшения ширины готового профиля на величину суммарного уширения

$$B_p = B_1 - \sum_1^n \Delta b,$$

или, используя уравнение (14),

$$B_p = B_1 - n \left( 0,01 B_1 + \frac{n-1}{2} \right).$$

Отношение  $\frac{H_p}{H_1}$  зависит от выбранного числа пропусков и диаметра валков стана, на котором производится прокатка. Оно колеблется для различных номеров балок в пределах  $1,65 \div 1,8$ .

\* В некоторых случаях (см. раздел 14 «Разрезные калибры») величину  $b_p$  можно принять несколько меньше или больше чем  $\frac{B_p}{2}$ .

### 13. Особенности калибровки двутавровых балок при прокатке на станах трио

На станах трио двутавровые балки можно прокатывать как в независимых (рис. 32), так и в сопряженных (рис. 33).

В первом случае схема расчета калибровки балки существенно не отличается от разобранной выше и производится по тем же формулам, что и для прокатки в станах дуо. Во втором случае

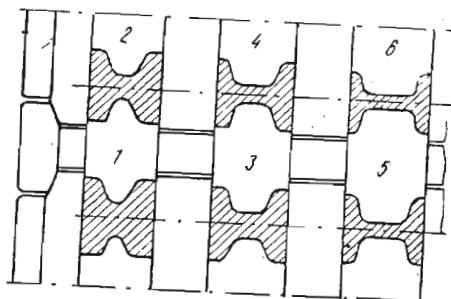


Рис. 32

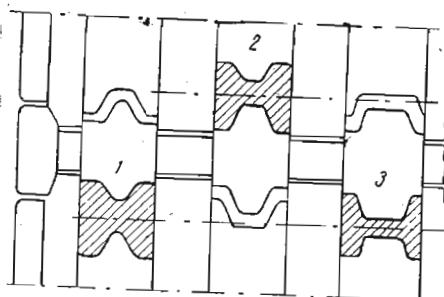


Рис. 33

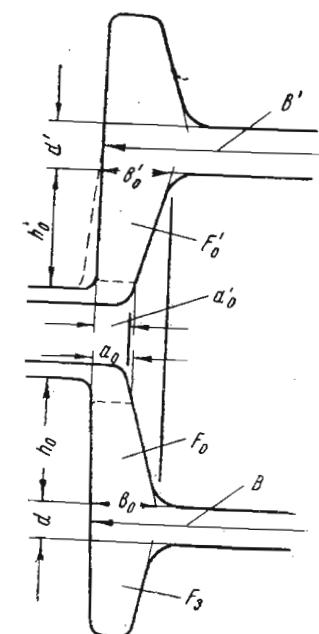


Рис. 34

метод калибровки должен быть несколько изменен, так как наличие общих ручьев, врезанных в средний валок, связывает размеры расположенных друг под другом калибров и делает иногда невозможным равномерное распределение обжатий во всех частях профиля.

Важнейшими особенностями, которые должен учесть калибровщик, проектируя сопряженные калибры, являются: национальность сопряженных калибров, наличие верхнего или нижнего

давления в сопряженных калибрах (или неравенство начальных диаметров).

Рассмотрим подробнее влияние каждого из перечисленных факторов.

#### Наличие общего ручья, врезанного в средний валок

Как видно из рис. 34, на котором показана пара сопряженных калибров, условия образования открытых фланцев таковы, что

$$a'_0 = a_0; \quad b'_0 = b_0; \quad h'_0 = h_0^*.$$

Благодаря указанному обстоятельству и вследствие того, что

$$F_0 = F_{3*}$$

общий коэффициент обжатия в закрытом фланце нижнего калибра будет иметь весьма незначительную величину, равную  $\eta_3$ :

$$k_3 = \eta_3 = \frac{h'_{c.o.}}{h_{c.o.}}$$

Это приводит к неравномерной деформации, смещению оси фланцев и снижению общего коэффициента деформации в калибре, который для данного случая можно определить как

$$k = \frac{k_0 + k_3}{2}. \quad (20)$$

Площадь открытого фланца и, следовательно, обжатие в закрытом фланце нижнего калибра можно увеличить изменением уклона наружных граней искомого открытого фланца (пунктир на рис. 34), оставляя ширину калибра неизменной:

$$B' = B.$$

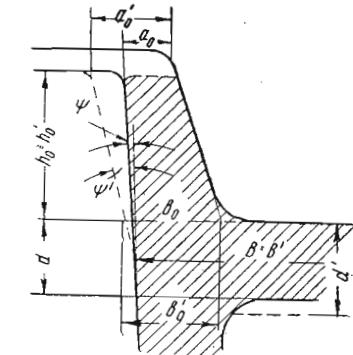


Рис. 35

При этом фланец получит некоторое приращение по толщине и площадь его увеличится.

Величины  $a'_0$  и  $b'_0$  можно определить по рис. 35, на котором верхний открытый фланец показан наложенным в перевернутом виде (для удобства сравнения) на нижний.

\* Фактически  $h'_0 > h_0$  вследствие большего заполнения.

Как видно из чертежа,

$$b'_o = b_o + \frac{d'}{2} (\operatorname{tg} \psi' - \operatorname{tg} \psi), \quad (21)$$

$$a'_o = a_o + \left( h'_o + \frac{d'}{2} \right) (\operatorname{tg} \psi' - \operatorname{tg} \psi). \quad (22)$$

### Уширение в сопряженных калибрах

Условия конструирования сопряженных калибров таковы, что в них обычно нельзя давать уширения, вследствие чего увеличивается расход энергии на прокатку и сокращается срок службы калибра.

Однако, используя тот же прием, что и в предыдущем случае, можно добиться некоторого уменьшения ширины следующего (по ходу расчета) калибра и получить

$$B' < B$$

(пунктир на рис. 36).

Максимально возможное уширение можно принять из уравнения:

$$\Delta b = 2 \left( h_o + \frac{d'}{2} \right) (\operatorname{tg} \psi' - \operatorname{tg} \psi). \quad (23)$$

Возможны также промежуточные варианты, когда увеличение угла  $\psi$  частично используется для создания уширения и частично для приращения толщины фланцев.

Следует отметить, что использование изменения угла  $\psi$  для изменения ширины полосы вообще не желательно, так как ведет к уменьшению толщины открытого фланца (см. рис. 36).

### Давление при прокатке в станах трио

При одинаковых начальных диаметрах валков в случае применения сопряженных калибров катающие диаметры отличаются на величину обжатия в этих калибрах, в связи с чем

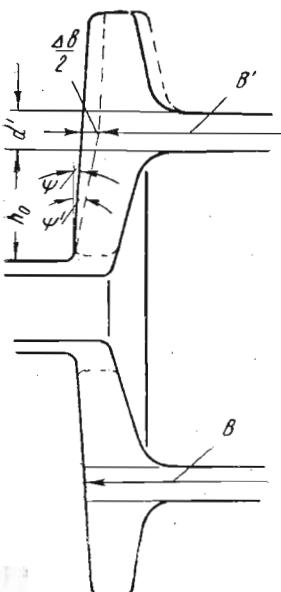


Рис. 36

нейтральная линия калибра смещается относительно линии прокатки на величину

$$\frac{d' - d}{2}.$$

Чтобы избежать разницы в размерах катающих диаметров (для устранения давления), надо выбирать начальный диаметр нижнего валка ( $D_{\text{Н}}$ ) больше начального диаметра верхнего валка ( $D_{\text{В}}$ ) на величину обжатия. Диаметр среднего валка ( $D_{\text{ср}}$ ) сохраняется равным номинальному. Таким образом:

$$D_{\text{Н}} = D_{\text{ср}} + (d' - d), \quad (24)$$

$$D_{\text{В}} = D_{\text{ср}} - (d' - d). \quad (25)$$

При наличии на валках двух (или более) пар сопряженных калибров указанную разницу в диаметрах следует принимать равной средней величине обжатия в них.

Численный пример конструирования сопряженных калибров приведен ниже при описании калибровки балки № 33 на рельсобалочном стане.

### 14. Разрезные калибры

Признаком окончания калибровки в большинстве случаев является пересечение внутренних граней фланцев на шейке профиля (рис. 37), что обуславливается равенством

$$2b \approx B.$$

В полученный таким образом калибр, называемый разрезным, задается прямоугольная заготовка с высотой, обычно несколько превышающей высоту калибра.

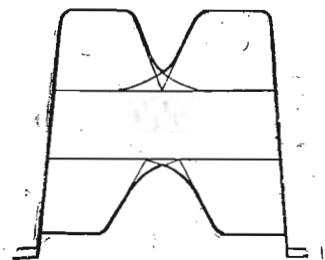


Рис. 37

### Форма разрезного калибра

В зависимости от метода калибровки прокатываемого профиля и типа стана, на котором производится прокатка, разрезной калибр может иметь разную форму.

Весьма большое влияние на условия заполнения и на расход энергии при прокатке в разрезном калибре оказывает величина угла, образованного пересечением внутренних граней фланцев. Не вдаваясь в детальное изучение процесса истечения металла в разрезном калибре, можно считать установленным, что с уменьшением этого угла заполнение фланцев улуч-

шается, а расход энергии на прокатку сокращается. Вместе с тем одновременно уменьшается общая вытяжка в разрезном калибре.

Следует заметить, что при чрезмерно острых углах разрезающих гребней образующиеся фланцы получают значительную толщину, что вызывает опасность получения складок и возможного затруднения при захвате полосы валками.

Расчеты по изложенному выше методу калибровки автоматически приводят к получению вполне удовлетворительного угла между образующими внутренних граней фланцев, что выгодно отличает предлагаемый метод от многих других.

Полученную в результате расчета высоту разрезных гребней надо проверить с точки зрения возможности захвата полосы валками. Следует учесть возможное уменьшение высоты гребней из-за наличия закруглений между фланцами и шейкой профиля.

Практика показала, что захват полосы валками становится затруднительным или даже невозможным, если суммарная высота разрезных клиньев плюс величина обжатия фланцев по высоте превышают одну пятую диаметра валков разрезной клети, т. е. захват возможен, если:

$$\Sigma H_{\text{р.кл}} + \Delta h_p \leq \frac{1}{5} D.$$

Соответствующий угол захвата, рассчитанный по концам гребней:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \frac{180}{3,14} \sqrt{\frac{\frac{1}{5} D}{\frac{D}{2}}} = \frac{180}{3,14} \sqrt{\frac{2}{5}} = 36^\circ.$$

Однако более правильно рассчитывать получающийся угол захвата из условий определения средней величины обжатия в калибре:

$$\Delta h_{\text{ср}} = H_0 - H_{\text{ср}} = H_0 - \frac{F_p}{B_p},$$

где  $H_0$  — высота заготовки, задаваемой в калибр;

$F_p$  и  $B_p$  — площадь и ширина разрезного калибра.

Подставляя полученное значение в формулу для определения угла захвата, получаем среднее значение последнего, которое, как показывает практика, не должно превышать 24—25° (при стальных валках).

Полученное значение  $\Delta h_{\text{ср}}$  можно также сравнить с возможным максимальным обжатием в данном калибре, вычисленным из условия равенства угла захвата и угла трения:

$$\Delta h_{\text{макс}} \approx f^2 R,$$

где  $f$  — коэффициент трения;

$R$  — катающий радиус.

При наличии хороших условий захвата в разрезном калибре разрезающий гребень часто делается с более или менее значительным притуплением, что позволяет увеличить вытяжку в разрезном калибре и тем самым сократить общее число пропусков для получения готового профиля. Такая возможность чаще всего встречается при прокат-

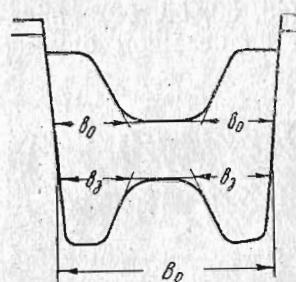


Рис. 38

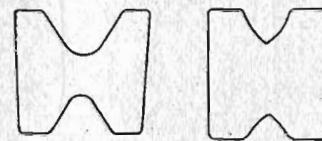


Рис. 39

ке балок и швеллеров мелких номеров. Как видно из рис. 38, в этом случае

$$2b < B_p$$

и образование шейки профиля начинается с самого первого пропуска.

Значительное притупление и связанное с ним увеличение площади разрезных клиньев при такой форме калибра вызывают увеличенную утяжку фланцев, благодаря чему отношение высоты заготовки к высоте калибра необходимо увеличить.

В противоположном случае, т. е. при получении ненормально большого угла захвата в разрезном калибре, заготовка разрезается последовательно в двух следующих один за другим разрезных калибрах (рис. 39).

Возможно также предварительное разрезание заготовки в последней клети заготовочного стана, как принято на некоторых наших заводах.

Применение двух разрезных калибров вместо одного вообще не желательно, так как приводит к увеличению числа пропусков для получения готового профиля и, кроме того, увеличивает высоту исходной заготовки, задаваемой в первый разрезной калибр.

При прокатке балок крупных номеров на рельсобалочных станах не всегда удается расположить на валах достаточное число профильных калибров, вследствие чего разрезной калибр получает несколько отличную форму (рис. 40). В таком калибре разрезание заготовки осуществляется последовательно в несколько пропусков на черновой дуо-реверсивной клети рельсобалочного стана.

Примерные формы профиля, получаемые после каждого пропуска, представлены на рис. 41.

Для балок самых крупных номеров (45, 50, 55, 60) предварительное разрезание полосы начинают на большом блумин-

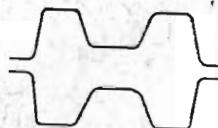


Рис. 40

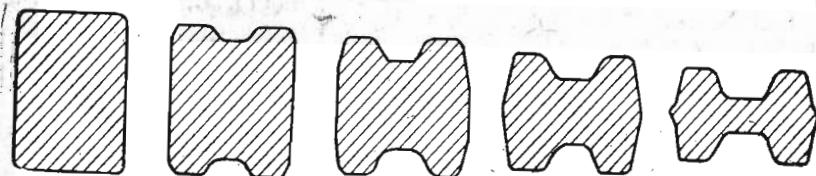


Рис. 41

ге<sup>1</sup>, помещая на его валах специальный разрезной калибр, позволяющий за несколько пропусков получить необходимую фасонную заготовку (рис. 42).

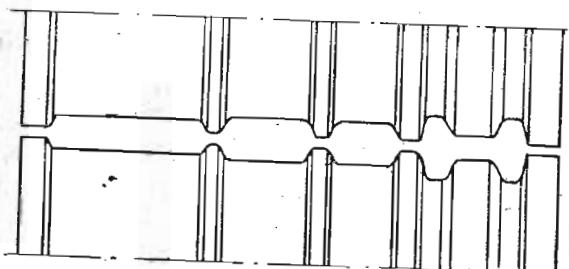


Рис. 42

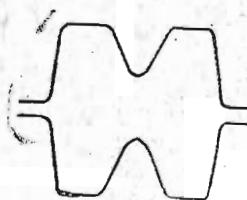


Рис. 43

Применение разрезных калибров с разъемом посередине, представленных на рис. 40, 42 и 43, возможно также во всех остальных случаях прокатки балок и швеллеров. Указанные ка-

<sup>1</sup> При наличии на рельсобалочном стане 4—5 клетей большого диаметра (900—950 мм) разрезание заготовки можно производить в первой клети

либры по сравнению с закрытыми имеют ряд преимуществ. Важнейшие из них заключаются в следующем:

1. Значительно сокращается глубина вреза в валки, благодаря чему увеличивается прочность последних.

2. При увеличении высоты заготовки, задаваемой в разрезной калибр с разъемом посередине, опасность переполнения калибра и образования заусенцев не возникает. Практически высота задаваемой заготовки лимитируется только условиями захвата.

3. Условия для переточки валков значительно лучше, чем при наличии закрытых калибров.

К недостаткам, связанным с применением открытых калибров с разъемом посередине, следует отнести необходимость в более точной установке вводных линеек и валков, что несколько усложняет настройку стана.

### Определение высоты заготовки, задаваемой в разрезной калибр

Правильный выбор размеров высоты заготовки, задаваемой в разрезной калибр, также имеет существенное значение, потому что от степени заполнения разрезного калибра зависит степень заполнения фланцев последующих калибров.

Значительная часть авторов различных методов калибровки фланцевых профилей в вопросе о выборе высоты заготовки, задаваемой в разрезной калибр, ограничивается простейшими эмпирическими зависимостями, полученными в результате систематизации опытных данных. Так, одни принимают высоту заготовки больше высоты разрезного калибра на 7—20%, другие на 3—10%.

Существуют также различные способы подсчета степени заполнения разрезных калибров. Из них наиболее распространены способы советских ученых Тарновского, Мутьева и Соколова, а также методы Тафеля, Экелунда и Лендла. Краткое изложение указанных способов приведено ниже.

**Способ Тафеля.** При подборе высоты заготовки калибр разбивают на отдельные элементы (рис. 44) и находят естественные вытяжки для каждого из них в отдельности. Учитывая предварительную утяжку металла в крайних частях калибра (в связи с более ранним захватом полосы в центре, чем по краям), фактическую высоту полосы нужно уменьшать до линии *top — m'o'n'*.

### Калибровка балок

Тогда среднюю арифметическую величину вытяжки по всем элементам можно подсчитать из уравнения:

$$\mu_c = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n},$$

после чего определяется средняя высота полосы после прокатки:

$$h'_c = \frac{H_0}{\mu_c},$$

которая сравнивается с имеющейся средней высотой калибра. Высоту заготовки следует подбирать до тех пор, пока полученная  $h'_c$  не будет равна средней высоте калибра  $h_c$ .

При данном способе не учитывается уширение, вследствие чего высота заготовки получается несколько завышенной, но

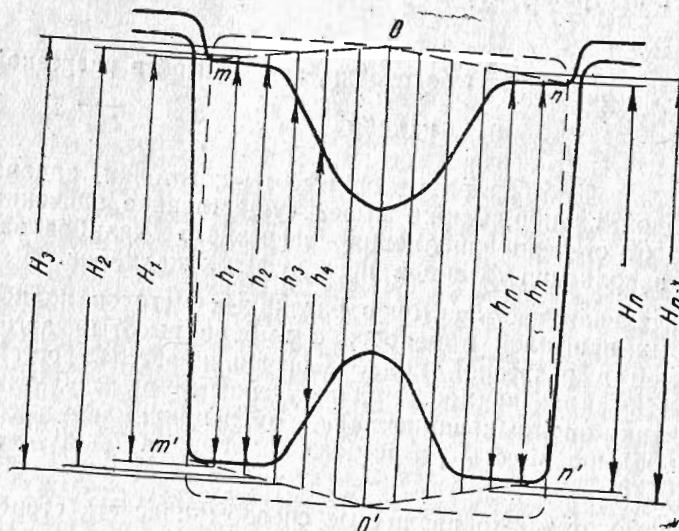


Рис. 44

в достаточной степени удовлетворяющей требованиям практики. Подсчитанная средняя арифметическая величина вытяжки отклоняется от действительной в тех случаях, когда угол врезающе-гося клина меньше  $90^\circ$  и в особенности если он меньше  $60^\circ$ .

**Способ Экелунда.** При подборе высоты заготовки калибр делят только на три части, для чего проводится средняя высота калибра (рис. 45), вычисляемая путем деления площади калибра на его среднюю ширину. Так как средняя

### Разрезные калибры

часть имеет большее обжатие, чем крайние, то должно иметь место вынужденное уширение средней части.\*

Экспериментально уширение средней части \*

$$\Delta b = 0,25 (H_0 - H''_c),$$

где  $H''_c$  — средняя высота средней части калибра, полученная путем деления площади средней части ( $F''_c$ ) на ее ширину ( $B''_c$ ).

Принимая за основу это выражение и исходя из закона по-

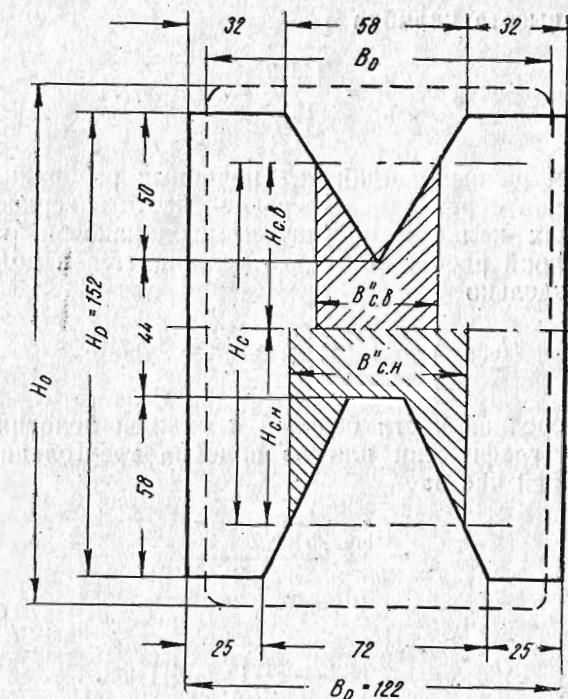


Рис. 45

стоянства объема, находят уравнение для определения высоты заготовки:

$$H_0 = 4F'_c \left( \frac{1}{H''_c} - \frac{B_0}{F_p} \right) + H''_c.$$

\* Буквенные обозначения с двумя штрихами приняты с целью отличить эти значения от искомых, которые повсюду обозначены с одним штрихом.

В качестве примера определим по описываемому методу уширение и необходимую высоту заготовки для калибра, представленного на рис. 45.

Площадь калибра

$$F_p = H_p \cdot B_p - F_{p, \text{кл}},$$

где  $F_{p, \text{кл}}$  — площадь разрезных клиньев.

$$F_p = 152 \cdot 122 - \left( \frac{50 \cdot 58}{2} + \frac{72 + 14}{2} \cdot 58 \right) = 14600 \text{ мм}^2.$$

Средняя высота калибра

$$H_c = \frac{F_p}{B_p} = \frac{14600}{122} = 120 \text{ мм.}$$

В несимметричных калибрах, подобных изображеному на рис. 45, ширина образующейся средней части в верхней и нижней половинах калибра получается неодинаковой, вследствие чего дальнейший расчет несколько усложняется и должен быть проведен раздельно

$$H_{c, \text{в}} = H_{c, \text{н}} = \frac{H_c}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ мм.}$$

Ширина средней части верхней и нижней половин калибра определяется графически или из подобия треугольников.

Для верхней части:

$$\frac{B''_{c, \text{в}}}{58} = \frac{60 - \frac{44}{2}}{50},$$

откуда

$$B''_{c, \text{в}} = \frac{58}{50} \left( 60 - \frac{44}{2} \right) = 44,1 \text{ мм.}$$

Для нижней части

$$\frac{\frac{1}{2} (B''_{c, \text{н}} - 14)}{60 - \frac{44}{2}} = \frac{54 - 25}{58},$$

откуда

$$B''_{c, \text{н}} = 52 \text{ мм.}$$

Площадь средней части верхней половины калибра

$$F''_{c, \text{в}} = 60 \cdot 44,1 - 0,5 \left( 60 - \frac{44}{2} \right) \cdot 44,1 = 1800 \text{ мм}^2.$$

Средняя высота средней части верхней половины калибра

$$H''_{c, \text{в}} = \frac{F''_{c, \text{в}}}{B''_{c, \text{в}}} = \frac{1800}{44,1} = 40,8 \text{ мм.}$$

Площадь средней части нижней половины калибра

$$F''_{c, \text{н}} = 60 \cdot 52 - \frac{14 + 52}{2} \left( 60 - \frac{44}{2} \right) = 1870 \text{ мм}^2.$$

Средняя высота средней части нижней половины калибра

$$H''_{c, \text{н}} = \frac{F''_{c, \text{н}}}{B''_{c, \text{н}}} = \frac{1870}{52} = 36,0 \text{ мм.}$$

Общая средняя высота средней части

$$H_c'' = H''_{c, \text{в}} + H''_{c, \text{н}} = 40,8 + 36,0 = 76,8 \text{ мм.}$$

Общая площадь средней части калибра

$$F_c'' = F''_{c, \text{в}} + F''_{c, \text{н}} = 1800 + 1870 = 3670 \text{ мм}^2.$$

Высота исходной заготовки, принимая  $B_0 = 110 \text{ мм}$ ,

$$H_0 = 4F_c'' \left( \frac{1}{H_c''} - \frac{B_0}{F_p} \right) + H_c'' = 4 \cdot 3670 \left( \frac{1}{76,8} - \frac{110}{14600} \right) + 76,8 = 157 \text{ мм.}$$

Уширение средней части

$$\Delta b = 0,25 (H_0 - H_c'') = 0,25 (157 - 76,8) \approx 20,0 \text{ мм.}$$

**Способ Лендла.** В разделе «Обзор существующих методов калибровки балок» (стр. 23) изложено содержание метода Лендла для проверки заполнения калибров при прокатке фасонных профилей. Формула Лендла для определения средней вытяжки применяется им также при расчете разрезного калибра.

Для определения частных вытяжек калибр с наложенной на него заготовкой разбивают на три части по схеме, показанной на рис. 46, после чего, задавшись высотой заготовки  $H_1$ , определяют их площади и коэффициенты вытяжки ( $\mu'_1$  и  $\mu'_2$ ) при условии независимого удлинения.

По окончании расчета средней вытяжки ( $\mu'_c$ ) определяется площадь сечения полосы, получаемая после пропуска:

$$F_1 = \frac{F_0}{\mu'_c},$$

которая сравнивается с фактической площадью калибра. В случае несовпадения задаются новой высотой заготовки  $H_2$  (с учетом получившегося расхождения) и вторично определяют пло-

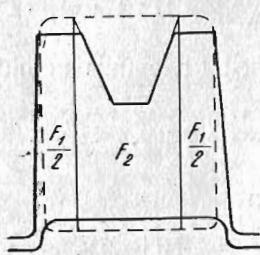


Рис. 46

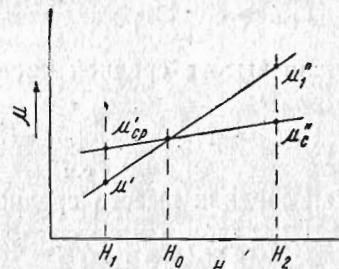


Рис. 47

щадь сечения полосы после пропуска. После двух пробных расчетов путем графической интерполяции (рис. 47) находят окончательную высоту заготовки ( $H_0$ ), соответствующую данному калибру.

**Способ И. Я. Тарновского.** Исследования И. Я. Тарновского, проведенные в Уральском индустриальном институте под руководством проф. А. Ф. Головина, позволили установить зависимость между отношением площадей поперечно-

го сечения шейки и полосы после пропуска  $\left(\frac{F'_w}{F'}\right)$  и отноше-

нием логарифмов общей и расчетной вытяжек  $\left(\frac{\lg \mu}{\lg \mu_p}\right)$ .

Под расчетной следует понимать вытяжку, получаемую при прокатке на гладких валках полосы прямоугольного поперечного сечения, толщина которой соответственно равны толщине и ширине шейки прокатываемого профиля, при кратном уменьшении толщины этой полосы, равном кратному уменьшению толщины шейки сложного профиля\*.

Проведенные эксперименты показали, что при прокатке со свободным уширением полос двутаврового сечения с углом на-

клона боковых граней  $60-90^\circ$  указанная выше зависимость между  $\frac{F'_w}{F'}$  и  $\frac{\lg \mu}{\lg \mu_p}$  является прямолинейной (для практически применимых отношений) и может быть выражена уравнением:

$$\lg \mu = 1,5 \left( \frac{F'_w}{F'} - 0,1 \right) \lg \mu_p.$$

Во второй стадии опытов был исследован более общий случай деформации, когда наряду с обжатием шейки имеет место также обжатие внутренних граней фланцев, т. е. обжатие на конусах.

Полученные в результате опытов кривые дают возможность определить зависимость между  $\frac{\lg \mu}{\lg \mu_p}$  и  $\frac{F'_w}{F'}$  при различных соотношениях между площадью, смещенной на конусах, и площадью, смещенной на шейке. Последний фактор учтен в виде равнозначного отношения

$$\frac{\Delta h_k}{\Delta h_w},$$

где  $\Delta h_w$  — обжатие шейки;

$\Delta h_k$  — обжатие на конусах, обусловленное превращением площади, смещенной на конусах (рис. 48) в прямоугольник с шириной, равной ширине шейки

$$\Delta h_k = \frac{F_{cm.k}}{b'}$$

(в статье Тарновского приведен метод расчета величины  $F_{cm.k}$ ). Полученные кривые отвечают уравнениям:

$$\lg \mu = k_1 \left( \frac{F'_w}{F'} \right)^{m_1} \cdot \lg \mu_p,$$

где  $k_1$  и  $m_1$  — коэффициенты, зависящие от отношения  $\frac{\Delta h_k}{\Delta h_w}$ .

Приведенный метод рассчитан на проведение расчетов по калибровке как в первом, так и в последующих пропусках при прокатке фасонных профилей.

**Способ М. С. Мутьева.** При расчете по методу Мутьева необходимую высоту заготовки находят из соотношения между избыточным металлом вынужденного уширения и недо-

\* Определение  $\mu_p$  см. А. Ф. Головин, Прокатка, часть III.

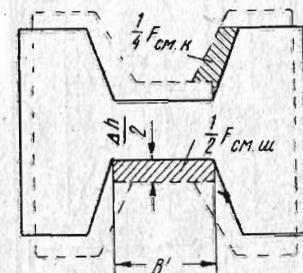


Рис. 48

стающим металлом утяжки, для чего разрезной калибр делят на три части согласно рис. 49.

Анализируя характер и условия деформации в крайних и средних частях калибра, устанавливают долю избыточного металла из средней части полосы, идущую на компенсацию утяжки фланцев.

Растягиваемые крайние части калибра получают за счет средней части дополнительную вытяжку, приводящую к утяжке

$$\Delta h_y = H_o - \frac{H_o}{\sqrt{\mu_{cp}}} = H_o - \frac{H_o}{\sqrt{\frac{B_o H_o}{F_p}}}$$

и поперечному сужению крайних частей; степени сужения и укорочения принимаются одинаковыми.

Утяжке и сужению крайних частей противопоставляется истечение металла из средней части калибра, площадь поперечного сечения которого

$$m = \frac{2a(B_o H_p - F_p)}{B_o}$$

Одна половина вытесненного металла идет на компенсацию сужения, другая как бы подвергается боковому обжатию, за счет которого увеличивается средняя вытяжка в калибре и частично компенсируется утяжка фланцев.

Приращение высоты фланцев представляет, таким образом, как бы уширение половины вытесняемого металла за счет обжатия его боковыми стенками калибра. Величина приращения определяется из выражения

$$\Delta h_{pr} = \frac{c \cdot m}{4a},$$

где  $c$  — коэффициент заполнения фланцев, по физическому смыслу сходный с коэффициентом уширения. В дальнейшем величина  $c$  принимается равной 0,7.

Таким образом, окончательная высота фланцев определяется как величина, получаемая в результате утяжки (вследствие растяжения фланцев) и приращения высоты (за счет истечения металла из средней части калибра):

$$H_p = H_o - \Delta h_y + \Delta h_{pr}.$$

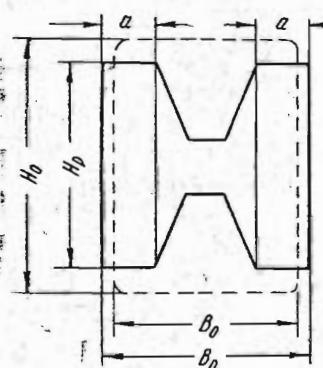


Рис. 49

Вводя коэффициент утяжки

$$\tau = \frac{H_o}{H_p},$$

после подстановки и простейших преобразований получаем

$$\tau = \frac{B_o H_p}{F_p} \left( 0,65 + \frac{0,35}{\frac{B_o H_p}{F_p}} \right)^2.$$

Искомая высота калибра

$$H_o = \tau H_p.$$

**Способ Соколова.** В основу метода Соколова положен энергетический принцип. Согласно этому принципу работа сил внутреннего трения металла фланца от растягивающего действия внешних сил ( $W_1$ ) и работа сил внутреннего трения металла шейки от сжимающего действия внешних сил со стороны фланцев ( $W_2$ ) должны относиться, как обратные им сопротивления

$$\frac{W_2}{W_1} = k \frac{P_1}{P_2},$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — сопротивления фланцев и шейки, равные произведениям соответствующих удельных сопротивлений на площади сечения;

$k$  — коэффициент пропорциональности.

Подставляя в уравнение значения соответствующих работ, вычисленных как

$$W = p v \int_{L_1}^{L_2} \frac{d\mu}{\mu}$$

(с соответствующей подстановкой пределов и удельных давлений) и заменяя отношение сопротивлений отношением площадей (при условии равенства удельных сопротивлений растяжению и сжатию), получаем соотношение между логарифмами средней вытяжки  $\mu_{cp}$  и вытяжки более значительно обжимаемой части сечения, например, шейки  $\mu_2$ :

$$\frac{\lg \mu_{cp}}{\lg \mu_2} = \frac{\frac{F_2}{F}}{1 - 2 \frac{F_2}{F} \left( 1 - \frac{F_2}{F} \right)},$$

где  $F$  и  $F_2$  — площади всего калибра и наиболее обжимаемой его части соответственно.

Полученное уравнение применимо для расчета средней вытяжки только в калибрах со свободным уширением при угле наклона боковых граней разрезающих гребней, равном  $90^\circ$ .

В последующих работах Л. Д. Соколова дает метод решения поставленной задачи при других значениях угла наклона боковых граней разрезающих гребней и наличии стесненного уширения в калибре.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что отношение логарифмов средней вытяжки и вытяжки в шейке является функцией отношения средних площадей сечения шейки и всей полосы в пределах пропуска

$$\frac{\lg \mu_{cp}}{\lg \mu_1} = \varphi \frac{F_{1 cp}}{F_{cp}}$$

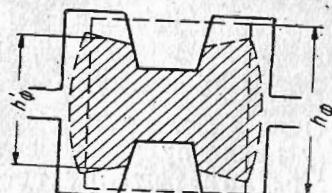


Рис. 50

Полученная зависимость представлена в работе Соколова в виде графика с семейством кривых. Отдельные кривые соответствуют различным интервалам отношения площади сечения, обжатой на конусах, к площади сечения, обжатой под шейкой калибра.

Утяжка фланцев определяется в зависимости от средней вытяжки по уравнению:

$$\lg \frac{h_\Phi}{h'_\Phi} = K \lg \mu_{cp},$$

где  $h_\Phi$  и  $h'_\Phi$  — высоты фланцев (рис. 50) до и после пропуска (в открытом калибре);

$K$  — множитель, зависящий от отношения высоты фланца к его толщине.

Степень стеснения калибра учитывается эмпирическим соотношением в зависимости от коэффициентов уширения шейки, рассчитанных по методу А. Ф. Головина.

На основании полученных зависимостей, используя методы подсчета, указанные в упомянутой выше статье Соколова, можно проводить расчеты в первом и последующих пропусках при прокатке в открытых калибрах.

Описанный метод рассчитан, главным образом, на применение для расчета разрезных калибров блумингов и черновых клетей рельсобалочных станов.

Из рассмотрения существующих способов определения степени заполнения разрезных калибров можно заключить, что, несмотря на значительное их разнообразие, окончательного разрешения вопроса еще не получил. Существующие способы в боль-

шинстве случаев являются искусственными приемами, недостаточно обоснованными в теоретическом отношении и к тому же весьма сложными.

Способы Тафеля и Лендла при детальном изучении показывают несоответствие выведенных ими формул закону постоянства объема, о чем уже неоднократно упоминалось в соответствующей литературе и критических статьях по данному вопросу. Кроме того, как уже указывалось, первый из них применим только при определенной форме разрезающего клина и начинает давать значительные отклонения при увеличении угла наклона внутренних граней клина.

При расчетах по методу Экелунда степень заполнения фланцев разрезного калибра ставится в зависимость от уширения его средней части. Величина уширения определяется в зависимости только от величины обжатия. Так как фактически величина уширения зависит также от многих других факторов, например, от диаметров валков и коэффициента трения (который, в свою очередь, зависит от температуры, состава металла, состояния поверхности валков и пр.), то данный метод может также давать более или менее значительные отклонения в обе стороны.

Достоинствами методов Тарновского и Соколова является то, что они представляют попытки решить вопрос о заполнении фланцев как в первом, так и в последующих пропусках. Однако предложенные ими эмпирические зависимости получены в результате экспериментов, проведенных, главным образом, в лабораторных условиях над свинцовыми полосками весьма незначительных размеров. Поэтому полученные выводы требуют дальнейшей проверки и доработки. Примеры расчетов, приводимые в статьях Соколова, желательно было бы преобразовать таким образом, чтобы по заданной высоте фланцев можно было находить размеры заготовки, из которой они получаются.

Преимущество метода Мутьева заключается в простоте полученных им конечных выражений. Однако рассуждения автора все же весьма искусственны и отдельные положения требуют проверки и дополнительных исследований (например, равенство коэффициентов утяжки и поперечного сужения, величина коэффициента  $c$ , влияние на нее различных факторов). Получаемое по формуле Мутьева увеличение  $\gamma$  с возрастанием  $B_0$  противоречит опытным данным.

Недостатком большинства методов является чрезмерная сложность и громоздкость расчетов, увеличивающая вероятность ошибок при их использовании.

Высота заготовки, подсчитанная для одного и того же калибра разными способами, получается различной, тем не менее

большинство авторов указывает, что при расчете высоты заготовки по их методам результаты были удовлетворительны.

Указанное обстоятельство, а также практические наблюдения дают основание заключить, что высота, которую заготовки должны иметь для заполнения калибра, может изменяться в довольно широких пределах, что значительно упрощает ее определение. Важно только, чтобы высота заготовки оказалась не ниже наименьшего предела, так как недовыполнение разрезного калибра может привести к недовыполнению фланцев в последующих калибрах, если они рассчитаны без запаса на обжатие по высоте. Несколько завышенное значение высоты заготовки ничтожно мало сказывается на переполнении калибра и практически ведет лишь к лучшему выполнению радиусов закруглений в его углах. С этой точки зрения наилучшим является применение разрезных калибров с разъемом посередине, для которых верхний предел высоты заготовки практически ограничивается условиями захвата.

Заметим, кстати, что увеличение высоты заготовки, хотя и способствует лучшему заполнению калибра, но очень мало, так как излишек «железа» идет в длину, а не в направлении поперечного сечения.

Сопоставляя сказанное с изучением различных методов определения высоты заготовки, можно притти к выводу, что для практического применения желательно иметь метод, позволяющий возможно быстрее и проще определять размеры заготовки, хорошо удовлетворяющие требованиям практики.

Способ Б. П. Бахтинова. Высоту заготовки, необходимой для заполнения разрезного калибра, можно определить, исходя из следующих положений.

Утяжка высоты заготовки в разрезном калибре происходит вследствие непосредственного воздействия разрезающей части клина калибра. Имея в виду, что боковые части калибра, расположенные по обе стороны клина, непосредственному обжатию не подвергаются, объем металла, обжимаемого клином в очаге деформации, должен соответствовать объему металла, идущего в утяжку (рис. 51). Исходя из равенства указанных объемов, имеем

$$V_{p.k} = V_{yt}$$

Объем  $V_{p.k}$  металла, обжимаемого клином, можно определить как объем пирамиды с основанием, равным площади разрезного клина, и высотой, равной длине очага деформации  $l_x$ :

$$V_{p.k} = \frac{1}{3} F_{p.k} l_x$$

Объем  $V_{yt}$  металла, перешедшего в утяжку, на длине очага деформации, будет равен объему клина с основанием  $H_0 - H_p$  и высотой, равной длине очага деформации  $l_x$ :

$$V_{yt} = \frac{1}{2} (H_0 - H_p) B_{cp} l_x$$

где  $B_{cp}$  — средняя ширина полосы в очаге деформации, определяемая из равенства

$$B_{cp} = \frac{B_0 + B_p}{2}$$

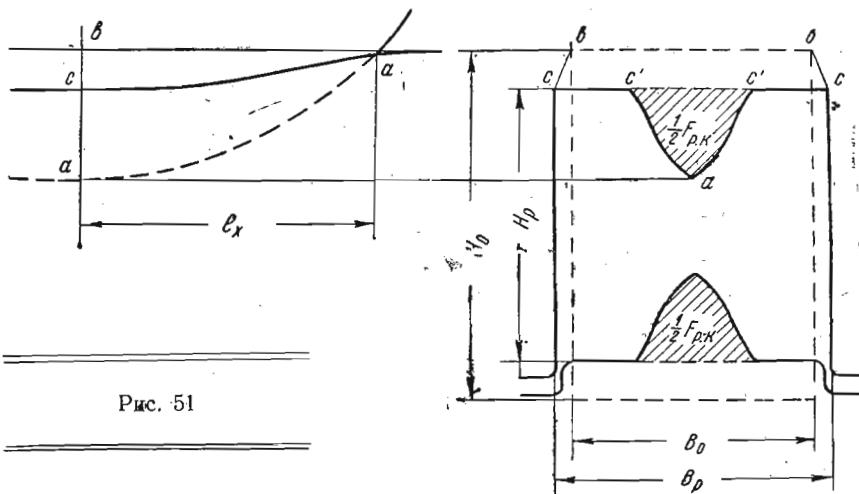


Рис. 51

Приравнивая указанные объемы, получаем:

$$\frac{1}{3} F_{p.k} l_x = \frac{1}{2} (H_0 - H_p) B_{cp} l_x$$

откуда

$$H_0 = \frac{2}{3} \frac{F_{p.k}}{B_{cp}} + H_p \quad (26)$$

Эта формула для определения высоты заготовки в разрезном калибре весьма проста, удобна для практического пользования, и результаты расчета по ней хорошо согласуются с опытными данными.

Следует указать, что коэффициент  $2/3$  в формуле (26) соответствует разрезным калибрам с острыми разрезными клиньями. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов

ми. С увеличением притупления клиньев коэффициент возрастает и при угле наклона боковых граней, равном  $90^\circ$ , достигает единицы\*.

В качестве примера приведем расчет заготовки по рис. 45.

Принимая, с некоторым стеснением, уширение в разрезном калибре

$$\Delta b = 8 \text{ мм},$$

получаем

$$B_0 = B_p - \Delta b = 122 - 8 = 114 \text{ мм.}$$

Площадь разрезных клиньев

$$F_{\text{р.к}} = \frac{1}{2} 50 \cdot 58 + \frac{14 + 72}{2} 58 = 3940 \text{ мм}^2,$$

средняя ширина полосы в очаге деформации

$$B_{\text{ср}} = \frac{B_0 + B_p}{2} = \frac{114 + 122}{2} = 118 \text{ мм.}$$

Требуемая высота заготовки

$$H_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{\text{р.к}}}{B_{\text{ср}}} + H_p = \frac{2}{3} \cdot \frac{3940}{118} + 152 = 174 \text{ мм.}$$

Высота заготовки, рассчитанная по этим формулам, обычно ниже, чем по Тафелю, но выше, чем по Мутьеву, Экелунду или имеющихся примерах американских калибровок по методу Лендла. Но американские калибровки тем и отличаются, что высота фланцев в последующих калибрах берется с большим запасом, и разрезной калибр, как правило, получается с избытком высоты. Понятно, что при таких условиях недовыполнение разрезного калибра не может существенно сказаться на выполнении размеров фланцев конечного профиля. Отметим, что

\* Для калибров с гребнями, имеющими значительные притупления (подобно изображенным на рис. 38 и 40), высоту исходной заготовки лучше определять по более общей формуле:

$$H_0 = \frac{\left(2 + \frac{B_p - 2b}{B_p - 2a}\right) \cdot F_{\text{р.к}}}{3 B_{\text{ср}}} + H_p, \quad (26a)$$

где  $a$  и  $b$  — толщина фланцев у основания и на конце; в случае несимметричного калибра величины  $a$  и  $b$  определяются как средние между размерами верхних и нижних фланцев

$$a = \frac{a_v + a_n}{2}; \quad b = \frac{b_v + b_n}{2}$$

американские калибровки балок рассчитаны на заготовку, превышающую высоту конечного профиля в 2,25 раза и выше, тогда как калибровки, построенные по предлагаемому методу, имеют отношение высоты заготовки к высоте конечного профиля меньше 2. Последнее является существенным преимуществом, так как способствует уменьшению обжатий и общему сокращению расхода энергии на прокатку.

### Уширение в разрезных калибрах

Прокатка в разрезных калибрах ведется, как правило, со значительным стеснением. Неравномерная деформация в калибре создает значительное вынужденное уширение средней части, определение примерной величины которого рассмотрено выше.

Почти все авторы указывают, что с возрастанием степени стеснения в калибре увеличивается и высота получающихся фланцев. Указанное обстоятельство хорошо подтверждается данными практики.

В связи с этим ширина заготовки, задаваемой в разрезной калибр, должна незначительно отличаться от ширины самого калибра. Не следует, однако, забывать, что с увеличением степени стеснения быстро возрастает расход энергии на прокатку и увеличивается износ калибра.

Ширину заготовки можно определить так:

$$B_0 = B_{\text{р.мин}} - (0 \div 10) \text{ мм}, \quad (27)$$

где  $B_{\text{р.мин}}$  — минимальная ширина калибра (рис. 52).

Такого соотношения можно придерживаться при практической калибровке.

В заключение можно указать, что в значительном большинстве случаев высота и ширина заготовки, задаваемой в разрезной калибр, сравнительно легко и просто может корректироваться непосредственно на стане в процессе прокатки, что значительно упрощает работу калибровщика и позволяет быстро исправить допущенные ошибки.

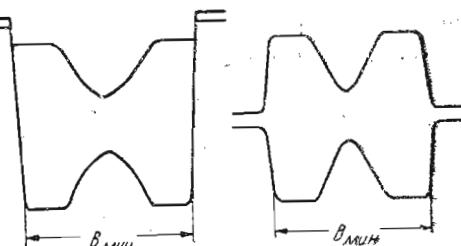


Рис. 52

## 15. Пример калибровки балки № 16

Дано:

1. Стан 500 шахматного типа с последовательным расположением клетей; число клетей 9; диаметр валков в клетях I—IV,  $D_0 = 630 \text{ мм}$ , в клетях V—IX  $D_0 = 540 \text{ мм}$ .

2. Размеры холодного профиля балки № 16:  $B = 160 \text{ мм}$ \*,  $H = 88 \text{ мм}$ ,  $t = 9,9 \text{ мм}$ ; уклон внутренних граней полок 1:6.

Для расчета калибровки принимаем следующие коэффициенты деформации по пропускам \*\*:  $\kappa_{10} = 1,0$ ;  $\kappa_9 = 1,1$ ;  $\kappa_8 = 1,18$ ;  $\kappa_7 = 1,25$ ;  $\kappa_6 = 1,33$ ;  $\kappa_5 = 1,4$ ;  $\kappa_4 = 1,5$ ;  $\kappa_3 = 1,6$ . Имея в виду делать в каждой клети один пропуск, обозначаем номер пропуска номером соответствующей клети.

### Клеть IX

Размеры профиля в клети IX должны соответствовать горячим размерам профиля балки.

Принимая коэффициент усадки равным 10,13, получаем:

$$B' = 160 \cdot 1,013 = 162 \text{ мм};$$

$$H' = 88 \cdot 1,013 = 89,2 \text{ мм};$$

$$t' = 9,9 \cdot 1,013 = 10,0 \text{ мм};$$

$$d' = 6,0 \cdot 1,013 = 6,07 \text{ мм.}$$

Определяем некоторые дополнительные размеры. Высота фланцев

$$h'_3 = h'_0 = \frac{H' - d'}{2} = \frac{89,2 - 6,07}{2} = 41,6 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_0 = b'_3 = t' + \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 + \frac{41,6}{2} \cdot \frac{1}{6} = 13,47 \approx 13,5 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_0 = a'_3 = t' - \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 - \frac{41,6}{2} \cdot \frac{1}{6} = 6,66 \approx 6,7 \text{ мм.}$$

\* В соответствии с характером работы балок в сортаменте приняты обозначения, отличные от наших, а именно:  $B$  соответствует  $h$  и  $H$  соответственно  $b$ .

\*\* Коэффициенты взяты из практики работы стана 500.

Площадь каждого фланца

$$F'_0 = F'_3 \frac{a' + b'}{2} \cdot h' = \frac{13,5 + 6,7}{2} \cdot 41,6 = 420 \text{ мм}^2.$$

Площадь шейки

$$F' = B' \cdot d' = 162 \cdot 6,07 = 982 \text{ мм}^2.$$

Площадь профиля без учета радиусов закругления

$$F' = F_{\text{ш}} + 4F'_0 = 982 + 4 \cdot 420 = 2662 \text{ мм}^2.$$

### Клеть VIII

Расчет калибра для восьмого пропуска производим при коэффициенте обжатия в девятом пропуске

$$k = 1,1.$$

Тогда толщина шейки в восьмом калибре

$$d' = d \cdot k = 6,07 \cdot 1,1 = 6,68 \text{ мм.}$$

Для определения утяжки фланцев и приращения их высоты необходимо знать катящие диаметры валков. Поскольку наибольшая утяжка получается при тонких валках (наиболее неблагоприятный случай при настройке стана), то расчет будем вести при условии прокатки на изношенных (переточенных) валках. Принимая минимально допустимый размер переточенных валков в 0,9  $D$ , имеем

$$D_{\text{ш}} = 0,9D - d = 0,9 \cdot 540 - 6,07 \approx 480 \text{ мм.}$$

Высоту искомого открытого фланца для восьмого пропуска определяем по формуле (4):

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{480 \cdot 41,6}{480 - 41,6} = 45,6 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в закрытом фланце девятого калибра

$$\eta_3 = \frac{h'_{\text{c.o}}}{h_{\text{c.3}}} = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{45,6 + \frac{6,68}{2}}{41,6 + \frac{6,07}{2}} = 1,1.$$

Коэффициент обжатия толщины в закрытом калибре

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,1}{1,1} = 1,0.$$

Высота искомого закрытого калибра восьмого пропуска определяется по формуле (3)

$$h'_3 = \frac{D_{ш} \cdot h_0}{D_{ш} + d} = \frac{480 \cdot 41,6}{480 + 6,07} = 41,1 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в открытом фланце девятого калибра

$$\eta_0 = \frac{h'_{c,3}}{h_{c,0}} = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{41,1 + \frac{6,68}{2}}{41,6 + \frac{6,07}{2}} = 0,998 \approx 1.$$

Коэффициент обжатия по толщине в открытом фланце девятого калибра

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,1}{1,0} = 1,1.$$

По найденным коэффициентам обжатий определяем толщину фланцев.

Открытый фланец. Толщина фланца у основания в искомом калибре

$$b'_0 = b_3 \cdot \lambda_3 = 13,5 \cdot 1,0 = 13,5 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце в искомом калибре

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_0 (b_0 + a_0) \frac{h'_3}{h'_0} - \lambda_3 (b_3 - a_3) \right] = \\ = \frac{1}{2} \left[ 1,1 (13,5 + 6,7) \frac{41,1}{45,6} - 1,0 (13,5 - 6,7) \right] = 6,6 \text{ мм}$$

(как уже указывалось выше в § 9, рассчитанная величина должна получиться меньше, чем  $a_3 \cdot \lambda_3 = 6,7 \cdot 1,0 = 6,7 \text{ мм}$ ).

Площадь искомого открытого фланца

$$F'_0 = \frac{b'_0 + a'_0}{2} \cdot h'_0 = \frac{13,5 + 6,6}{2} \cdot 45,6 = 459 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Толщина фланца у основания в искомом калибре

$$b'_3 = b_0 \cdot \lambda_0 = 13,5 \cdot 1,1 = 14,8 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце в искомом калибре

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_3 (b_3 + a_3) \frac{h'_0}{h'_3} - \lambda_0 (b_0 - a_0) \right] = \\ = -\frac{1}{2} \left[ 1,0 (13,5 + 6,7) \frac{45,6}{41,1} - 1,1 (13,5 - 6,7) \right] = 7,47 \text{ мм.}$$

(Рассчитанная величина должна получиться больше, чем  $a_0 \cdot \lambda_0 = 6,7 \cdot 1,1 = 7,36$ ).

Площадь искомого закрытого фланца

$$F'_3 = \frac{b'_3 + a'_3}{2} h'_3 = \frac{14,8 + 7,47}{2} \cdot 41,1 = 457 \text{ мм}^2.$$

(Площадь  $F'_3$  должна равняться площади  $F'_0$ , получившейся неизначительное расхождение объясняется округлениями при расчете).

Шейка. Толщина шейки

$$d' = d \cdot k = 6,07 \cdot 1,1 = 6,68 \text{ мм.}$$

Задаемся уширением в калибре

$$\Delta b = 1,5 \text{ мм},$$

тогда ширина шейки искомого калибра

$$B' = B - \Delta b = 162 - 1,5 = 160,5 \text{ мм.}$$

Площадь шейки

$$F'_ш = B' d' = 160,5 \cdot 6,68 = 1072 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F' = 2(F'_0 + F'_3) + F'_ш = 2(459 + 457) + 1072 = 2900 \text{ мм}^2.$$

Поскольку при расчете калибра мы исходим из одинакового коэффициента обжатия для всех частей профиля, то действительную ширину искомого (восьмого) калибра можно определить из уравнения (12):

$$B' = \frac{B \cdot F''}{k \cdot F} = \frac{162 \cdot 2900}{1,1 \cdot 2662} = 160,5.$$

Полученная ширина соответствует заданному уширению, и потому перерасчета производить не следует.

## Клеть VII

Расчетный коэффициент обжатия для искомого калибра принят

$$k = 1,18.$$

Толщина шейки искомого калибра

$$d' = d \cdot k = 6,68 \cdot 1,18 = 7,97 \text{ мм} \approx 8,0 \text{ мм.}$$

Высота искомого открытого фланца

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(486 - 6,68) \cdot 41,1}{(486 - 6,68) - 41,1} = 44,8 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в закрытом фланце восьмого калибра

$$\eta_3 = \frac{h'_{c,0}}{h_{c,3}} = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{44,8 + \frac{8,0}{2}}{41,1 + \frac{6,68}{2}} = 1,1,$$

а коэффициент обжатия толщины

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,18}{1,1} = 1,07.$$

Высота искомого закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{(486 - 6,68) \cdot 45,6}{(486 - 6,68) + 6,68} = 45,0 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в открытом фланце восьмого калибра

$$\eta_0 = \frac{h'_{c,3}}{h_{c,0}} = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{45,0 + \frac{8}{2}}{45,6 + \frac{6,68}{2}} = 1,0,$$

а коэффициент обжатия толщины

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,18}{1,0} = 1,18.$$

По найденным коэффициентам обжатий определяем толщину фланцев искомого калибра клети VII.

Открытый фланец. Толщина фланца у основания

$$b'_0 = b_3 \cdot \lambda_3 = 14,8 \cdot 1,07 = 15,8 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_0 (b_0 + a_0) \frac{\frac{h'_3}{h'_0}}{h'_0} - \lambda_3 (b_3 - a_3) \right] = \\ = \frac{1}{2} \left[ 1,18 (13,5 + 6,6) \frac{45}{44,8} - 1,07 \cdot (14,8 - 7,47) \right] = 7,94 \text{ мм.}$$

Площадь фланца

$$F'_0 = \frac{b'_0 + a'_0}{2} \quad h'_0 = \frac{15,8 + 7,94}{2} \cdot 44,8 = 533 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Толщина фланца у основания

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 13,5 \cdot 1,18 = 15,9 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_3 (b_3 + a_3) \frac{\frac{h'_0}{h'_3}}{h'_3} - \lambda_0 (b_0 - a_0) \right] = \\ = \frac{1}{2} \left[ 1,07 (14,8 + 7,47) \frac{44,8}{45,0} - 1,18 \cdot (13,5 - 6,6) \right] = 7,8 \text{ мм.}$$

Площадь фланца

$$F'_3 = \frac{b'_3 + a'_3}{2} \quad h'_3 = \frac{15,9 + 7,8}{2} \cdot 45,0 = 533 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся уширением шейки \*.

$$\Delta b = 2,5 \text{ мм.}$$

Ширина шейки

$$B' = B - \Delta b = 160,5 - 2,5 = 158 \text{ мм.}$$

Площадь шейки

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 158 \cdot 8 = 1264 \text{ мм.}$$

Площадь всего калибра

$$F' = 4 F'_0 + F'_{\text{ш}} = 4 \cdot 533 + 1264 = 3390 \text{ мм}^2.$$

\* Предварительное определение  $\Delta b$  производится по формуле (13).

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{BF'}{kF} = \frac{160,5 \cdot 3390}{1,18 \cdot 2900} = 158,5 \text{ мм.}$$

Вследствие незначительности отклонения перерасчета не требуется.

### Клеть VI

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,25.$$

Продолжая подсчеты по тем же формулам, получаем:

Толщина шейки

$$d' = 8 \cdot 1,25 = 10,0 \text{ мм.}$$

Высота искомого открытого фланца

$$h'_o = \frac{(486 - 8) \cdot 45}{(486 - 8) - 45} = 49,7 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты открытого фланца

$$\eta_3 = \frac{49,7 + \frac{10}{2}}{45,0 + \frac{8}{2}} = 1,12.$$

Коэффициент обжатия толщины открытого фланца

$$\lambda_3 = \frac{1,25}{1,12} = 1,115.$$

Высота искомого закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{(486 - 8) \cdot 44,8}{(486 - 8) + 8,0} = 44 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты закрытого фланца

$$\eta'_o = \frac{44,0 + \frac{10}{2}}{44,8 + \frac{8}{2}} = 1.$$

Коэффициент обжатия толщины закрытого фланца

$$\lambda_o = \frac{1,25}{1,0} = 1,25.$$

По найденным коэффициентам вычисляем толщину фланцев.

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_o = 15,9 \cdot 1,115 = 17,7 \text{ мм};$$

$$a'_o = \frac{1}{2} \left[ 1,25 (15,8 + 7,94) \frac{44}{49,7} - 1,115 (15,9 - 7,8) \right] = 8,63 \text{ мм};$$

$$F'_o = \frac{17,7 + 8,63}{2} 49,7 = 653 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = 15,8 \cdot 1,25 = 19,7 \text{ мм},$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,115 (15,9 + 7,8) \frac{49,7}{44,0} - 1,25 (15,8 - 7,94) \right] = 10 \text{ мм.}$$

$$F'_3 = \frac{19,7 + 10,0}{2} \cdot 44 = 653 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Принимаем уширение  $\Delta b = 3,5 \text{ мм}$ :

$$B' = 158,5 - 3,5 = 155 \text{ мм},$$

$$F'_{ш} = 155 \cdot 10 = 1550 \text{ мм}^2.$$

Площадь калибра

$$F' = 4 \cdot 653 + 1550 = 4160 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{158,5 \cdot 4160}{1,25 \cdot 3390} = 155,5 \text{ мм.}$$

Пересчета делать не нужно.

### Клеть V

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,33.$$

Толщина шейки искомого калибра

$$d' = 10 \cdot 1,33 = 13,3 \text{ мм.}$$

Высота открытого фланца

$$h'_o = \frac{(486 - 10) \cdot 44}{(486 - 10) - 44} = 48,5 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты открытого фланца

$$\eta_0 = \frac{48,5 + \frac{13,3}{2}}{44 + \frac{10}{2}} = 1,13.$$

Коэффициент обжатия толщины открытого фланца

$$\lambda_3 = \frac{1,33}{1,13} = 1,175.$$

Высота закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{(486 - 10) \cdot 49,7}{(486 - 10) + 10} = 48,6 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты закрытого фланца

$$\eta_0 = \frac{48,6 + \frac{13,3}{2}}{49,7 + \frac{10}{2}} = 1,01.$$

Коэффициент обжатия толщины закрытого фланца

$$\lambda_0 = \frac{1,33}{1,01} = 1,32.$$

По найденным коэффициентам находим толщину фланцев.  
Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = 19,7 \cdot 1,175 = 23,2 \text{ мм;}$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ 1,32(17,7 + 8,63) \frac{48,6}{48,5} - 1,175(19,7 - 10) \right] = 11,7 \text{ мм;}$$

$$F'_0 = \frac{23,2 + 11,7}{2} \cdot 48,5 = 845 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = 17,7 \cdot 1,32 = 23,4 \text{ мм;}$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,175(19,7 + 10,0) \frac{48,5}{48,6} - 1,32(17,7 + 8,63) \right] = 11,4 \text{ мм;}$$

$$F'_s = \frac{23,4 + 11,4}{2} \cdot 48,6 = 845 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся уширением

$$\Delta b = 4,5 \text{ мм;}$$

$$B' = 155,5 - 4,5 = 151 \text{ мм;}$$

$$I'_w = 151 \cdot 13,3 = 2010 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F' = 4 \cdot 845 + 2010 = 5390 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{155,5 \cdot 5390}{1,33 \cdot 4160} = 151,5 \text{ мм.}$$

Перерасчета не требуется.

#### Клеть IV

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,4.$$

Толщина шейки калибра

$$d' = 13,3 \cdot 1,4 = 18,6 \text{ мм.}$$

Высота открытого фланца

$$h'_0 = \frac{(486 - 13,3) \cdot 48,6}{(486 - 13,3) - 48,6} = 54,0 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты открытого фланца

$$\eta_0 = \frac{54 + \frac{18,6}{2}}{48,6 + \frac{13,3}{2}} = 1,145.$$

Коэффициент обжатия толщины открытого фланца

$$\lambda_3 = \frac{1,4}{1,145} = 1,22.$$

Высота закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{(486 - 13,3) \cdot 48,5}{(486 - 13,3) + 13,3} = 47,1 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты закрытого фланца

$$\eta_0 = \frac{\frac{47,1 + 18,6}{2}}{\frac{48,5 + 13,3}{2}} = 1,02,$$

коэффициент обжатия толщины закрытого фланца

$$\lambda_0 = \frac{1,4}{1,02} = 1,37.$$

По найденным коэффициентам находим толщину фланцев.  
Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = 23,4 \cdot 1,22 = 28,6 \text{ мм};$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ 1,37(23,2 + 11,7) \frac{47,1}{54} - 1,22(23,4 - 11,4) \right] = 13,5 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{28,6 + 13,5}{2} \cdot 54 = 1138 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = 23,2 \cdot 1,37 = 31,8 \text{ мм};$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,22(23,4 + 11,4) \frac{54}{47,1} - 1,37(23,2 - 11,7) \right] = 16,5 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{31,8 + 16,5}{2} \cdot 47,1 = 1138 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся уширением в калибре

$$\Delta b = 5,5 \text{ мм}$$

$$B' = 151,5 - 5,5 = 146 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = 146 \cdot 18,6 = 2710 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F = 4 \cdot 1138 + 2710 = 7260 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{151,5 \cdot 7260}{1,4 \cdot 5390} = 146 \text{ мм.}$$

### Клеть III

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,5.$$

Толщина шейки

$$d' = 18,6 \cdot 1,5 = 27,9 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр валков для 1—4 клетей

$$D = 630 - 0,1 \cdot 630 = 567 \text{ мм.}$$

Высота открытого фланца \*

$$h'_0 = \frac{(567 - 18,6) \cdot 47,1}{(567 - 18,6) - 47,1} = 51,6 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты открытого фланца

$$\eta_0 = \frac{51,6 + \frac{27,9}{2}}{47,1 + \frac{18,6}{2}} = 1,16.$$

Коэффициент обжатия толщины открытого фланца

$$\lambda_0 = \frac{1,5}{1,16} = 1,3.$$

Высота закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{(567 - 18,6) \cdot 54,0}{(567 - 18,6) + 18,6} = 52,2 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты закрытого фланца

$$\eta_3 = \frac{52,2 + \frac{27,9}{2}}{54,0 + \frac{18,6}{2}} = 1,05.$$

\* Следует заметить, что определение высоты фланцев по уравнениям (3) и (4) для разрезного калибра и следующего за ним не является вполне точным, так как положение о выходе полосы со скоростью, равной  $v_{\text{ш}}$ , на основании которой выведены упомянутые формулы, для этих калибров будет неточным. Однако практика калибровки показывает, что допускаемая в данном случае ошибка не является настолько существенной, чтобы ради нее создавать для первых калибров особую систему расчета, что повело бы к усложнению всего метода.

Коэффициент обжатия толщины закрытого фланца

$$\lambda_3 = \frac{1,5}{1,05} = 1,43.$$

По найденным коэффициентам рассчитываем толщину фланцев.  
Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = 31,8 \cdot 1,3 = 41,3 \text{ мм.}$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ 1,43(28,6 + 13,5) \frac{52,2}{51,6} - 1,3(31,8 - 16,5) \right] = 20,5 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{41,3 + 20,5}{2} \cdot 51,6 = 1590 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = 28,6 \cdot 1,43 = 40,9 \text{ мм};$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,3(31,8 + 16,5) \frac{51,6}{52,2} - 1,43(28,6 - 13,5) \right] = 20,2 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{40,9 + 20,2}{2} \cdot 52,2 = 1590 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся уширением в калибре

$$\Delta b = 6,5 \text{ мм};$$

$$B'' = 146 - 6,5 = 139,5 \text{ мм};$$

$$F''_{\text{ш}} = 139,5 \cdot 27,9 = 3890 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F' = 4 \cdot 1590 + 3890 = 10250 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{146 \cdot 10250}{1,5 \cdot 7260} = 137,0 \text{ мм.}$$

Делаем перерасчет. Задаемся

$$\Delta b = 8 \text{ мм};$$

$$B'' = 146 - 8 = 138 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = 138 \cdot 27,9 = 3850 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F' = 4 \cdot 1590 + 3850 = 10210 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина шейки

$$B' = \frac{146 \cdot 10210}{1,5 \cdot 7260} = 137 \text{ мм.}$$

Больше пересчета не требуется.

## Клеть II

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,6.$$

Толщина шейки

$$d' = 27,9 \cdot 1,6 = 44,5 \text{ мм.}$$

Высота открытого фланца

$$h'_0 = \frac{(567 - 27,9) \cdot 52,2}{(567 - 27,9) - 52,2} = 57,8 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты открытого фланца

$$\eta_3 = \frac{57,8 + \frac{44,5}{2}}{52,2 + \frac{27,9}{2}} = 1,21$$

Коэффициент обжатия толщины открытого фланца

$$\lambda_3 = \frac{1,6}{1,21} = 1,32.$$

Высота закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{(567 - 27,9) \cdot 51,6}{(567 - 27,9) + 27,9} = 49,1 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты закрытого фланца

$$\eta_0 = \frac{49,1 + \frac{44,5}{2}}{51,6 + \frac{27,9}{2}} = 1,09.$$

Коэффициент обжатия толщины закрытого фланца

$$\lambda_0 = \frac{1,6}{1,09} = 1,47.$$

По найденным коэффициентам вычисляем толщину фланцев.

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_o = 40,9 \cdot 1,32 = 54 \text{ мм};$$

$$a'_o = \frac{1}{2} \left[ 1,47(41,3 + 20,5) \frac{49,1}{57,8} - 1,32(40,9 - 20,2) \right] = 25 \text{ мм};$$

$$F'_o = \frac{54 + 25}{2} \cdot 57,8 = 2280 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_s = 41,3 \cdot 1,47 = 60,8 \text{ мм};$$

$$a'_s = \frac{1}{2} \left[ 1,32(40,9 + 20,2) \frac{57,8}{49,1} - 1,47(41,3 - 20,5) \right] = 32,2 \text{ мм};$$

$$F'_s = \frac{60,8 + 32,2}{2} \cdot 49,1 = 2280 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся уширением

$$\Delta b = 13 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 137 - 13 = 124 \text{ мм};$$

$$F'_w = 124 \cdot 44,5 = 5520 \text{ мм}^2;$$

$$F' = 4 \cdot 2280 + 5520 = 14640 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{137 \cdot 14640}{1,6 \cdot 10200} = 123 \text{ мм.}$$

Так как сумма толщины фланцев у основания со стороны закрытого калибра

$$2b'_s = 2 \cdot 60,8 = 121,6 \text{ мм}$$

почти соответствует ширине калибра

$$B' = 123 \text{ мм},$$

то расчет фасонных калибров на этом заканчивается.

Следовательно, найденный калибр клети 2 будет являться первым фасонным пропуском, т. е. разрезным калибром.

Все полученные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Калибровка балки № 16 по методу Б. П. Бахтинова

(Расчетные данные)

№ калибра	Измерение шага калибра, м	Измерение шага калибра, м	Измерение шага калибра, м	Открытые фланцы				Закрытые фланцы				Шейка							
				положение	$h_o$	$b_o$	$a_o$	$\eta_o$	$\lambda_o$	$F_o$	положение	$h_s$	$b_s$	$a_s$	$\eta_s$	$\lambda_s$	$F_s$		
IX	1,1	2662	Верхние	41,6	13,5	6,7	1,0	1,1	420	Нижние	41,6	13,5	6,7	1,10	1,0	420	6,07	162	982
VIII	1,18	2900	Нижние	45,6	13,5	6,6	1,0	1,18	459	Верхние	41,1	14,8	7,47	1,10	1,07	457	6,68	160,5	1072
VII	1,25	3390	Верхние	44,8	15,8	7,94	1,0	1,25	533	Нижние	45,0	15,9	7,8	1,12	1,115	533	8,0	158,5	1264
VI	1,33	4160	Нижние	49,7	17,7	8,63	1,01	1,32	653	Верхние	44,0	19,7	10,0	1,13	1,175	653	10,0	155,5	1550
V	1,4	5390	Верхние	48,5	23,2	11,7	1,02	1,37	847	Нижние	48,6	23,4	11,4	1,145	1,22	847	13,3	151,5	2010
IV	1,5	7260	Нижние	54,0	28,6	13,5	1,05	1,43	1138	Верхние	47,1	31,8	16,5	1,16	1,3	1138	18,6	146	2710
III	1,6	10200	Верхние	51,6	41,3	20,6	1,09	1,47	1590	Нижние	52,2	40,9	20,2	1,21	1,32	1590	27,9	137	3850
II	—	14640	Нижние	57,8	54,0	25,0	—	—	2280	Верхние	49,1	60,8	32,2	—	—	2280	44,5	123	5520

\* Величина  $h_o$  показывает не действительный размер открытого фланца калибра, а высоту его заполнения.

**Клеть I**

Калибр первой клети должен соответствовать размерам прямогоугольной заготовки, задаваемой в разрезной калибр второй клети.

Задаемся уширением в разрезном калибре

$$\Delta b = 6 \text{ мм.}$$

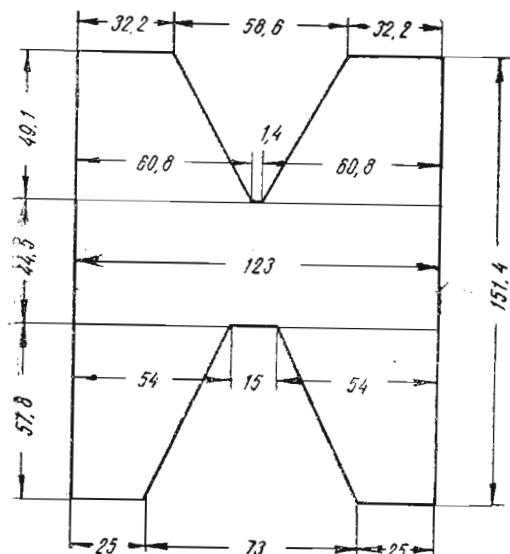


Рис. 53

Тогда ширина заготовки, задаваемой в разрезной калибр,

$$B' = 123 - 6 = 117 \text{ мм.}$$

Высоту заготовки определяем по формуле (26)

$$H_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{\text{р.к}}}{B_c} + H_p$$

Средняя ширина

$$B_c = \frac{B + B'}{2} = \frac{123 + 117}{2} = 120 \text{ мм.}$$

Высота калибра второй клети

$$H_p = h_0 + d + h_3 = 57,8 + 44,5 + 49,1 = 151,4 \text{ мм.}$$

Площадь разрезных клиньев ( $F_{\text{р.к}}$ ) определяем по скелету второго калибра, изображеному на рис. 53.

Площадь верхнего разрезного клина вычисляем как площадь треугольника

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot 49,1 \cdot 58,6 = 1440 \text{ мм}^2.$$

Площадь нижнего разрезного клина находим как площадь трапеции

$$F_h = \frac{73 + 15}{2} \cdot 57,8 = 2540 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь

$$F_{\text{р.к.}} = F_v + F_h = 1440 + 2540 \approx 4000 \text{ мм}^2.$$

Найденная величина  $F_{\text{р.к.}}$  несколько больше действительной, так как при расчете не учтено сокращение площади за счет закруглений.

Однако, как видно из формулы, некоторое превышение  $F_{\text{р.к.}}$  поведет лишь к увеличению  $H_0$ , что не окажет заметного вредного влияния на заполнение разрезного калибра.

Подставляем найденные величины для определения  $H_0$ :

$$H_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{4000}{120} + 151,4 \approx 173 \text{ мм.}$$

Выше (см. § 14) было указано что, суммарная высота разрезных клиньев плюс обжатие фланцев по высоте в разрезном калибре не должны превышать примерно  $\frac{1}{5}$  начального диаметра валков. В настоящем примере мы имеем:

Высота верхнего разрезного клина\* — 43,4 мм.  
Высота нижнего разрезного клина\* — 55 мм.

Обжатие фланцев по высоте

$$173 - 151,4 = 21,6 \text{ мм.}$$

Сумма

$$43,4 + 55 + 21,6 \approx 120 \text{ мм},$$

что больше

$$\frac{1}{5} D = \frac{1}{5} \cdot 567 \approx 113 \text{ мм.}$$

Ясно, что условия захвата во второй клети в данном случае будут осложнены. Это можно показать и другим путем.

\* Найдено из построения калибра (см. ниже рис. 54).

Средняя высота разрезного калибра

$$H_{cp} = \frac{F_p}{B_p} = \frac{14640}{123} = 119 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие в разрезном калиbre

$$\Delta h_{cp} = H_0 - H_{cp} = 173 - 119 = 54 \text{ мм.}$$

Катающий диаметр для новых валков

$$D_k = D_{max} - H_{cp} = 630 - 119 = 511 \text{ мм,}$$

для переточенных валков

$$D_k = D_{min} - H_{cp} = 567 - 119 = 448 \text{ мм.}$$

Угол захвата для новых валков

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \frac{180}{3,14} \sqrt{\frac{54}{255}} \approx 26^\circ,$$

для старых валков

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \frac{180}{3,14} \sqrt{\frac{54}{224}} \approx 28^\circ.$$

Полученные углы захвата больше, чем принято допускать для сортовых станов ( $\sim 24 \div 25^\circ$ ).

Максимальное обжатие для второй клети можно рассчитать, исходя из следующих данных.

Коэффициент трения для стальных валков (по Экелунду)

$$f = 1,05 - 0,0005 T.$$

Принимая  $T = 1200^\circ$ , получаем

$$f = 1,05 - 0,0005 \cdot 1200 = 0,45.$$

Тогда

$$\Delta h_{max} = f^2 R = (0,45)^2 \cdot 255 \approx 52 \text{ мм (для новых валков)*}$$

или

$$\Delta h_{max} = f^2 R = (0,45)^2 \cdot 224 \approx 45,5 \text{ мм (для старых валков).}$$

В практике работы стана выходом явилось предварительное разрезание заготовки при прокатке балки № 16 на заготовочном стане.

\* Полагая  $\operatorname{tg} \alpha_{max} = f$ .

### Исходная заготовка

Прямоугольное сечение  $117 \times 173$  мм должно быть получено в первой клети из квадратного сечения заготовки.

Задаемся уширением в первой клети

$$\Delta b = 10 \text{ мм.}$$

Сторона квадрата заготовки

$$A = 173 - 10 = 163 \text{ мм.}$$

Обжатие в первой клети

$$\Delta h = 163 - 117 = 46 \text{ мм.}$$

Проверяем уширение по формуле Б. П. Бахтинова \*

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R_{\Delta} h} - \frac{\Delta h}{2f} \right),$$

где  $H$  — первоначальная высота полосы;

$R$  — катающий радиус;

$f$  — коэффициент трения.

$$\Delta b = 1,15 \cdot \frac{46}{2 \cdot 163} \left( \sqrt{280 \cdot 46} - \frac{46}{2 \cdot 0,45} \right) = 10,1 \text{ мм.}$$

Пересчета производить не следует.

### 16. Определение окончательных размеров калибров (корректирование размеров)

Полученные расчетом размеры калибров в силу ряда причин, рассматриваемых ниже, не могут быть приняты как окончательные. Валки, расточенные по расчетным размерам, могли бы работать только в том случае, если бы форма калибров на протяжении всей работы оставалась неизменной.

В действительности первоначальная форма калибра в процессе работы стана подвергается значительным изменениям и искажениям, ведущим к постепенному расстройству всей калибровки. С последствиями такого искажения можно успешно бороться, лишь подобрав действительные размеры калибров так, чтобы и в изменившихся условиях деформации отдельных частей профиля иметь возможность получать размеры окончательного продукта в пределах установленных допусков.

Рассмотрим основные причины, ведущие к изменению первоначальных размеров и формы калибра.

\* Вывод этой формулы в настоящем руководстве не приводится.

1. Износ валков вообще и неравномерный износ отдельных частей калибра. Износ валков приводит к постепенному увеличению размеров калибра. Особенность неблагоприятно отражается на калибровке неравномерный износ валков.

Как уже указывалось, открытые фланцы калибра изнашиваются раньше закрытых, что приводит к увеличению деформации в закрытых калибрах и, следовательно, к укорочению их фланцев за счет большей утяжки. Кроме того, замечено, что в шейке и в основаниях фланцев калибры вырабатываются несколько быстрее, чем на концах фланцев; это, очевидно, объясняется большими абсолютными обжатиями в указанных частях профиля.

2. Неточности в настройке стана. Даже при самом внимательном отношении мастера и бригады, обслуживающей стан, к настройке и правильной установке калибров, никогда нельзя гарантировать, что размеры зазора между валками, указанные в калибровке, будут с надлежащей точностью выдержаны при настройке. Причина — несовершенство инструментов, которыми пользуются при настройке стана, и неопределенность при выборе пружины валков, размеры которой зависят от большого количества изменяющихся факторов, не поддающихся точному определению.

Как показывает практика работы, при прокатке балок, швеллеров и рельсов наибольшее количество трудностей при настройке стана связано с получением надлежащей высоты фланцев готового профиля.

Причиной невыполнения фланцев является износ калибров или чаще всего чрезмерное обжатие шейки в каком-либо из калибров, ведущее к резкой утяжке фланцев. Так, если в калибр седьмой клети будет поступать полоса, имеющая шейку на 1 мм толще расчетной (вследствие неправильной настройки предыдущей по ходу прокатки клети), то коэффициент обжатия высоты в закрытых фланцах увеличится с

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{49,7 + \frac{10}{2}}{45,0 + \frac{8}{2}} = 1,116^*$$

\* Расхождение с имеющимся в расчете получается вследствие округлений (см. пример калибровки балки № 16).

до

$$\eta_3 = \frac{49,7 + \frac{10 + 1}{2}}{45,0 + \frac{8}{2}} = 1,126,$$

а коэффициент обжатия толщины в закрытых фланцах увеличивается с

$$\lambda_3 = \frac{b'_0}{b_3} = \frac{17,7}{15,9} = 1,115$$

до

$$\lambda_3 = \frac{b'_0 + \Delta \cdot \operatorname{tg} \alpha}{b_3} = \frac{17,7 + 0,5 \cdot 0,18}{15,9} = 1,12,$$

где  $\Delta \cdot \operatorname{tg} \alpha$  — приращение толщины основания фланца;  
 $\Delta$  — приращение фланца в высоту, равное  $\frac{1,0}{2} = 0,5 \text{ мм}$   
 $\alpha$  — угол наклона внутренних граней фланца, определяемый из равенства:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_3 - a_3}{h_3} = \frac{15,9 - 7,8}{45,0} = 0,18.$$

Общий коэффициент обжатия фланца увеличится с

$$k_3 = \eta_3 \lambda_3 = 1,116 \cdot 1,115 = 1,245^*$$

до

$$k_3 = 1,126 \cdot 1,12 = 1,26,$$

т. е. на

$$\frac{1,26 - 1,245}{1,245} \cdot 100 = 1,2\%.$$

Общий коэффициент обжатия шейки увеличится с

$$k_w = \frac{d'}{d} = \frac{10}{8} = 1,25$$

до

$$k_w = \frac{10 + 1}{8} = 1,375,$$

т. е. на

$$\frac{1,375 - 1,25}{1,25} \cdot 100 = 10\%.$$

\* Расхождение с имеющимся в расчете получается вследствие округлений.

Ясно, что такая неравномерность в увеличении обжатий шейки и фланцев вызовет значительную утяжку последних, которую вряд ли удастся компенсировать вплоть до получения готового профиля.

3. Переточка валков. Незначительный уклон наружных стенок чистового калибра фланцевых профилей не позволяет при переточке валков сохранять прежнюю ширину калибра.

Так, при обычном для чистовых калибров уклоне в 0,5% снятие слоя в 0,75 мм, при условии сохранения ширины калибра, должно вызвать сокращение диаметра валка на

$$2 \cdot \frac{0,75}{0,5} \cdot 100 = 300 \text{ мм},$$

что, конечно, совершенно недопустимо.

Поэтому переточки калибров осуществляются за счет допуска калибра по ширине. На новых валках вытачивается калибр, соответствующий минимально допустимой ширине готового профиля. После нескольких переточек ширина калибра достигает номинального размера, затем превышает его. При достижении ширины, равной номинальному размеру плюс допуск, калибр является непригодным для дальнейшей работы.

Изменение ширины калибра несколько искажает те данные, которые получаются при его расчете. Например, уширение в калиbre может оказаться несколько больше принятого, меняется также величина площади шейки и общей площади калибра. Впрочем, на расстройстве стана указанные изменения обычно сказываются весьма незначительно.

Ниже на конкретном примере показано, какие меры может принять калибровщик для облегчения настройки стана, уменьшения вредных последствий ошибок при настройке и сокращения влияния неравномерного износа валков на продолжительность службы калибров.

При корректировании размеров калибров необходимо еще учесть допускаемые отклонения в отдельных частях профиля, изменения ширины калибра по высоте вследствие наличия выпусков и некоторые дополнительные обстоятельства, не учтенные при предварительном расчете.

Для пояснения изложенного выше определим окончательные размеры калибров для прокатки балки № 16, полученные в приведенном выше примере.

На рис. 54 представлены окончательные размеры калибров для прокатки балки № 16. Для удобства сравнения в скобках приведены размеры, полученные расчетом.

Ширина калибров. Согласно сказанному выше, ширину чистового калибра для новых валков уменьшаем на величину допуска (2 мм), тогда:

ширина калибра клети IX:

$$162 - 2 = 160 \text{ мм},$$

ширина калибра клети VIII:

$$160,5 - 2 = 158,5 \text{ мм},$$

ширина калибра клети VII:

$$158,5 - 2 = 156,5 \text{ мм}$$

и т. д.

Рассуждая строго, к полученным размерам необходимо добавить допуск на изготовление шаблонов (примерно 0,2 мм), но так как при вытачивании калибра токарь обычно добивается свободного прохождения шаблона через калибр, указанной величиной можно пренебречь.

Толщина шейки. Для сохранения равенства коэффициентов деформации толщину шейки оставляем неизменной\*. Размеры 6,07 и 6,68 (клети IX и VIII) соответственно округляем до 6,1 и 6,7 мм.

Высота фланцев. Как уже указывалось, вследствие неравномерности износа отдельных частей калибра в процессе работы длина закрытых фланцев уменьшается, а открытых увеличивается. Предусматривая это, корректируем высоту фланцев таким образом, чтобы в начальный момент прокатки (при новом калибре) закрытые фланцы клети IX имели максимально допустимую высоту.

С этой целью размер закрытых фланцев клети IX увеличиваем на половину величины допуска

$$h_3' = 41,6 + \frac{1,3}{2} \approx 42,2 \text{ мм},$$

где 1,3 — максимально допустимое увеличение ширины полки.

\*Некоторые калибровщики с целью облегчения настройки и для предупреждения случаев большей вытяжки в шейке, чем во фланцах, стремятся уменьшать обжатие в шейке и тем предотвратить утяжку фланцев, хотя бы за счет неравномерной деформации. На наш взгляд, такой прием можно оправдать только при недостаточном изучении стана, для которого делается калибровка. В таком случае для рассматриваемого примера надо было бы применять постепенное уменьшение толщины шейки по сравнению с расчетными данными. Например, для клетки VIII — 6,6 мм; для клети VII — 7,8 мм; для клети VI — 9,6 мм; для клети V — 12,7 мм; для клети IV — 17,8 мм и т. д.

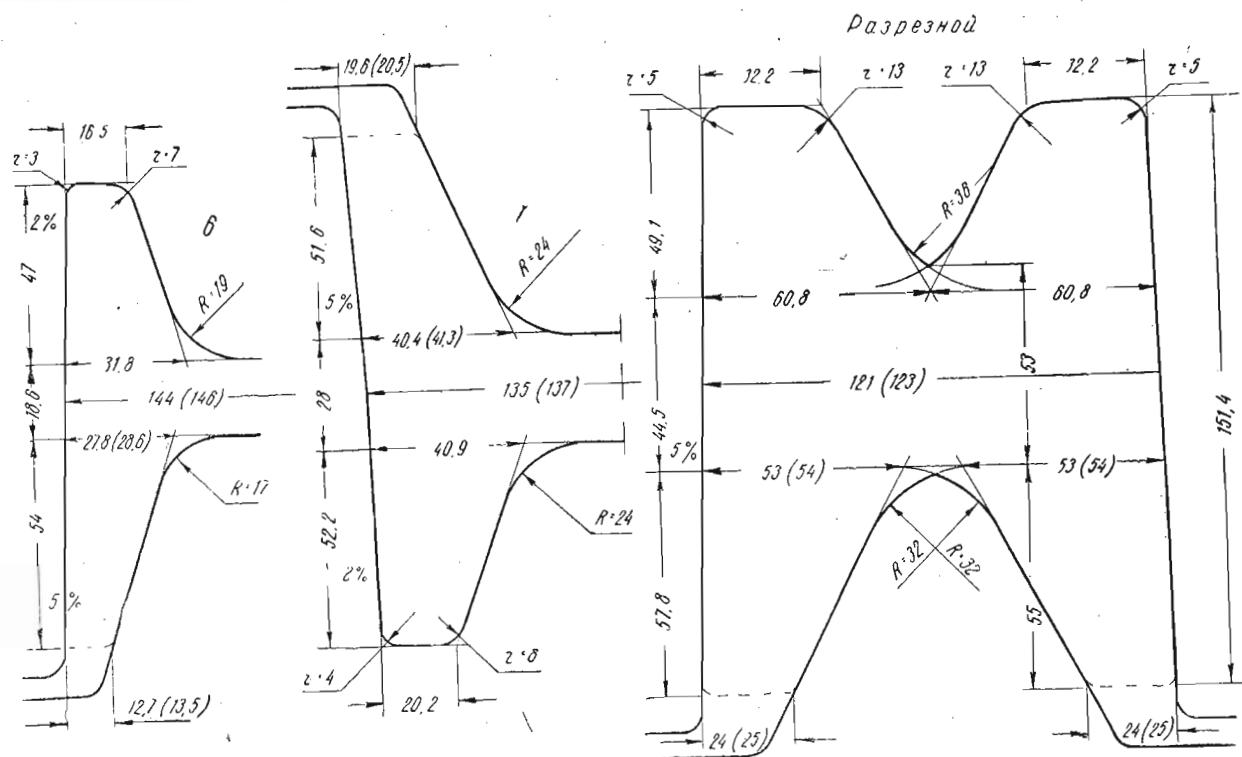
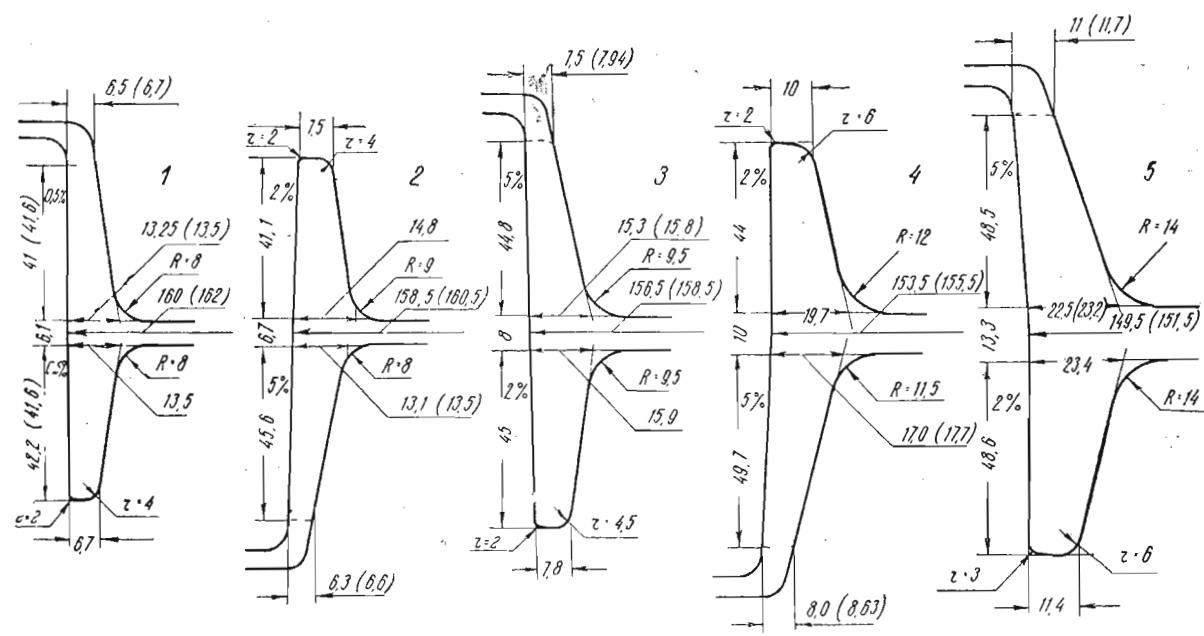


Рис. 54

Высоту закрытых фланцев клети VIII и последующих оставляем без изменений.

После корректирования заданные размеры высоты фланцев калибров клети IX вначале искажаются в одну сторону (закрытые фланцы больше, а открытые меньше расчетных), затем в процессе работы достигают номинальных (расчетные) величин и в дальнейшем получают искажение в другую сторону, до тех пор, пока отклонения не превзойдут допускаемых, после чего производится смена калибра.

Высоту открытых фланцев, без ущерба для настройки стана, можно увеличить до любых размеров, чем и пользуются при расточке калибров, прорезая открытые фланцы до выхода резца в зазор между валками.

Указанные на рис. 54 размеры высоты открытых фланцев показывают расчетную высоту их заполнения.

Толщина открытых фланцев. Так как открытые фланцы вырабатываются быстрее, целесообразно исходную толщину их сделать несколько меньше расчетной. Принимаем уменьшение толщины открытых фланцев для клети IX равной  $\sim 0,25$  мм, для клети II — равной  $\sim 1$  мм.

В остальных калибрах берем промежуточные величины, постепенно наращивая величину поправки по мере приближения к разрезному калибру. Получающиеся данные сводим в табл. 3.

Таблица 3

## Исправленные значения толщины открытых фланцев

Клеть	Поправка мм	$a_0$ мм	$b_0$ мм
IX	0,25	$6,7 - 0,25 \approx 6,5$	$13,5 - 0,25 = 13,25$
VIII	0,35	$6,6 - 0,35 \approx 6,3$	$13,5 - 0,35 \approx 13,1$
VII	0,50	$7,94 - 0,5 \approx 7,5$	$15,8 - 0,5 = 15,3$
VI	0,60	$8,63 - 0,6 \approx 8,0$	$17,7 - 0,6 \approx 17,0$
V	0,70	$11,7 - 0,7 = 11,0$	$23,2 - 0,7 = 22,5$
IV	0,80	$13,5 - 0,8 = 12,7$	$28,6 - 0,8 = 27,8$
III	0,99	$20,5 - 0,9 = 19,6$	$41,3 - 0,9 = 40,4$
II	1,00	$25,0 - 1,0 = 24,0$	$54,0 - 1,0 = 53,0$

Толщина закрытых фланцев. Толщину закрытых фланцев оставляем неизменной, т. е. сохраним размеры, полученные при расчете.

Радиусы закруглений. На основании данных § 11 величину радиусов закруглений выбираем в зависимости от толщины прилегающей части профиля.

Радиус закругления  $R$  между шейкой и основанием фланцев. Для клети IX (согласно сортаменту).

$$R_0 = R_s = 8 \text{ мм.}$$

Отношение радиуса к толщине фланца у основания

$$\frac{R}{b} = \frac{8}{13,3} = 0,6 = \text{const.}$$

Принимая это отношение за постоянное, имеем: для клети VIII

$$R'_s = 0,6 \cdot b'_s = 0,6 \cdot 14,8 = 8,9 \approx 9,0 \text{ мм;}$$

$$R'_0 = 0,6 \cdot 13,5 \approx 8,0 \text{ мм;}$$

для клети VII

$$R'_s = R'_0 = 0,6 \cdot 15,85 = 9,5 \text{ мм;}$$

для клети VI

$$R'_s = R'_0 = 0,6 \cdot 19,7 \approx 12,0 \text{ мм; } R'_0 = 0,6 \cdot 17,7 \approx 11,5 \text{ мм,}$$

для клети V

$$R'_s = R'_0 = 0,6 \cdot 23,3 = 14,0 \text{ мм}$$

и т. д.

Радиус закругления  $r_3$  с внутренней стороны закрытых фланцев. Отношение радиуса к толщине фланца на конце для готового профиля.

$$\frac{r_3}{a} = \frac{4}{6,5} \approx 0,6.$$

Принимаем указанное отношение для клетей VIII, VII и VI, для остальных клетей с целью уменьшения препятствий к выполнению фланцев величину радиуса берем несколько меньше, для чего уменьшаем отношение  $\frac{r}{a}$  до 0,5 для клети V и до 0,4 для остальных клетей.

Значения  $r_3$  для различных клетей таковы:

Клети	$r_3$ , мм	Клети	$r_3$ , мм
IX	4,0	V	$0,5 \cdot 11,4 = 6,0$
VIII	$0,6 \cdot 6,7 \approx 4,0$	IV	$0,4 \cdot 16,5 \approx 7,0$
VII	$0,6 \cdot 7,8 \approx 4,5$	III	$0,4 \cdot 20,2 \approx 8,0$
VI	$0,6 \cdot 100 = 6,0$	II	$0,4 \cdot 32,2 \approx 13,0$

Таблица 4

Принятые размеры калибров для прокатки балки № 16

Kaliбр	Открытые фланцы						Закрытые фланцы						Шейка		
	положение	$h_0$	$b_0$	$a_0$	$R_0$	положение	$h_3$	$b_3$	$a_3$	$R_3$	$r_{31}$	$r_3$	положение	$b$	$B$
IX	Верхние	41,0	13,25	6,5	8,0	0,5	42,2	13,5	6,7	8,0	4,0	2,0	0,5	160,0	6,1
VIII	Нижние	45,6	13,1	6,3	8,0	5,0	41,1	14,8	7,5	9,0	4,0	2,0	2,0	158,5	6,7
VII	Верхние	44,8	15,3	7,5	9,5	5,0	45,0	15,9	7,8	9,5	4,5	2,0	2,0	156,5	8,0
VI	Нижние	49,7	17,0	8,0	11,5	5,0	44,0	19,7	10,0	12,0	6,0	3,0	2,0	153,5	10,0
V	Верхние	48,5	22,5	11,0	14,0	5,0	48,6	23,4	11,4	14,0	6,0	3,0	2,0	149,5	13,3
IV	Нижние	54,0	27,8	12,7	17,0	5,0	47,1	31,8	16,5	19,0	7,0	3,0	2,0	144,0	18,6
III	Верхние	51,6	40,4	19,6	24,0	5,0	52,2	40,9	20,2	24,0	8,0	4,0	2,0	135,0	27,9
II	Нижние	57,8	53,0	24,0	32,0	5,0	49,1	60,8	32,2	36,0	13,0	5,0	5,0	121,0	44,5

\* Указана высота заполнения фланцев калибра.

## 17. Пример калибровки балки № 33

Дано:

1. Рельсобалочный стан, состоящий из четырех клетей, которые расположены в две линии: 1) обжимная клеть  $D = 900 \text{ мм}$ ,  $L = 2500 \text{ мм}$ ,  $N_{\text{пр}} = 4500 \text{ л. с.}$ ; 2) две черновые клети трио  $D = 850 \text{ мм}$ ,  $L = 1900 \text{ мм}$ , приводимые от одного мотора,  $N_{\text{пр}} = 5500 \text{ л. с.}$  и 3) чистовая клеть дуо  $D = 800 \text{ мм}$ ,  $L = 1100 \text{ мм}$ , приводимая от отдельного мотора,  $N_{\text{пр}} = 2000 \text{ л. с.}$

Черновые клети стана с обеих сторон оборудованы подъемнокачающимися столами, манипуляторами, кантователями и шлепперами.

Общая схема расположения клетей показана на рис. 55.

2. Размеры холдного профиля балки № 33:  $B = 330 \text{ мм}$ ;  $H = 130 \text{ мм}$ ;  $t = 15,0 \text{ мм}$ ;  $R = 11,5 \text{ мм}$ ;  $r = 5,8 \text{ мм}$ ; уклон внутренних граней полок 1 : 6 (рис. 56).

Радиусы закруглений с наружной стороны закрытых фланцев  $r_{31}$  подбираются конструктивно.

Уклон наружных стенок калибров. Уклон наружных стенок чистового калибра принимаем 0,5%. Для остальных калибров, учитывая больший износ открытого фланца по сравнению с закрытым, принимаем уклон закрытых фланцев \*2%, уклон открытых фланцев 5%. Полученные в результате расчетов данные сведены в табл. 4.

Намечаем общую схему прокатки. Балка № 33 прокатывается в 10—15 пропусков.

Для получения максимальной производительности стана указанное число пропусков должно быть распределено по клетям таким образом, чтобы загрузка всех клетей по времени была примерно одинакова. В связи с этим число пропусков в первой клети, учитывая меньшую длину раската полос, должно быть в 1,5—2 раза больше, чем во второй. В чистовой клети дуо может быть сделан только один пропуск.

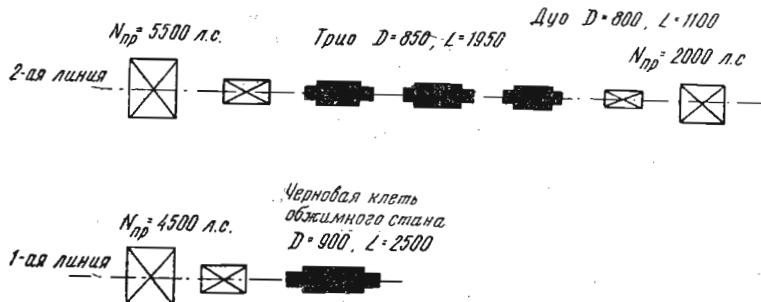


Рис. 55

Определяем число калибров, размещаемых на каждой из черновых клетей. Обозначая ширину калибра через  $K$  и ширину бурта через  $B$ , имеем

$$L = \Sigma B + \Sigma K,$$

где  $L$  — длина бочки валков.

На основании данных практики для чугунных валков ширина буртов между калибрами должна быть не меньше 1,2 глубины вреза калибра в валок:

$$B \geq 1,2 H$$

Таких буртов на валке  $n - 1$  ( $n$  — число калибров, размещаемых на валке).

Ширина крайних буртов берется несколько больше и может быть принята равной  $\sim 1,5 H$ .

Таким образом,

$$L = nk + (n - 1) \cdot 1,2 H + 2 \cdot 1,5 H,$$

откуда

$$n = \frac{L - 1,8 H}{K + 1,2 H} \quad (28)$$

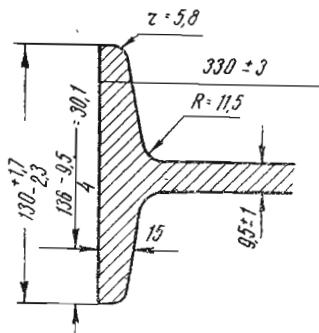


Рис. 56

При калибровке двутавровых балок высота калибров изменяется по пропускам, увеличиваясь по мере приближения к исходному профилю. Для первоначальных грубых расчетов средняя величина  $H$  может быть принята:  
для первой клети

$$H = 1,5 H_1,$$

для второй клети

$$H = 1,25 H_1,$$

где  $H_1$  — высота конечного сечения балки.

Ширина калибра  $K$  изменяется в меньших пределах и в среднем может быть принята

$$K = (0,9 \div 0,95) B_1,$$

где  $B_1$  — ширина конечного профиля.

Принимая указанные величины в качестве исходных расчетных данных, имеем:  
для первой клети

$$H = 1,5 H_1 = 1,5 \cdot 130 = 195 \text{ мм};$$

$$K = 0,9 B_1 = 0,9 \cdot 330 \approx 300 \text{ мм}.$$

Возможное число калибров

$$n = \frac{L - 1,8H}{K + 1,2H} = \frac{1900 - 1,8 \cdot 195}{300 + 1,2 \cdot 195} = 2,92$$

Учитывая весьма приближенное определение высоты калибров  $H$  и возможность значительных отклонений этой величины в ту и другую сторону, принимаем с целью размещения максимального числа калибров

$$n = 3.$$

Если при окончательном размещении калибров на валках ширина буртов окажется недостаточной, валки первой клети следует изготовить стальными, так как для них ширина буртов  $B$  может быть допущена меньше, чем  $1,2 H$ .

Для второй клети

$$H = 1,25 H_1 = 1,25 \cdot 130 = 162 \text{ мм};$$

$$K = 0,95 B_1 = 0,95 \cdot 330 = 312 \text{ мм}.$$

Возможное число калибров

$$n = \frac{L - 1,8H}{K + 1,2H} = \frac{1900 - 1,8 \cdot 162}{312 + 1,2 \cdot 162} = 3,2.$$

Таким образом, как в первой, так и во второй клетях, на бочке валка можно разместить по 3 ручья, что, учитывая возможность применения в этих клетях сопряженных калибров, позволяет разместить в каждой из них 3—6 калибров.

Рассмотрение общей схемы стана показывает, что для лучшего использования манипуляторов и уменьшения пауз между задачами двух штук целесообразно в первой клети иметь нечет-

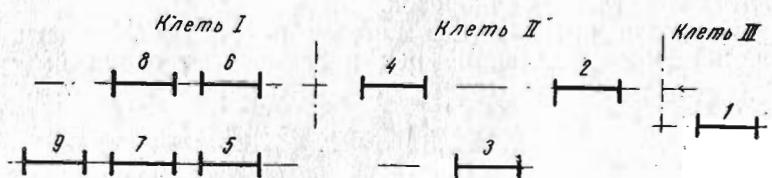


Рис. 57

ное число пропусков, благодаря чему выдаваемая из клети полоса не будет встречаться со следующей полосой, идущей с обжимной клети.

В таком случае вторая клеть тоже должна иметь нечетное число пропусков, чтобы полоса выходила с передней стороны стана, потому что только с этой стороны возможна задача в последнюю чистовую клеть.

Учитывая все сказанное выше, можно наметить следующее распределение пропусков по трем клетям второй линии стана: первая клеть 5 пропусков, вторая клеть 3 пропуска, третья клеть 1 пропуск.

Указанное распределение обеспечивает равномерную загрузку всех клетей во времени и позволяет вести прокатку во второй клети в несвязанных калибрах, что способствует получению более точного профиля и равномерной работе стана.

Возможен также вариант прокатки в клетях второй линии в семь пропусков, причем в первой и второй клетях размещается по три калибра.

В этом случае вся прокатка будет происходить в несвязанных калибрах. Однако при таком варианте производительность стана не получит значительного увеличения, так как число пропусков во второй клети сохранится прежним и явится узким местом стана. С другой стороны, необходимое увеличение коэффициентов деформации будет вызывать более быстрый износ валков и увеличит число их поломок.

На основании сказанного принимаем для первоначальной разработки калибровки первый вариант распределения пропусков по клетям и составляем окончательную схему прокатки в клетях второй линии (рис. 57).

Как показывает опыт работы аналогичных станов, прокатка балки № 33 осуществляется обычно в 11—13 пропусков, из которых 3—5 пропусков производится в разрезном калиbre на малом блуминге. Вследствие этого, а также в связи с применением связанных калибров, определение общего коэффициента деформации в данном случае невозможно и потому для определения расчетных коэффициентов обжатий лучше всего учесть опыт действующих калибровок.

Используя практические данные работы аналогичных станов, намечаем следующий ряд коэффициентов обжатий:

$$\begin{array}{llll} k_1 = 1,08 & k_2 = 1,14 & k_3 = 1,20; & k_4 = 1,26; \\ & k_5 = 1,32 & k_6 = 1,38 \end{array}$$

### Первый калибр

Размеры первого калибра должны соответствовать горячим размерам профиля балки.

Принимая коэффициент усадки равным 1,013, имеем:

$$\begin{aligned} B' &= 330 \cdot 1,013 = 334 \text{ мм}; \\ H' &= 130 \cdot 1,013 = 131,6 \text{ мм}; \\ t' &= 15,0 \cdot 1,013 = 15,2 \text{ мм}; \\ d' &= 9,5 \cdot 1,013 = 9,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Определяем некоторые дополнительные размеры профиля. Высота фланцев

$$h'_o = h'_s = \frac{H' - d'}{2} = \frac{131,6 - 9,6}{2} = 61 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_o = b'_s = t' + \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 15,2 + \frac{61}{2} \cdot \frac{1}{6} \approx 20,3 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_o = a'_s = t' + \frac{h'}{2} \operatorname{tg} \alpha = 15,2 - \frac{61}{2} \cdot \frac{1}{6} = 10,1 \text{ мм.}$$

Площадь каждого фланца

$$F'_o = F'_s = \frac{a' + b'}{2} \cdot h' = \frac{10,1 + 20,3}{2} \cdot 61 = 926 \text{ мм}^2.$$

Площадь шейки

$$F'_w = B' \cdot d' = 334 \cdot 9,6 = 3210 \text{ мм}^2.$$

Площадь профиля без учета радиусов закругления

$$F' = F'_w + 4F'_\phi = 3210 + 4 \cdot 926 = 6910 \text{ мм}^2.$$

### Второй калибр

Расчетный коэффициент обжатия в первом калибре

$$k = 1,08.$$

Минимально возможный диаметр переточенных валков в клети III

$$D_{\min} = 0,9 D_o = 0,9 \cdot 800 = 720 \text{ мм.}$$

Толщина шейки искомого калибра

$$d' = k \cdot d = 1,08 \cdot 9,6 = 10,5 \text{ мм.}$$

Высота искомого открытого фланца

$$h'_o = \frac{D_w h_3}{D_w - h_3} = \frac{(720 - 9,6) \cdot 61}{(720 - 9,6) + 61} = 66,8 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в закрытом фланце первого калибра

$$\eta_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h'_s + \frac{d}{2}} = \frac{66,8 + \frac{10,5}{2}}{61 + \frac{9,6}{2}} = 1,095 \approx 1,09.$$

Коэффициент обжатия толщины в закрытом калибре

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,08}{1,09} \approx 1.$$

Высота искомого закрытого фланца

$$h'_s = \frac{D_w h_o}{D_w + d} = \frac{(720 - 9,6) \cdot 61}{(720 - 9,6) + 9,6} = 60,2 \text{ мм.}$$

Коэффициент обжатия высоты в открытом фланце первого калибра

$$\eta_0 = \frac{h'_s + \frac{d'}{2}}{h_o + \frac{d}{2}} = \frac{60,2 + \frac{10,5}{2}}{61 + \frac{9,6}{2}} = 0,995.$$

Коэффициент обжатия толщины

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,08}{0,995} = 1,09.$$

По найденным коэффициентам обжатия определяем толщину фланцев.

Открытый фланец. Толщина фланца у основания

$$b'_o = b_s \lambda_3 = 20,3 \cdot 1,0 = 20,3 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце

$$\begin{aligned} a'_o &= \frac{1}{2} \left[ \lambda_o (b_o + a_o) \frac{h'_3}{h'_o} - \lambda_s (b_s - a_s) \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[ 1,09(20,3 + 10,1) \frac{60,2}{66,8} - 1 \cdot (20,3 - 10,1) \right] = 9,9 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Площадь фланца

$$F'_o = \frac{b'_o + a'_o}{2} h'_o = \frac{20,3 + 9,9}{2} \cdot 66,8 = 1010 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Толщина фланца у основания

$$b'_3 = b_o \lambda_o = 20,3 \cdot 1,09 = 22,25 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце

$$\begin{aligned} a'_3 &= \frac{1}{2} \left[ \lambda_s (b_s + a_s) \frac{h'_o}{h'_3} - \lambda_o (b_o - a_o) \right] = \frac{1}{2} \left[ 1,0 (20,3 + 10,1) \frac{66,8}{60,2} - \right. \\ &\quad \left. - 1,09(20,3 - 10,1) \right] = 11,31 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Площадь фланца

$$F'_3 = \frac{b'_3 + a'_3}{2} \cdot h'_3 = \frac{22,25 + 11,31}{2} \cdot 60,2 = 1010 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Задаемся величиной уширения в первом калибре

$$\Delta b = 0,01 B_n + (n - 1) = 0,01 \cdot 334 + (1 - 1) \approx 3,3 \text{ мм.}$$

Ширина шейки

$$B' = B - \Delta b = 334 - 3,3 = 330,7 \text{ мм.}$$

Площадь шейки

$$F'_w = B' \cdot a' = 330,7 \cdot 10,5 = 3470 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$F' = F'_w + 4 F'_\phi = 3470 + 4 \cdot 1010 = 7510 \text{ мм}^2.$$

Действительная ширина калибра

$$B' = \frac{BF'}{kF} = \frac{334 \cdot 7510}{1,09 \cdot 6910} = 330,2 \text{ мм.}$$

Так как расхождение незначительно — пересчета не требуется.

### Третий калибр

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,14.$$

Минимальный диаметр переточенных валков клетей I и II:

$$D_{\min} = 0,9 D_o = 0,9 \cdot 850 = 765 \text{ мм.}$$

Применяя приведенный выше порядок расчета, определяем коэффициенты обжатия высоты и толщины во втором калибре и искомые размеры третьего калибра

$$d' = k \cdot d = 1,14 \cdot 10,5 = 12 \text{ мм};$$

$$h'_o = \frac{D_{\min} h_3}{D_{\min} - h_3} = \frac{(765 - 10,5) \cdot 60,2}{(765 - 10,5) - 60,2} = 65,4 \text{ мм};$$

$$\eta_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{65,4 + \frac{12}{2}}{60,2 + \frac{10,5}{2}} = 1,095;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,14}{1,095} = 1,04;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\min} h_0}{D_{\min} + d} = \frac{(765 - 10,5) \cdot 66,8}{(765 - 10,5) + 10,5} = 65,8;$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{66,8 + \frac{12}{2}}{66,8 + \frac{10,5}{2}} = 1,0;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,14}{1,0} = 1,14.$$

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = b_3 \lambda_3 = 22,25 \cdot 1,04 = 23,1 \text{ мм};$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_0 (b_0 + a_0) \frac{h'_3}{h_0} - \lambda_3 (b_3 - a_3) \right];$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ 1,14 (20,3 + 9,9) \frac{65,8}{65,4} - 1,04 (22,25 - 11,31) \right] = 11,7 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{11,7 + 23,1}{2} \cdot 65,4 = 1140 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 20,3 \cdot 1,14 = 23,1 \text{ мм};$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ \lambda_3 (b_3 + a_3) \frac{h'_0}{h_3} - \lambda_0 (b_0 - a_0) \right];$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,04 (22,25 + 11,31) \frac{65,4}{65,8} - 1,14 (20,3 - 9,9) \right] = 11,4 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} h'_3 = \frac{11,4 + 23,1}{2} \cdot 65,8 = 1140 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1) = 0,01 \cdot 330,2 + (2 - 1) = 4,3 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 330,2 - 4,3 \approx 326 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 326 \cdot 12 = 3910 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 4F'_{\Phi} = 3910 + 4 \cdot 1140 = 8470 \text{ мм}^2;$$

$$B' = \frac{B \cdot F'}{k \cdot F} = \frac{330,2 \cdot 8470}{1,14 \cdot 7510} = 326 \text{ мм}.$$

#### Четвертый калибр

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,20$$

$$d' = k \cdot d = 1,20 \cdot 12,0 = 14,4 \text{ мм};$$

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(765 - 12) \cdot 65,8}{(765 - 12) - 65,8} = 72,2 \text{ мм};$$

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{72,2 + \frac{14,4}{2}}{65,8 + \frac{12}{2}} = 1,105;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,2}{1,105} = 1,085;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{(765 - 12) \cdot 65,4}{(765 - 12) + 12} = 64,4 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{64,4 + \frac{14,4}{2}}{65,4 + \frac{12}{2}} = 1,0;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,2}{1,0} = 1,2.$$

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = b_3 \cdot \lambda_3 = 23,1 \cdot 1,085 = 25 \text{ мм}$$

$$a'_0 = \frac{1}{2} \left[ 1,2(23,1 + 11,7) \frac{64,4}{72,2} - 1,085(23,1 - 11,4) \right] = 12,3 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{12,3 + 25,0}{2} \cdot 72,2 = 1347 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 23,1 \cdot 1,2 = 27,7 \text{ мм};$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,085(23,1 + 11,4) \right] \frac{72,2}{64,4} - 1,2(23,1 - 11,7) = 14,2 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \cdot h'_3 = \frac{14,2 + 27,7}{2} \cdot 64,4 = 1347 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1) = 0,01 \cdot 326 + (3 - 1) = 5,3 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 326 - 5,3 = 320,7 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 320,7 \cdot 14,4 = 4620 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 4 F'_{\Phi} = 4620 + 4 \cdot 1347 = 10000 \text{ мм}^2;$$

$$B' = \frac{B \cdot F'}{k \cdot F} = \frac{326 \cdot 10000}{1,2 \cdot 8470} = 321 \text{ мм}.$$

#### Пятый калибр

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,26.$$

$$d' = k \cdot d = 1,26 \cdot 14,4 = 18,1 \text{ мм};$$

$$h'_o = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(765 - 14,4) \cdot 64,4}{(765 - 14,4) - 64,4} = 70,5 \text{ мм}.$$

Полученная величина  $h'_o$  дает только высоту, на которую калибр будет заполнен металлом, но не общую высоту калибра, так как последняя должна быть увязана с высотой открытого фланца шестого калибра.

$$\eta_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{70,5 + \frac{18,1}{2}}{64,4 + \frac{14,4}{2}} = 1,11;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,26}{1,11} = 1,13;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_o}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{(765 - 14,4) 72,2}{(765 - 14,4) + 14,4} = 70,8 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{70,8 + \frac{18,1}{2}}{72,2 + \frac{14,4}{2}} = 1;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,26}{1,0} = 1,26.$$

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_o = b_3 \lambda_3 = 27,7 \cdot 1,13 = 31,3 \text{ мм};$$

$$a'_o = \frac{1}{2} \left[ 1,26 (25 + 12,3) \frac{70,8}{70,5} - 1,13 (27,7 - 14,2) \right] = 16 \text{ мм}.$$

Полученный размер  $a'_o$  дает толщину конца фланца на высоте  $h'_o = 70,5 \text{ мм}$ . Фактический размер толщины на конце открытого калибра может быть получен только после определения его окончательной высоты при расчете шестого калибра.

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \cdot h'_o = \frac{16,0 + 31,3}{2} \cdot 70,5 = 1670 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 25,0 \cdot 1,26 = 31,5 \text{ мм};$$

$$a'_3 = \frac{1}{2} \left[ 1,13 (27,7 + 14,2) \frac{70,5}{70,8} - 1,26 (25,0 - 12,3) \right] = 15,6 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \cdot h'_3 = \frac{15,6 + 31,5}{2} \cdot 70,8 = 1670 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B + (n + 1) = 0,01 \cdot 321 + (4 - 1) = 6,2 \text{ мм};$$

$$B' = 321 - 6,2 = 314,8 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 314,8 \cdot 18,1 = 5680 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 4 F'_{\Phi} = 5680 + 4 \cdot 1670 = 12360 \text{ мм}^2;$$

$$B' = \frac{BF}{kF} = \frac{321 \cdot 12360}{1,26 \cdot 10000} = 315 \text{ мм}.$$

#### Шестой калибр

Согласно принятой схеме (рис. 57), пятый и шестой калибры являются сопряженными. Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,32$$

Расчетный коэффициент обжатия может быть использован только для расчета закрытого фланца шестого калибра.

Размеры открытого фланца связаны с размерами открытого фланца пятого калибра и не могут быть найдены обычным методом.

Поскольку размеры открытого и закрытого фланцев пятого калибра примерно одинаковы, в закрытом фланце шестого калибра следует ожидать получения незначительного коэффициента деформации, главным образом за счет обжатия фланца по высоте.

Тогда общий коэффициент деформации в калибре, определенный как

$$k = \frac{k_0 + k_3}{2} = k_{\text{ш}},$$

получится тоже несколько меньше расчетного (1,32), но больше чем

$$\frac{k_0 + 1}{2} = 1,16,$$

так как  $k_3$  будет больше 1.

Таким образом, в пятом калибре будут иметь место неравномерные обжатия отдельных частей профиля, которые можно выразить следующим неравенством

$$k_0 = 1,32 > k = k_{\text{ш}} > k_3.$$

Определяем высоту открытого фланца искомого калибра:

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(765 - 18,1) \cdot 70,8}{(765 - 18,1) - 70,8} = 78,3 \text{ мм.}$$

Полученная высота открытого фланца шестого калибра определяет также и высоту открытого фланца пятого калибра (поскольку они должны быть равны), в связи с чем ввиду равенства уклонов внутренних граней калибров действительный размер толщины конца фланца должен быть уменьшен на некоторую величину  $\Delta a$  (рис. 58).

Сохраняя толщину конца фланца (16 мм) на уровне заполнения этого калибра (70,5 мм), для определения толщины конца фланца в вершине калибра ( $a_0 - \Delta a_0$ ) имеем следующее очевидное равенство, составленное из подобия треугольников:

$$\frac{b_0 - a_0}{h_0} = \frac{\Delta a_0}{h'_0 - h_0},$$

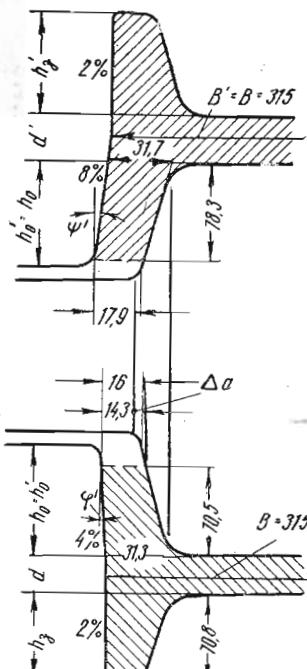


Рис. 58

откуда

$$\Delta a_0 = \frac{(b_0 - a_0)(h'_0 - h_0)}{h_0} = \frac{(31,3 - 16)(78,3 - 70,5)}{70,5} = 1,7 \text{ мм}$$

и толщина конца открытого фланца в пятом калибре

$$a_0 - \Delta a_0 = 16 - 1,7 = 14,3 \text{ мм.}$$

Полученная величина неприемлема для шестого калибра, так как она меньше  $a_3$  пятого калибра, равной 15,6 мм. Для увеличения обжатия в закрытом фланце целесообразно увеличить толщину открытого фланца шестого калибра, не увеличивая общей ширины выходящего из него профиля. В рассматриваемом случае это может быть достигнуто за счет увеличения уклона наружных граней калибра в открытой его части. Принимая уклон для пятого калибра в 4% и для шестого в 8%, имеем:

$$\operatorname{tg}\psi = 0,04; \operatorname{tg}\psi' = 0,08;$$

тогда, используя уравнения (21) и (22), при равной ширине пятого и шестого калибров (см. рис. 34 и 58) получаем:

$$b'_0 = b_0 + \frac{d'}{2}(\operatorname{tg}\psi' - \operatorname{tg}\psi) = 31,3 + \frac{22,0}{2}(0,08 - 0,04) = 31,7 \text{ мм};$$

$$a'_0 = (a_0 - \Delta a_0) + (h'_0 + \frac{d'}{2})(\operatorname{tg}\psi' - \operatorname{tg}\psi) = 14,3 +$$

$$+ (78,3 + \frac{22}{2}) \cdot (0,08 - 0,04) = 17,9 \text{ мм}$$

(Неизвестная величина  $d'$  ориентировочно принята равной 22 мм).

Коэффициент обжатия толщины фланца на конце

$$\lambda_{3,a} = \frac{a'_0}{a_3} = \frac{17,9}{15,6} = 1,15.$$

Коэффициент обжатия толщины фланца у основания

$$\lambda_{3,b} = \frac{b'_0}{b_3} = \frac{31,7}{31,3} = 1,01.$$

Средний коэффициент обжатия толщины фланца

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{3 \cdot a} + \lambda_{3 \cdot b}}{2} = \frac{1,15 + 1,01}{2} = 1,08.$$

Коэффициент обжатия высоты фланца (считая предварительно  $d' = 22 \text{ мм}$ )

$$\eta_3 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{78,3 + \frac{22}{2}}{70,8 + \frac{18,1}{2}} = 1,12.$$

Коэффициент деформации в закрытом фланце пятого калибра

$$k_3 = \eta_3 \lambda_3 = 1,12 \cdot 1,08 = 1,21.$$

Общий коэффициент деформации в пятом калибре

$$k = k_{\text{п}} = \frac{k_0 + k_3}{2} = \frac{1,32 + 1,21}{2} = 1,26.$$

Толщина шейки искомого калибра

$$d' = d \cdot k = 1,26 \cdot 18,1 = 22,8 \text{ мм.}$$

Полученная величина незначительно отклоняется от предварительно принятой, но даже при больших отклонениях пересчета производить не следует, так как изменение величины  $d'$  в примененных выше уравнениях очень слабо оказывается на полученных результатах.

Определяем размеры закрытого фланца:

$$h'_3 = \frac{D_{\text{п}} \cdot h_0}{D_{\text{п}} + d} = \frac{(765 - 18,1) \cdot 70,5}{(765 - 18,1) + 18,1} = 68,8 \text{ мм.}$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{a}{2}} = \frac{68,8 + \frac{22,8}{2}}{70,5 + \frac{18,1}{2}} = 1,01.$$

$$\lambda_0 = \frac{k_0}{\eta_0} = \frac{1,32}{1,01} = 1,31.$$

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 31,3 \cdot 1,31 = 41 \text{ мм.}$$

Вследствие неравномерной деформации в закрытых и открытых фланцах пятого калибра выравнивание их площадей

не может иметь места и потому величина  $a'_3$  должна определяться из условий равномерной деформации по всей высоте фланца

$$a'_3 = a_0 \cdot \lambda_0 = 16,0 \cdot 1,31 = 20,2 \text{ мм.}$$

Неравномерная деформация в пятом калибре вызовет также смещение оси фланцев, величина которого может быть подсчитана по уравнению (8):

$$z = \frac{h'_{c \cdot 3} \cdot h_{c \cdot 3} \cdot \lambda_0 - h'_{c \cdot 0} \cdot h_{c \cdot 0} \cdot \lambda_3}{h_{c \cdot 3} \cdot \lambda_3 + h_{c \cdot 0} \cdot \lambda_0}.$$

Здесь (см. рис. 15):

$$h'_{c \cdot 3} = h'_3 + \frac{d}{2} = 68,8 + \frac{22,8}{2} = 80,2 \text{ мм};$$

$$h'_{c \cdot 0} = h_0 + \frac{d}{2} = 70,8 + \frac{18,1}{2} = 79,8 \text{ мм};$$

$$h_{c \cdot 0} = h_0 + \frac{d}{2} = 78,3 + \frac{22,8}{2} = 89,7 \text{ мм};$$

$$h_{c \cdot 0} = h_0 + \frac{d}{2} = 70,5 + \frac{18,1}{2} = 79,6 \text{ мм.}$$

Подставляя величины в уравнение (8), имеем:

$$z = \frac{80,2 \cdot 79,8 \cdot 1,31 - 89,7 \cdot 79,6 \cdot 1,08}{79,8 \cdot 1,08 + 79,6 \cdot 1,31} = 3,5 \text{ мм.}$$

Указанное смещение ведет к уменьшению открытых и увеличению закрытых фланцев\*. Для компенсации смещения высота фланцев шестого калибра должна быть изменена с таким расчетом, чтобы после сдвига шейки в пятом калибре получить размеры высоты фланцев, соответствующие расчетным. Поэтому высота фланцев шестого калибра должна быть принята

$$h'_3 = 68,8 + z = 68,8 + 3,5 = 72,3 \text{ мм};$$

$$h'_0 = 78,3 - z = 78,3 - 3,5 = 74,8 \text{ мм.}$$

Изменение высоты фланцев шестого калибра вызовет некоторые изменения их толщины и расчетных коэффициентов деформаций, однако эти изменения весьма незначительны и ими вполне можно пренебречь, сохранив данные, полученные при первоначальном расчете.

\* Как указывалось ранее, шейка всегда сдвигается в сторону более значительно обжимаемого фланца.

Определяем площадь шестого калибра

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{17,9 + 31,7}{2} \cdot 74,8 = 1860 \text{ мм}^2;$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} h'_3 = \frac{20,9 + 41,0}{2} \cdot 72,3 = 2240 \text{ мм}^2;$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 315 \cdot 22,8 = 7160 \text{ мм}^2;$$

$$F' = 2F'_0 + 2F'_3 + F'_{\text{ш}} = 2 \cdot 1860 + 2 \cdot 2240 + 7160 = 15360 \text{ мм}^2.$$

### Седьмой калибр

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,38$$

$$d' = kd = 1,38 \cdot 22,8 = 31,5 \text{ мм};$$

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(765 - 22,8) 72,3}{(765 - 22,8) - 72,3} = 80 \text{ мм};$$

$$\eta_3 = \frac{\frac{h'_0 + d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{80 + \frac{31,5}{2}}{72,3 + \frac{22,8}{2}} = 1,14;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,38}{1,14} = 1,21;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{(765 - 22,8) \cdot 74,8}{(765 - 22,8) + 22,8} = 72,5 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{\frac{h'_3 + d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{72,5 + \frac{31,5}{2}}{74,8 + \frac{22,8}{2}} = 1,02;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,38}{1,02} = 1,35.$$

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_0 = b_0 \cdot \lambda_3 = 41,0 \cdot 1,21 = 49,6 \text{ мм};$$

$$a'_0 = a_0 \cdot \lambda_3 = 20,9 \cdot 1,21 = 25,2 \text{ мм*};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{25,2 + 49,6}{2} \cdot 80,0 = 2990 \text{ мм}^2$$

Закрытый фланец. Определяем:

$$b'_3 = b_3 \lambda_0 = 31,7 \cdot 1,35 = 42,8 \text{ мм};$$

$$a'_3 = a_3 \lambda_0 = 17,9 \cdot 1,35 = 24,2 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = \frac{a'_3 + b'_3}{2} h'_3 = \frac{24,2 + 42,8}{2} \cdot 72,5 = 2430 \text{ мм}^2;$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1) = 0,01 \cdot 315 + (6 - 1) \approx 8 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 315 - 8 = 307 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 307 \cdot 31,5 = 9670 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_3 + 2F'_0 = 9670 + 2 \cdot 2430 + 2 \cdot 2990 = 20510 \text{ мм}^2.$$

### Восьмой калибр

Согласно принятой схеме, восьмой и седьмой калибры являются сопряженными, поэтому расчет восьмого калибра аналогичен расчету шестого.

Расчетный коэффициент обжатия, употребляемый только для открытого фланца,

$$k_0 = 1,4.$$

Высота открытого фланца

$$h'_0 = \frac{D_{\text{ш}} h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(765 - 31,5) \cdot 72,5}{(765 - 31,5) - 72,5} = 80,5 \text{ мм}.$$

Полученный размер незначительно отличается от высоты открытого фланца седьмого калибра, вследствие чего изменением толщины конца фланца ( $\Delta a$ ) можно пренебречь.

\* Уравнение (10) не применимо, так как  $F'_0 \neq F'_3$ .

Для увеличения коэффициента деформации в закрытом фланце седьмого калибра принимаем, как и для предыдущей пары сопряженных калибров,

$$\operatorname{tg} \psi = 0,04;$$

$$\operatorname{tg} \psi' = 0,08;$$

Тогда при равной ширине седьмого и восьмого калибров

$$b'_0 = b_0 + \frac{d'}{2} (\operatorname{tg} \psi' - \operatorname{tg} \psi) = 49,6 + \\ + \frac{40}{2} (0,08 - 0,04) = 50,4 \text{ мм};$$

$$a'_0 = a_0 + \left( h'_0 + \frac{d'}{2} \right) (\operatorname{tg} \psi' - \operatorname{tg} \psi) = 25,2 + \\ + \left( 80,5 + \frac{40}{2} \right) (0,08 - 0,04) = 29,2 \text{ мм}$$

(Толщина шейки ориентировочно принята  $d' = 40 \text{ мм}$ )

$$\lambda_{3,a} = \frac{a'_0}{a_3} = \frac{29,2}{24,2} = 1,2;$$

$$\lambda_{3,b} = \frac{b'_0}{b_3} = \frac{50,4}{42,8} = 1,18.$$

Средний коэффициент обжатия толщины в закрытом фланце седьмого калибра

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{3,a} + \lambda_{3,b}}{2} = \frac{1,2 + 1,18}{2} = 1,19.$$

Коэффициент обжатия высоты в закрытом фланце

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{80,5 + \frac{40,0}{2}}{72,5 + \frac{31,5}{2}} = 1,14.$$

Коэффициент деформации в закрытом фланце

$$k_3 = \eta_3 \lambda_3 = 1,14 \cdot 1,19 = 1,36.$$

Общий коэффициент деформации

$$k = k_{\text{ш}} = \frac{k_0 + k_3}{2} = \frac{1,4 + 1,36}{2} = 1,38.$$

Окончательная толщина шейки

$$d' = d \cdot k_{\text{ш}} = 31,5 \cdot 1,38 = 43,5 \text{ мм}.$$

Определяем размеры закрытого фланца

$$h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} h_0}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{(765 - 31,5) \cdot 80,0}{765} = 76,7 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{76,7 + \frac{43,5}{2}}{80,0 + \frac{31,5}{2}} = 1,03;$$

$$\lambda_0 = \frac{k_0}{\eta_0} = \frac{1,4}{1,03} = 1,36;$$

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 49,6 \cdot 1,36 = 67,5 \text{ мм};$$

$$a'_3 = a_0 \lambda_0 = 25,2 \cdot 1,36 = 34,3 \text{ мм*}.$$

Смещение оси фланцев в седьмом калибре

$$z = \frac{h'_{c,3} \cdot h_{c,8} \lambda_0 + h'_{c,0} \cdot h_{c,0} \lambda_3}{h_{c,8} \lambda_3 + h_{c,0} \lambda_0};$$

$$z = \frac{\left( 76,7 + \frac{43,5}{2} \right) \left( 72,5 + \frac{31,5}{2} \right) \cdot 1,36 - \left( 80,5 + \frac{43,5}{2} \right) \left( 80,5 + \frac{31,5}{2} \right) 1,19}{\left( 72,5 + \frac{31,5}{2} \right) 1,19 + \left( 80,5 + \frac{31,5}{2} \right) \cdot 1,36} \approx 0,4 \text{ мм}.$$

Окончательная высота фланцев восьмого калибра

$$h'_0 = 80,5 - z = 80,5 - 0,4 = 80,1 \text{ мм};$$

$$h'_3 = 76,7 + z = 76,7 + 0,4 = 77,1 \text{ мм}.$$

Площадь калибра \*

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{29,2 + 50,4}{2} \cdot 80,1 = 3190 \text{ мм}^2;$$

\* Уравнение (10) неприменимо, так как площади открытого и закрытого фланцев неодинаковы.

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \quad h'_3 = \frac{34,3 + 67,5}{2} \cdot 77,1 = 3920 \text{ мм}^2;$$

$$F'_{\text{III}} = B' \cdot d' = 307 \cdot 43,5 = 13350 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{III}} + 2F'_o + 2F'_s = 13350 + 2 \cdot 3190 + 2 \cdot 3920 = 27570 \text{ мм}^2.$$

### Девятый калибр

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,38$$

$$d' = d \cdot k = 43,5 \cdot 1,38 = 60,0 \text{ мм};$$

$$h'_o = \frac{D_{\text{III}} \cdot h_3}{D_{\text{III}} - h_3} = \frac{(765 - 43,5) \cdot 77,1}{(765 - 43,5) - 77,1} = 86,5 \text{ мм};$$

$$\eta_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{86,5 + \frac{60,0}{2}}{77,1 + \frac{43,5}{2}} = 1,17;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,38}{1,17} = 1,18;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\text{III}} h_3}{D_{\text{III}} + d} = \frac{(765 - 43,5) \cdot 80,1}{765} = 75,6 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{75,6 + \frac{60,0}{2}}{80,1 + \frac{43,5}{2}} = 1,04;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,38}{1,04} = 1,33.$$

Открытый фланец. Определяем:

$$b'_o = b_3 \lambda_3 = 67,5 \cdot 1,18 = 79,5 \text{ мм};$$

$$a'_o = a_3 \lambda_3 = 34,3 \cdot 1,18 = 40,5 \text{ мм*}$$

\* См. примечание на стр. 131.

Закрытый фланец. Определяем:

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \quad h'_o = \frac{40,5 + 79,5}{2} \cdot 86,5 = 5190 \text{ мм}^2;$$

$$b'_3 = b_3 \lambda_0 = 50,4 \cdot 1,33 = 67,0 \text{ мм};$$

$$a'_3 = a_3 \lambda_0 = 29,2 \cdot 1,33 = 38,8 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \quad h'_3 = \frac{38,8 + 67,0}{2} \cdot 75,6 = 4000 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1) = 0,01 \cdot 307 + (8 - 1) = 10 \text{ мм}.$$

$$B' = B - \Delta b = 307 - 10 = 297 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{III}} = B' \cdot d' = 297 \cdot 60,0 = 17800 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{III}} + 2F'_o + 2F'_s = 17800 + 2 \cdot 5190 + 2 \cdot 4000 \approx 36200 \text{ мм}^2.$$

### Десятый калибр (разрезной)

Расчетный коэффициент обжатия

$$k = 1,35$$

$$d' = k \cdot d = 1,35 \cdot 60,0 = 81,0 \text{ мм}$$

$$h'_o = \frac{D_{\text{III}} \cdot h_3}{D_{\text{III}} - h_3} = \frac{(765 - 60) \cdot 75,6}{(765 - 60) - 75,6} = 84,5 \text{ мм};$$

$$\eta_3 = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{84,5 + \frac{81}{2}}{75,6 + \frac{60}{2}} = 1,18;$$

$$\lambda_3 = \frac{k}{\eta_3} = \frac{1,35}{1,18} = 1,14;$$

$$h'_3 = \frac{D_{\text{III}} h_3}{D_{\text{III}} + d} = \frac{(765 - 60) \cdot 86,5}{765} = 80,6 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3 + \frac{d'}{2}}{h_0 + \frac{d}{2}} = \frac{80,6 + \frac{81,0}{2}}{86,5 + \frac{60}{2}} = 1,04;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,35}{1,04} = 1,3.$$

Нижний фланец. Определяем:

$$b'_o = b_o \lambda_3 = 67,0 \cdot 1,14 = 76,5 \text{ мм};$$

$$a'_o = a_o \lambda_3 = 38,8 \cdot 1,14 = 44,2 \text{ мм};$$

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \quad h'_o = \frac{44,2 + 76,5}{2} = 84,5 = 5100 \text{ мм}^2.$$

Верхний фланец. Определяем:

$$b'_s = b_o \lambda_0 = 79,5 \cdot 1,3 = 103 \text{ мм};$$

$$a'_s = a_o \lambda_0 = 40,5 \cdot 1,3 = 52,6 \text{ мм};$$

$$F'_s = \frac{a'_s + b'_s}{2} \quad h'_s = \frac{52,6 + 103}{2} \cdot 80,6 = 6280 \text{ мм}.$$

Шейка. Определяем:

$$\Delta b = 0,01 B' + (n - 1) = 0,01 \cdot 297 + (9 - 1) = 11 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta B = 297 - 11 = 286 \text{ мм}.$$

В предвидении значительной величины суммарного обжатия в разрезном калиbre (за несколько пропусков) и необходимости в ребровом пропуске для устраения образующихся лампасов, ширину разрезного калибра следует увеличить на величину обжатия в ребровом пропуске. Принимая последнее в 20 мм, получаем

$$B' = 286 + 20 = 306 \text{ мм};$$

$$F'_{ш} = B' \cdot d' = 306 \cdot 81,0 = 24800 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{ш} + 2F'_o + 2F'_s = 24800 + 2 \cdot 5100 + 2 \cdot 6280 \approx 47500 \text{ мм}^2.$$

Полученные в результате расчета размеры калибров (табл. 5) корректируем в соответствии с положениями, изложенными в § 16. Принятые в результате корректирования размеры калибров сведены в табл. 6 и представлены на рис. 59.

Таблица 5

№ калибра	$F, \text{мм}^2$	$k$	Открытые фланцы						Закрытые фланцы						Шейка				
			положение	$h_o$	$b_o$	$a^{**}$	$r_o$	$\lambda_o$	$F_o$	положение	$h_a$	$b_a$	$a_a$	$\eta_a$	$\lambda_a$	$F_a$	$d$	$B$	$F_{ш}$
1	1,08	6910	Верхние	61,0	20,3	10,1	0,995	1,095	926	Нижние	61,0	20,3	10,1	1,09	1,0	926	9,6	334	3210
2	1,14	7510	Нижние	66,8	20,3	9,9	1,01	1,14	1010	Верхние	60,2	22,25	11,31	1,09	1,04	1010	10,5	330,2	3470
3	1,20	8470	Верхние	65,4	23,1	11,7	1,01	2,20	1140	Нижние	65,8	23,1	11,4	1,105	1,1	1140	12,0	326	3910
4	1,26	10000	Нижние	72,2	25,0	12,3	1,01	2,26	1347	Верхние	64,4	27,7	14,2	1,11	1,13	1347	14,4	321	4620
5	1,26	12360	Верхние	70,5	31,3	16,0	1,01	1,31	1670	Нижние	70,8	31,5	15,6	1,12	1,08	1670	18,1	315	5680
6	1,38	15360	Нижние	74,8	31,7	17,9	1,02	1,35	1860	Верхние	72,3	41,0	20,9	1,14	1,21	2240	22,8	315	7160
7	1,38	20510	Верхние	80,0	49,6	25,2	1,03	1,36	2990	Нижние	72,5	42,8	24,2	1,14	1,19	2430	31,5	307	9670
8	1,38	27570	Нижние	80,1	50,4	29,2	1,04	1,33	3190	Верхние	76,7	67,5	34,3	1,17	1,18	3920	43,5	307	13350
9	1,35	36220	Верхние	86,5	79,5	40,5	1,04	1,30	5190	Нижние	75,6	67,0	38,8	1,18	1,14	4000	60,0	297	17800
10	—	45900	Нижние	84,5	76,5	44,2	—	—	5100	Верхние	80,6	103,0	52,6	—	—	6280	81,0	286	23160

\*  $h_o$  — высота заполнения открытого фланца на уровне заполнения.

\*\*  $a_o$  — толщина открытого фланца на уровне заполнения.

Таблица 6

## Принятые размеры калибров балки № 33

№ калибра	Открытые фланцы						Закрытые фланцы							Шейка		
	Подложение	$h_0^*$	$b_0$	$a_{\theta}^{**}$	$R_0$	Уклон %	Положение	$h_8$	$b_8$	$a_8$	$R_8$	$r_8$	$r_{81}$	Уклон %	$B$	$d$
1	Верхние	61,0	20,0	10,0	11,5	0,5	Нижние	62,0	20,3	10,1	11,5	5,8	2,0	0,5	331,0	9,6
2	Нижние	66,8	20,0	9,7	11,5	4,0	Верхние	60,2	22,25	11,3	13,0	6,0	2,0	2,0	327,0	10,5
3	Верхние	65,4	22,7	11,3	13,0	4,0	Нижние	65,8	23,1	11,4	13,0	6,0	2,0	2,0	323,0	11,8
4	Нижние	72,2	24,5	11,8	14,0	4,0	Верхние	64,4	27,7	14,2	16,0	8,0	2,0	2,0	318,0	14,0
5	Верхние	70,5	30,6	15,3	18,0	4,0	Нижние	70,8	31,5	15,6	18,0	9,0	3,0	2,0	312,0	17,0
6	Нижние	74,8	31,0	17,2	18,0	8,0	Верхние	72,3	41,0	21,0	33,0	10,0	3,0	2,0	312,0	21,0
7	Верхние	80,0	48,7	24,3	28,0	4,0	Нижние	72,5	43,0	24,0	25,0	12,0	3,0	2,0	304,0	29,5
8	Нижние	80,1	49,5	28,3	28,0	8,0	Верхние	76,7	67,5	34,0	40,0	14,0	3,0	2,0	304,0	40,0
9	Верхние	86,5	78,5	39,5	55,0	4,0	Нижние	75,6	67,0	39,0	50,0	15,0	3,0	2,0	294,0	55,0
Разрезной	Нижние	85,0	76,5	44,0	70,0	5,0	Верхние	81,0	103,0	53,0	70,0	18,0	5,0	5,0	300,0	75,0 (283)

\*  $h_0$  — высота заполнения открытого фланца\*\*  $a_0$  — толщина открытого фланца на уровне заполнения.

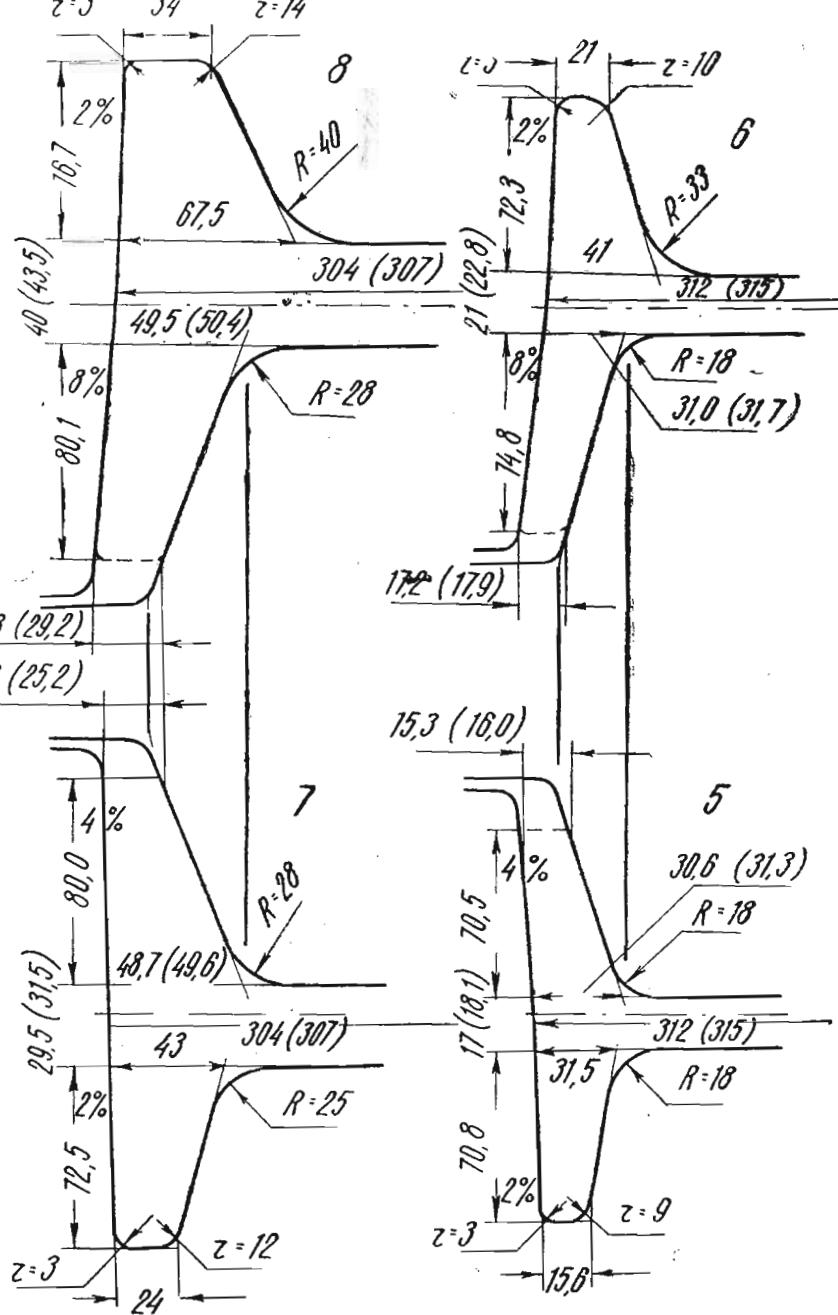
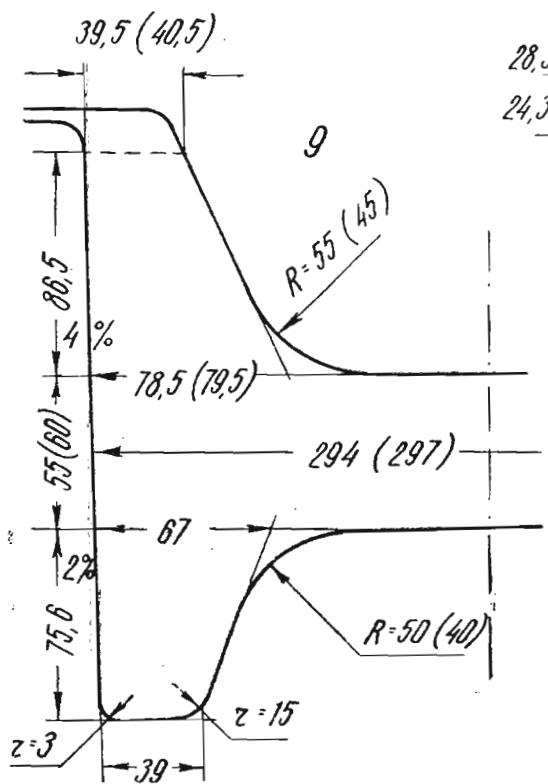
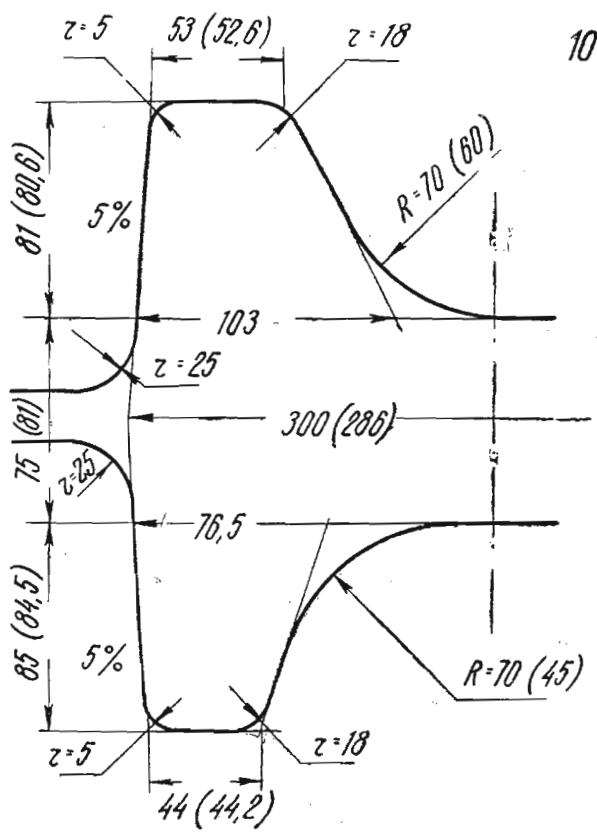
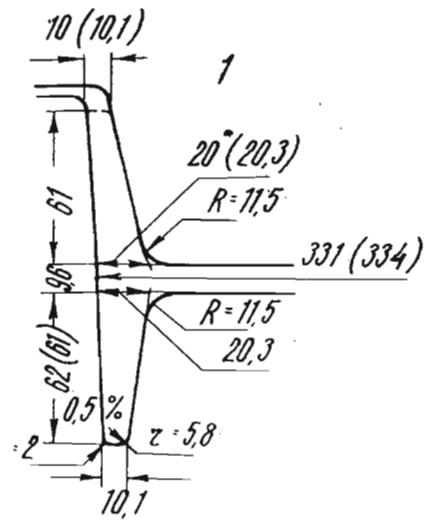
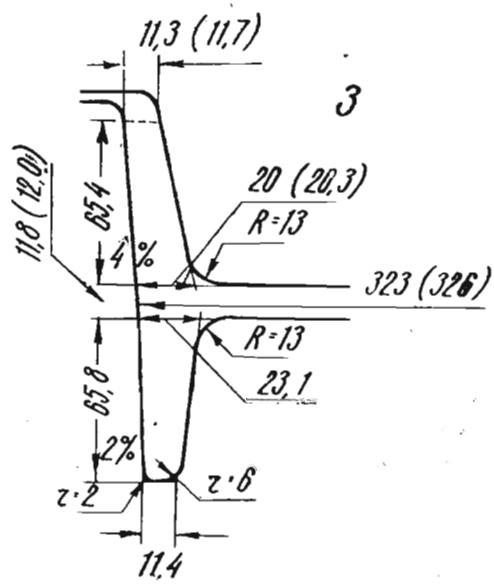
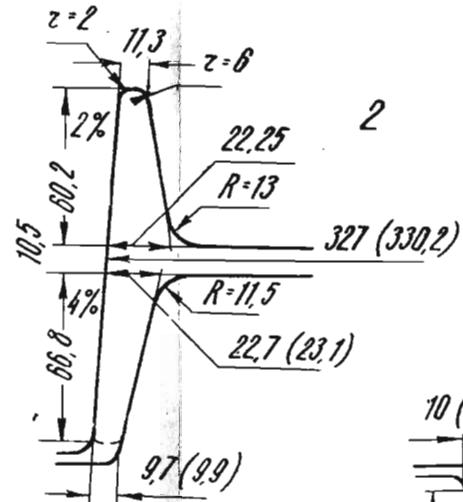
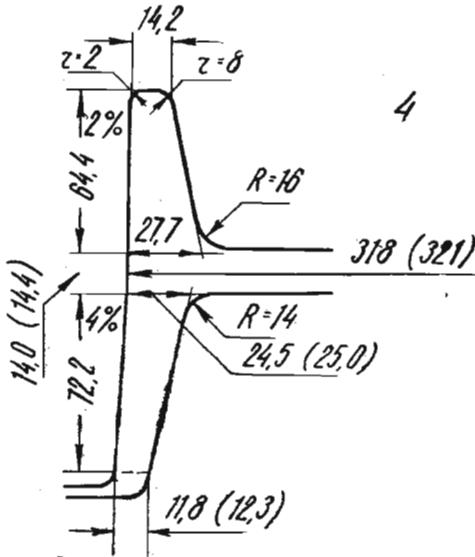


Рис. 69.



В отличие от предыдущего примера, при корректировании размеров калибров балки № 33 для облегчения настройки стана расчетная толщина шейки последовательно уменьшается на величину от 0,2 мм в третьем калибре до 6 мм в разрезном калибре. Уменьшение обжатия шейки должно способствовать лучшему сохранению высоты фланцев.

Радиусы закруглений между шейкой и фланцами  $R$  в разрезном и последующем калибрах несколько увеличены по сравнению с расчетными для облегчения образования фланцев в этих калибрах.

Примерные размеры заготовки, задаваемой в разрезной калибр, можно определить из уравнений (26а) и (27).

Принимая уширение в калибре равным 20 мм, получаем

$$B_0 = B_p - \Delta b = 300 - 20 = 280 \text{ мм.}$$

Для определения высоты заготовки предварительно находим величины  $F_{p\cdot n}$ ,  $H_p$ ,  $B_c$ ,  $a$  и  $b$ .

На основании рассмотрения скелета разрезного калибра (рис. 60) получаем

$$F_{p\cdot n} = \frac{(300 - 2 \cdot 103) + (300 - 2 \cdot 53)}{2} \cdot 81 +$$

$$+ \frac{(300 - 2 \cdot 76,5) + (300 - 2 \cdot 44)}{2} \cdot 85 = 27000 \text{ мм}^2;$$

$$H_p = h_b + h_n + d_p = 81 + 85 + 75 = 241 \text{ мм}^2;$$

$$B_c = \frac{B_p + B_0}{2} = \frac{300 + 280}{2} = 290 \text{ мм};$$

$$a = \frac{a_b + a_n}{2} = \frac{53 + 44}{2} = 48,5 \text{ мм};$$

$$b = \frac{b_b + b_n}{2} = \frac{103 + 76,5}{2} \approx 90 \text{ мм.}$$

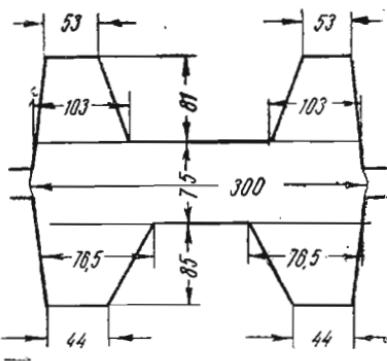


Рис. 60

Подставляя полученные значения в уравнение (26а), получаем:

$$H_0 = \frac{\left(2 + \frac{B_p - 2b}{B_p - 2a}\right) \cdot F_{p,k}}{3 \cdot B_c} + H_p = \frac{\left(2 + \frac{300 - 2 \cdot 90}{300 - 2 \cdot 48,5}\right) \cdot 27000}{3 \cdot 290} + \\ + 241 = 320 \text{ мм.}$$

Таким образом, суммарное обжатие по шейке в разрезном калибре составит

$$\Sigma \Delta h = H_0 - d_p = 320 - 75 = 245 \text{ мм.}$$

Полученное суммарное обжатие может быть достигнуто на стане 900 за четыре пропуска. Вместе с ребровым (последним) получится всего пять пропусков.

Для получения точного размера шейки необходимо предусмотреть ее утолщение за счет уширения при ребровом пропуске.

Если принять величину последнего в 5 мм, шейка должна быть обжата до толщины не в 75, а в 70 мм. Тогда суммарное обжатие составит

$$\Sigma \Delta h = 320 - 70 = 250 \text{ мм.}$$

На глаз разбиваем полученную величину на четыре пропуска

$$\Delta h_1 = 75 \text{ мм}, \Delta h_2 = 70 \text{ мм}, \Delta h_3 = 60 \text{ мм}, \Delta h_4 = 45 \text{ мм.}$$

Соответствующие размеры толщины шейки составят:  
после первого пропуска

$$320 - 75 = 245 \text{ мм},$$

после второго пропуска

$$245 - 70 = 175 \text{ мм},$$

после третьего пропуска

$$175 - 60 = 115 \text{ мм},$$

после четвертого пропуска

$$115 - 45 = 70 \text{ мм.}$$

Перед пятым пропуском полоса кантуется на ребро и прокатывается в таком положении до расчетной толщины 283 мм.

Обжатие в пятом пропуске

$$300 - 283 = 17 \text{ мм.}$$

После выхода из ребрового калибра полоса снова кантуется на 90° и направляется к клети трио.

## II. КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРОВ

### 18. Общие положения

В отличие от двутавровых балок, получение окончательного профиля которых во всех случаях осуществляется путем последовательного чередования открытых и закрытых фланцев, при калибровке швеллера несколько открытых калибров могут следовать один за другим; возможно также применение других, весьма разнообразных и различных по характеру промежуточных калибров.

В зависимости от имеющегося на стане оборудования, мощности приводов отдельных клетей, качества прокатываемого металла и заданного сортамента, калибровщик имеет возможность выбрать тот или иной путь для получения окончательного профиля с наименьшими затратами энергии, минимальным расходом валков и в кратчайшее время.

Существующий сортамент ОСТ предусматривает швеллеры следующих номеров (номер швеллера, как известно, соответствует ширине шейки в сантиметрах): 5; 6,5; 8—24 через один; 24—36 через два и 40.

Меньший уклон (10%) и большая ширина фланцев у швеллеров по сравнению с балками соответствующих номеров создают некоторые дополнительные затруднения при прокатке. Как уже указывалось, величина бокового обжатия фланцев связана с их уклоном, и потому незначительный уклон полок швеллера приводит к некоторому уменьшению коэффициентов обжатий в закрытых калибрах. Тому же способствует увеличение глубины вреза, ослабляющее сечение валков.

### 19. Различные способы калибровки швеллеров

Из существующих в настоящее время методов калибровок швеллера наибольшее распространение получили: калибровка по балочному методу, калибровка с увеличенными выпусками, калибровка по методу сгибания.

Каждый из трех указанных способов имеет свои преимущества и недостатки, и применение того или иного определяется, главным образом, конкретными условиями, имеющимися на стане, для которого проектируется калибровка.

Рассмотрим последовательно каждый из этих способов.

### Балочный метод

Существо способа заключается в использовании общих черновых калибров для прокатки швеллеров и балок.

Главным достоинством метода является сокращение парка валков и сокращение числа перевалок при переходе с швеллера на балку и обратно, однако необходимость весьма энергичных обжатий ложных фланцев в черновых калибрах (рис. 61) делает его нерациональным с точки зрения расхода энер-

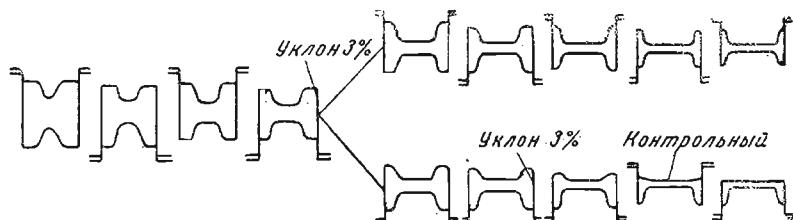


Рис. 61

гии и сохранения равномерности деформаций по всему профилю. Другим важным недостатком является малый выпуск калибров (обычно не более 3%), обуславливающий уменьшение возможного числа переточек по мере выработки ширины калибра.

Отсутствие условия общности черновых калибров для швеллеров и балок позволяет значительно сократить размеры ложных фланцев, увеличить выпуск калибров (до 15%) и получить более удовлетворительную калибровку.

### Калибровка с увеличенным выпуском

Этот способ схематически показан на рис. 62. Как видно из чертежа, все калибры, за исключением чистового, растачиваются с весьма значительным выпуском.

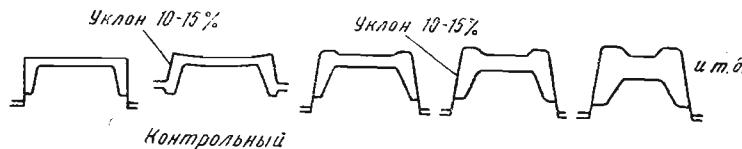


Рис. 62

Благодаря большому выпуску калибров уменьшается износ валков и можно осуществлять минимальный съем по диаметру

валка при переточках (экономия валков). Кроме того, с увеличением выпуска появляется возможность более энергичного обжатия во всех черновых калибрах, что сокращает число пропусков при прокатке.

Прогиб шейки во втором калибре (рис. 62) предусмотрен для предупреждения резкого изгиба фланца при задаче профиля в чистовой калибр. Такой изгиб мог бы повести к появлению вредных напряжений в углах и образованию морщин на внутренней поверхности профиля (в местах соединения полок с шейкой).

Калибровка с увеличенным выпуском работает очень хорошо. К числу некоторых несущественных недостатков данной системы следует отнести: 1) возможное возникновение трудностей при задаче в чистовой калибр (вследствие значительной разницы между шириной профиля и шириной чистового калибра); 2) возрастание ширины каждого калибра с увеличением выпуска, что иногда может повести к уменьшению числа калибров, размещающихся на валке (этот недостаток можно компенсировать общим уменьшением числа калибров вследствие увеличения вытяжек при этой системе).

### Калибровка по методу сгибаания

Данный метод калибровки представляет дальнейшее развитие предыдущего.

На рис. 63 и 64 представлены два варианта калибровок по методу сгибаания. Каждый из них аналогичен методу калибровки углового железа и носит название «уголкового способа».

Максимальные обжатия производятся в первых пропусках, пока профиль находится в стадии формирования. В последних пропусках осуществляется, главным образом, сгибание при весьма небольших обжатиях.

Указанному распределению обжатий способствует равенство катящих диаметров, увеличивающее стойкость валков, и незначительный (по сравнению с другими методами калибровки)

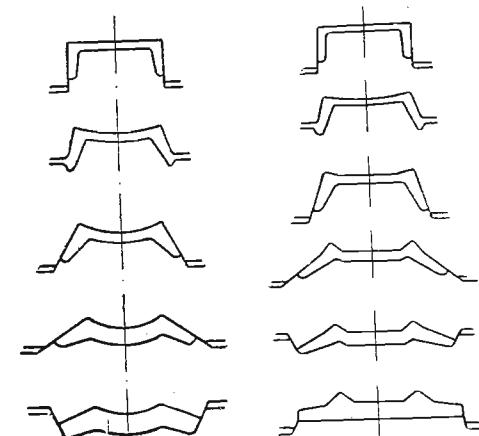


Рис. 63

Рис. 64

врез в валки черновых калибров, что увеличивает прочность валков.

Недостатками описываемого метода, как и в предыдущем случае, являются затрудненные условия проникновения профиля в калибр и значительное увеличение ширины черновых калибров, сокращающее размеры буртов.

## 20. Контрольные калибры

Как уже указывалось выше, при калибровке швеллеров отсутствует строгое чередование открытых и закрытых фланцев, как при калибровке балок. Несколько открытых калибров следуют один за другим, способствуя лучшему образованию фланцев и более быстрому формированию профиля.

Однако, как явствует из самого характера деформаций в открытых и закрытых фланцах, точный размер высоты последних можно определить только для закрытого калибра, в котором фланцы подвергаются обжатию по высоте. Высота открытых фланцев всегда несколько неопределенна вследствие невозможности точного учета величины приращения их высоты.

Поэтому для регулирования высоты фланцев необходимо время от времени открытые калибры чередовать с закрытыми или полузакрытыми, которые, согласно их назначению, мы будем в дальнейшем называть контрольными (рис. 61—64).

При прокатке швеллеров обычно делают один-два контрольных калибра, если дополнительные обстоятельства не вынуждают делать их больше.

С точки зрения задачи получения точных размеров полок готового профиля было бы целесообразно сделать контрольным чистовой калибр, однако в таком случае могут встретиться затруднения с получением правильных (острых) кромок в углах профиля, которые окажутся невыполнимыми при недостаточном обжатии или получатся с заусенцами при самом незначительном переполнении калибра. Целесообразнее делать контрольным предчистовой калибр или следующий за ним, оставив чистовой калибр открытым. Получения неточной высоты фланцев или заусенцев на их концах можно не опасаться, так как обжатие в чистовом калибре обычно выбирается незначительным.

Второй контрольный калибр желательно иметь первым или вторым (по ходу прокатки) после разрезного. Он устраняет неточности по высоте фланцев вследствие колебаний в размерах заготовки \*.

\* При наличии разрезного калибра с разъемом посередине надобность во втором контрольном калибре отпадает, так как форма такого разрезного калибра обеспечивает получение точной высоты фланцев.

При калибровке швеллера всегда надо стремиться к ограничению числа закрытых (контрольных) калибров, так как применение их связано с уменьшением коэффициентов деформации (и, следовательно, с возрастанием числа пропусков) и увеличением высоты исходной заготовки. В некоторых случаях, главным образом при прокатке в станах трио, наличие дополнительных разрезных калибров вызывает неизбежность ~~появления~~ вреза в открытом калибре без образования высоких двойных бортов (реборд), которые не могут выдержать значительных боковых усилий, развиваемых при прокатке.

На рис. 65 показаны валки стана трио с размещенными на них черновыми калибрами для прокатки швеллера. Необходимость в закрытом среднем калибре обусловлена обстоятельст-

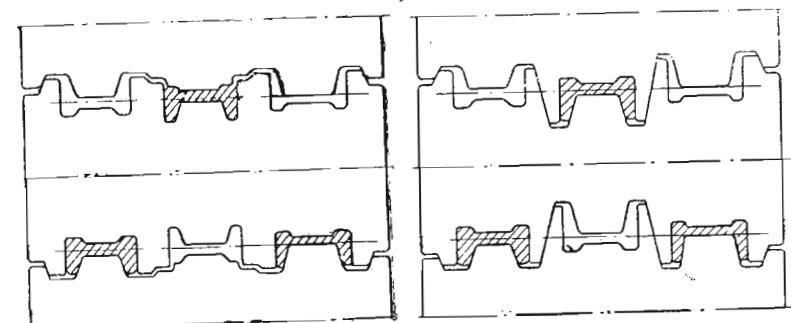


Рис. 65

Рис. 66

вами, изложенным выше. Попытка заменить средний калибр открытым (рис. 66) приводит к значительному ослаблению буртов и диаметров валков, вследствие чего возникает опасность их поломки в процессе работы.

Наличие на валках неиспользованных калибров (незаштрихованные) связано с применением в данном случае четырехвалковой системы работы, описанной в ряде руководств по прокатке и калибровке \*.

Форма контрольных калибров зависит от системы калибровки, а также от места их в выбранной системе.

На рис. 67 изображены типы контрольных калибров, употребляемых при прокатке швеллеров, причем калибр типа I обычно употребляется в качестве предчистового контрольного калиб-

\* См., например, Hütte — Справочник прокатчика.

ра, остальные калибры — в качестве черновых или контрольных после разрезания заготовки. Калибр типа 3 обычно называют полузакрытым.

По характеру деформации полузакрытые калибры существенно отличаются от закрытых. Как видно из чертежа (рис. 68),

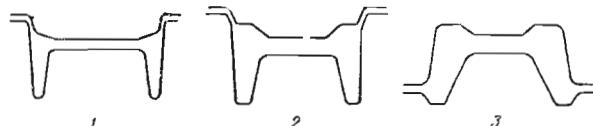


Рис. 67

средняя и верхняя части фланца в данном случае обрабатываются и верхним и нижним валками, т. е. деформация в соответствующих частях профиля схожа с деформацией в открытых калибрах. Только в самой нижней части калибр по существу является закрытым.

Форма полузакрытого калибра определяет характер распределения обжатий по его высоте. Если в нижней части обжатие

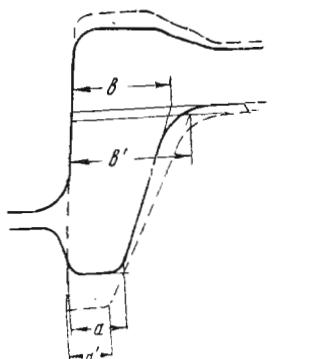


Рис. 68

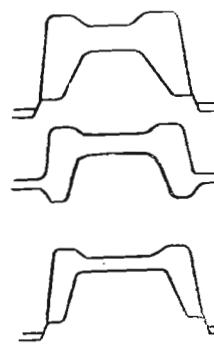


Рис. 69

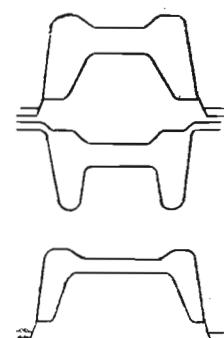


Рис. 70

толщины фланца недопустимо, так как ведет к выдавливанию металла в зазор между валками, то по мере удаления от зазора к основанию фланца пропорционально может увеличиваться и обжатие толщины (см. рис. 68), достигая в месте соединения фланца с шейкой величины  $K$  (см. § 21). Образования заусенцев в месте открытия калибра можно не опасаться, так как форма фланца препятствует перемещению металла к его концу.

В качестве дополнительных преимуществ полузакрытых калибров необходимо отметить следующие:

1. Полузакрытый калибр имеет наклон фланцев в ту же сторону, что и открытые калибры, благодаря чему при задаче полосы в полузакрытый калибр отсутствует вредный перегиб фланцев, как при употреблении закрытых калибров. Перегиб фланцев вызывает затруднения при задаче штуки, дополнительный расход энергии на изгиб и возникновение остаточных напряжений в готовом профиле. Сказанное делается ясным из рассмотрения рис. 69 и 70, где изображение дано в несколько утрированном виде.

2. Отсутствие явления перегиба фланцев в полузакрытых калибрах позволяет увеличить выпуск смежных калибров, что благоприятно отзывается на сроке их службы и увеличивает число возможных переточек валков.

3. Полузакрытые калибры меньше ослабляют диаметры валков, чем закрытые.

## 21. Коэффициенты деформации

Выбор коэффициентов деформации при калибровке швеллеров можно базировать на положениях, приведенных выше при описании метода калибровки двутавровых балок.

Отклонения от ряда постепенно повышающихся коэффициентов деформации (по ходу калибровки) допустимы только для контрольных калибров, в которых величина коэффициента деформации должна быть ограничена, потому что значительные обжатия толщины фланцев в этих калибрах недопустимы. Несоблюдение данного правила может повести к образованию заусенцев в местах открытия калибра.

### Коэффициент обжатия в первом контрольном калибре

К выбору величины обжатия в первом контрольном калибре следует отнести особенно осторожно. Надо помнить, что окончательные размеры готового профиля зависят от размеров фланцев, полученных из этого калибра.

Как уже указывалось, увеличение обжатия толщины в закрытом фланце приводит к увеличению его утяжки и создает опасность невыполнения высоты фланцев конечного профиля. Учитывая указанное обстоятельство и постепенное увеличение толщины фланца, поступающего из открытой части предыдущего по ходу прокатки калибра (вследствие его износа), целесообразно ограничиться весьма небольшим обжатием основания или вообще отказаться от обжатия толщины фланца в первом контрольном калибре.

При некотором обжатии основания фланца по толщине общий коэффициент деформации для первого контрольного калибра ( $k'_{\text{контр}}$ ) можно определить из отношения площадей фланцев контрольного и последующего калибров

$$k'_{\text{контр}} = \frac{F'_0}{F_3} = \frac{\frac{1}{2}(a'_0 + b'_0) h'_0}{\frac{1}{2}(a_3 + b_3) h_3}$$

Обозначая коэффициент обжатия толщины закрытого фланца у основания через  $\lambda_b$ , а коэффициент обжатия толщины фланца на конце через  $\lambda_a$ , имеем:

$$a'_0 = a_3 \lambda_a; \quad b'_0 = b_3 \lambda_b; \quad h'_0 = h_3 \eta_3$$

Принимаем  $\lambda_a$  равным единице, так как конец фланца по толщине не обжимается, тогда

$$a'_0 = a_3 \lambda_a = a_3.$$

После подстановки получаем

$$k'_{\text{контр}} = \frac{\frac{1}{2}(a_3 + b_3 \lambda_b) h_3 \eta_3}{\frac{1}{2}(a_3 + b_3) h_3}$$

$$k'_{\text{контр}} = \frac{a_3 + b_3 \lambda_b}{a_3 + b_3} \cdot \eta_3 \quad (29)$$

Величина  $\lambda_b$  для первого контрольного калибра принимается в пределах 1,0 ± 1,08.

На практике фланец обжатию по толщине обычно не подвергается; в таком случае

$$\lambda_b = \lambda_a = 1,0$$

и уравнение (29) принимает вид:

$$k'_{\text{контр}} = \eta_3$$

т.е. общий коэффициент деформации равен коэффициенту обжатия фланца по высоте.

Согласно уравнению (6),

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}},$$

но, как показывает практика определения размеров калибров для швеллеров, введение  $d$  и  $d'$  при подсчете не оказывает существенного влияния на величину  $\eta$  и уравнение (6) можно упростить, считая

$$\eta_3 = \frac{h'_0}{h_3} = \frac{h_3 + \Delta h_3}{h_3} = 1 + \frac{\Delta h_3}{h_3}$$

~~$\Delta h_3$~~

Подставляя вместо  $\Delta h_3$  значение, полученное из уравнения (1),

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{\text{ш}} - h_3},$$

имеем

$$k'_{\text{контр}} = \eta_3 = 1 + \frac{h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} \quad (30)$$

Выражение (30) удобно тем, что величины  $D_{\text{ш}}$  и  $h_3$  в процессе калибровки изменяются весьма незначительно, и коэффициент деформации в контрольном калибре можно рассчитывать заблаговременно, приняв  $D_{\text{ш}}$  и  $h_3$  по первому калибру.

#### Коэффициенты деформации в последующих контрольных калибрах

Второй и последующие (если они имеются) контрольные калибры чаще всего делаются полузакрытыми, и потому в них можно давать более или менее значительные боковые обжатия, но только у основания фланца.

Исходя из данных § 20, для подсчета коэффициентов деформации в этих калибрах ( $k''_{\text{контр}}$ ) принимаем следующие условия:

1) коэффициент обжатия толщины на конце фланца

$$\lambda_a = 1,0;$$

2) коэффициент обжатия толщины у основания фланца

$$\lambda_b = k''_{\text{контр}};$$

3) общий коэффициент деформации фланца должен быть равен коэффициенту деформации шейки:

$$\lambda_3 \eta_3 = k''_{\text{шт}} = k''_{\text{контр}},$$

где  $\lambda_3$  подсчитывается как среднее арифметическое между  $\lambda_a$  и  $\lambda_b$ :

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_a + \lambda_b}{2} = \frac{1 + k''_{\text{контр}}}{2}.$$

Подставляя в последнее уравнение значение  $\lambda_3$  из условия 3, получаем

$$\frac{1 + k''_{\text{контр}}}{2} \cdot \eta_3 = k''_{\text{контр}},$$

откуда

$$k''_{\text{контр}} = \frac{\eta_3}{2 - \eta_3}. \quad (31)$$

Полученное выражение для удобства использования преобразуем, подставляя вместо  $\eta_3$  его значение из уравнения (30)

$$k''_{\text{контр}} = \frac{1 + \frac{h_3}{D_{\text{ш}} - h_3}}{2 - \left(1 + \frac{h_3}{D_{\text{ш}} - h_3}\right)},$$

откуда

$$k''_{\text{контр}} = \frac{D_{\text{ш}}}{D_{\text{ш}} - 2h_3}. \quad (32)$$

Как и уравнение (30), уравнение (32) позволяет определять  $k''_{\text{контр}}$  до начала калибровки.

#### Определение общего коэффициента деформации

Прокатка швеллеров осуществляется примерно в то же количество пропусков, что и прокатка двутавровых балок. При калибровке швеллеров, как и при калибровке балок, в некоторых случаях, во избежание перерасчетов и пробных подстановок, очень важно заранее знать величину общего коэффициента деформации. Практика расчетов калибровок швеллеров показыва-

ет, что коэффициент обжатия высоты фланцев в открытых калибрах.\*

$$\eta_0 = \frac{h'}{h_0}$$

почти всегда не существенно отличается от единицы (вследствие незначительности величины  $\Delta h_c$ ). Следовательно, коэффициент обжатия толщины в открытых фланцах примерно равен коэффициенту  $k$  деформации в калибре

$$\eta_0 = \frac{k}{r_0} \approx k.$$

Используя указанное обстоятельство, можно без значительных погрешностей определить общий коэффициент деформации, если разделить толщину основания фланца разрезного калибра на толщину основания фланца готового профиля.

Толщину основания фланца разрезного калибра можно предварительно принять равной половине ширины шейки разрезного калибра, тогда

$$k_{\text{общ}} \approx \lambda_{\text{общ}} = \frac{B_p}{2b_1} \quad (33)$$

где  $b_1$  — толщина основания фланца чистового калибра.

Рассуждая точно при определении  $k_{\text{общ}}$  необходимо учесть, что коэффициент обжатия толщины фланцев у основания в первом контрольном калибре обычно выбирается равным единице

$$\lambda_b = 1,0$$

и, следовательно, не равен  $k'_{\text{контр}}$ .

Вводя эту поправку, имеем:

$$\frac{k_{\text{общ}}}{k'_{\text{контр}}} \approx \lambda_{\text{общ}} = \frac{B_p}{2b_1},$$

откуда

$$k_{\text{общ}} \approx \frac{B_p}{2b_1} \cdot k'_{\text{контр}}. \quad (34)$$

Однако поскольку фактически  $\lambda_{\text{общ}}$  будет всегда несколько меньше  $\lambda_{\text{общ}}$  (так как во всех открытых калибрах  $\eta_0 < 1$ ), то при практических расчетах целесообразнее пользоваться уравнением (33).

\*  $h'$  не имеет индекса (о или з), так как за открытymi фланцами известного калибра могут следовать как открытые, так и закрытые фланцы исконного.

Ширина  $B_p$  разрезного калибра подсчитывается путем последовательного уменьшения ширины каждого следующего калибра на величину уширения, определяемого по формуле (13) или из равенства:

$$B_p = B_1 - \sum_{i=1}^n \Delta b,$$

где  $\sum_{i=1}^n \Delta b$  определяется по уравнению (14).

## 22. Ложные фланцы

Ложные фланцы при прокатке швеллеров необходимы для лучшего выполнения углов профиля и предохранения их от охлаждения. Отсутствие ложных фланцев может повести к невыполнению углов профиля, созданию остаточных напряжений в готовом продукте и затруднениям при прокатке. С другой стороны, наличие ложных фланцев вызывает в профиле неравномерную деформацию, ведущую к увеличению расхода энергии на прокатку и повышенному износу валков.

Исходя из сказанного, следует принимать при калибровке минимально необходимые размеры ложных фланцев, если только этому не препятствуют какие-либо иные соображения, например, общность черновых калибров для прокатки швеллеров и балок. В последнем случае ради экономии парка валков приходится мириться с значительными размерами ложных фланцев и, следовательно, с повышенным расходом энергии на прокатку.

Разные авторы дают весьма различные и противоречивые указания для определения размеров ложных фланцев. Основную причину противоречий мы видим в трудности создать достаточно обоснованную теорию или расчет для такого определения. Считая, что роль ложных фланцев ограничивается только тем назначением, о котором было сказано выше, и учитывая желательность упрощения расчетов, мы предлагаем следующие эмпирические формулы для определения высоты и толщины ложных фланцев.

Высота ложных фланцев

$$h_{\text{л.ф}} = (0,03 \div 0,05) h(n-1), \quad (35)$$

где  $h$  — высота действительных фланцев;

$n$  — порядковый номер калибра по ходу калибровки.

Меньшее значение коэффициента (0,03) следует выбирать для калибров следующих (по ходу расчета) за закрытыми.

Толщина ложных фланцев у основания

$$b_{\text{л.ф}} = (1 \div 1,3) b, \quad (36)$$

где  $b$  — толщина основания действительного фланца.

Наибольшее значение коэффициента следует применять для первых (по ходу расчета) калибров, доводя с приближением к разрезному калибру толщину основания ложных фланцев до толщины действительных фланцев

$$b_{\text{л.ф}} = b.$$

Толщина ложных фланцев на конце

$$a_{\text{л.ф}} = (0,6 \div 0,65) b_{\text{л.ф}} \quad (37)^*$$

Образование ложных фланцев следует начинать с предограниченного калибра.

Приведенные формулы следует использовать только при наличии специальной калибровки для прокатки швеллеров. В случае общих черновых калибров для швеллеров и балок высота ложных фланцев подбирается с таким расчетом, чтобы в заданное число пропусков постепенно довести размеры ложных фланцев до размеров действительных. Обжатие по высоте в закрытых калибрах (в них ложные фланцы открытые) не должно быть чрезмерно большим, чтобы избежать образования заусенцев в углах профиля.

Обжатие высоты ложных фланцев в остальных калибрах можно выбирать примерно пропорциональным коэффициентам деформации в этих калибрах.

## 23. Уширение и условия проникновения профиля в калибр

При калибровке швеллера ширина искомого калибра определяется из выражения

$$B' = B - \Delta b,$$

где  $\Delta b$  — уширение, определяемое из уравнения (13).

Проверки уширения производить не следует, так как уравнение (14)

$$B' = \frac{BF'}{KF}$$

\* Данная формула неприменима к предчистовому калибру; формулу ложных фланцев в этом калибре см. на рис. 67, 1.

применимо только при условии равенства коэффициентов деформации во всех частях профиля, что не имеет места при прокатке швеллеров из-за наличия ложных фланцев.

Как и в случае прокатки балок, увеличение ширины каждого последующего калибра должно обеспечивать легкое проникновение профиля в калибр.

На рис. 71—73 представлены различные случаи задачи профиля.

Вход полосы в калибр при одинаковом уклоне фланцев на профиле и в калибре (рис. 71) осуществляется очень легко и сомнений не вызывает. В случае перегиба фланцев в чистовом калибре (рис. 72) условия беспрепятственного входа полосы в

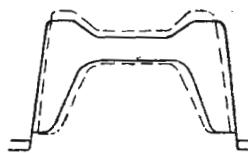


Рис. 71

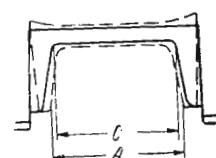


Рис. 72



Рис. 73

калибр не отличаются от таковых для закрытых фланцев двутавровой балки. На рис. 73 показано положение, когда захвату полосы валками предшествует более или менее значительный изгиб фланцев профиля при входе его в калибр. Процесс проникновения полосы в калибр для указанных случаев показан на рис. 74, изображающем последовательные сечения очага деформации вертикальными плоскостями, параллельными плоскости, проходящей через оси валков.

Профиль, имеющий значительную ширину (по сравнению с калибром), встречается с буртами верхнего валка в точках  $E_1$  и  $E_2$  (рис. 73). Углы бортов постепенно отгибают передний конец полосы вниз, до тех пор, пока она не коснется закругленных углов  $D$  (рис. 74) нижнего валка, после чего начинается быстрый изгиб фланцев между боковыми стенками калибра.

Необходимо отметить, что захват полосы валками фактически происходит лишь в промежутке между сечениями I и II (см. рис. 74). До этого момента изгиб переднего конца полосы происходит за счет использования кинетической энергии движения, которая должна быть больше энергии, затрачиваемой на сгибание полосы. Следовательно, возможность проникновения полосы в калибр связана с ее весом и скоростью задачи.

Для полного выяснения всей картины деформации укажем еще на следующие два обстоятельства, связанные с прокаткой полосы в описываемом случае.

1. Изгиб полосы вниз (от положения, изображенного пунктиром в сечении I—I, до положения в сечении II—II (рис. 74), имеет место только для переднего конца ее. В дальнейшем фланцы, получившие значительный изгиб в сечении III—III, увлекают в том же направлении части фланцев, непосредственно следующие вслед за изгибающимися, т. е. изгиб фланцев передается по полосе, последовательно опережая поступление. При установленном процессе прокатки в сечении I—I воздействие углов  $F$  на фланцы прекращается и последующие части полосы входят в валки без вынужденного перегиба.

2. Наличие острых углов  $F$  на верхнем валке может повести к «закусыванию» фланца между боковыми стенками калибра в момент захвата его валками и вызвать порчу поверхности готового профиля, что подтверждается рассмотрением сечения II—II на рис. 74. Во избежание закусывания необходимо выполнять указанные углы с достаточно большим радиусом закругления. Правильные очертания бурта калибра, который осуществляет первоначальное сгибание фланцев, показаны на рис. 75.

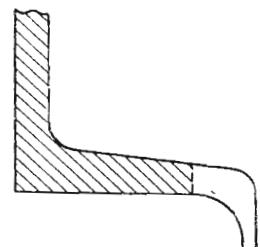


Рис. 75

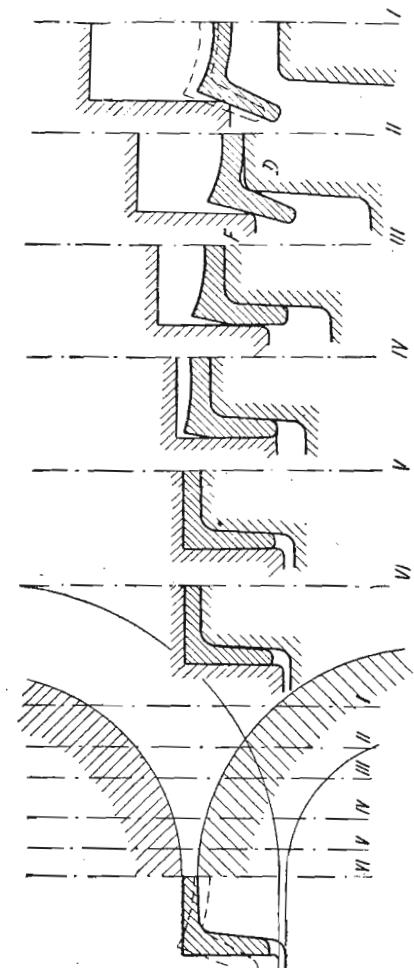


Рис. 74

## 24. Схема расчета калибров для прокатки швеллеров

По характеру профиль швеллера весьма сходен с профилем двутавровой балки. Наличие ложных фланцев делает сходство еще более полным. Поэтому большинство авторов принимает в основу расчета калибров для швеллеров те же положения, что и в основу расчетов калибров для балок.

Благодаря наличию ложных фланцев, соблюдение принципа равенства коэффициентов деформации во всех частях профиля

встречает при калибровке швеллеров значительные затруднения. Однако рассмотрение формы калибра показывает, что неравномерная деформация будет происходить, главным образом, в местах соединения шейки с фланцами. Сюда же будет направлено истечение металла из шейки и фланца вследствие уширения при прокатке. Таким образом, если за основу калибровки принять равенство коэффициентов деформации в шейке и фланцах, то можно предполагать, что зоны возможных перемещений металла будут ограничены местами, указанными на рис. 76.

Исходя из приведенных рассуждений, можно наметить следующий порядок расчета отдельных элементов калибра.

### Определение размеров действительных фланцев

Высота фланцев искомого калибра, следующего (по ходу расчета) за открытым калибром<sup>1</sup>

$$h' = h_0 + \Delta h_0,$$

где согласно уравнению (2)

$$\Delta h_0 = -\frac{dh_0}{D_{ш} + d}$$

Если искомый калибр следует (по ходу расчета) за закрытым, то

$$h'_0 = h_3 + \Delta h_3,$$

где, согласно уравнению (1),

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{ш} - h_3}.$$

<sup>1</sup> Искомый фланец может быть как открытым, так и закрытым.

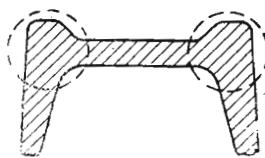


Рис. 76

Зная высоту искомого фланца, определяем коэффициенты обжатия его высоты и толщины в предыдущем калибре

$$\eta_0 = \frac{h'}{h_0}; \quad \lambda_0 = \frac{k}{\eta_0}$$

или

$$\eta_3 = \frac{h'_0}{h_3}; \quad \lambda_3 = \frac{k}{\eta_3},$$

после чего можно определить толщину искомого фланца у основания и на конце:

$$b' = b_0 \lambda_0; \quad a' = a_0 \lambda_0;$$

или

$$b'_0 = b_3 \lambda_3; \quad a'_0 = a_3 \lambda_3 - \Delta a_3.$$

Поправка  $\Delta a$  вводится в формулу для определения  $a'_0$  в тех случаях, когда желательно полностью устранить обжатие фланца по толщине на его конце. Необходимость введения поправки при расчете открытого фланца следующего за закрытым хорошо видна из рис. 77, где изображены два возможных случая обжатия фланца в закрытом калибре.

Из подобия треугольников  $cdf$  и  $efg$  имеем

$$\frac{eg}{cd} = \frac{gf}{cf}$$

или

$$\frac{\Delta a}{b'_0 - a_3} = \frac{\Delta h_3}{h_3},$$

откуда

$$\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_0 - a_3)}{h_3}. \quad (38)$$

Поправку можно вводить или в процессе расчета или при корректировании окончательных размеров калибров.

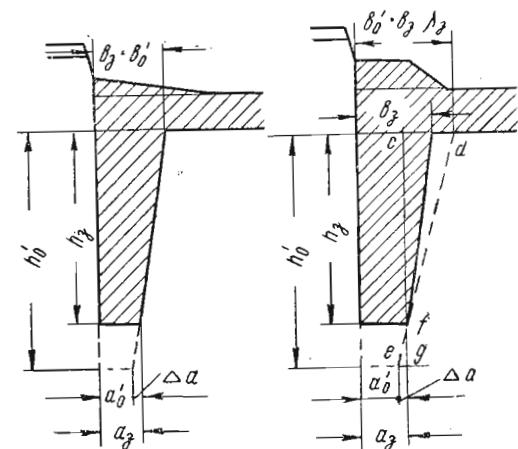


Рис. 77

### Определение размеров шейки

Толщина шейки

$$d' = d \cdot k.$$

Ширина шейки

$$B' = B - \Delta b,$$

где

$$\Delta b = 0,01 B + (n - 1).$$

### Определение размеров ложных фланцев

Размеры ложных фланцев определяются из уравнений (35), (36), (37)

$$h'_{\text{л. ф.}} = (0,03 \div 0,05) h' \cdot (n - 1);$$

$$b'_{\text{л. ф.}} = (1,0 \div 1,3) b;$$

$$a'_{\text{л. ф.}} = (0,6 \div 0,65) b'_{\text{л. ф.}}$$

Некоторые дополнительные соображения по части высоты ложных фланцев указаны в приводимом ниже примере калибровки швеллера.

В случае прокатки швеллеров и балок из общих черновых калибров изменение высоты ложных фланцев производится пропорционально общему коэффициенту деформации в данном калибре.

## 25. Пример калибровки швеллеров № 16

Дано. Характеристика стана и прочие условия согласно калибровке балки № 16 (стр. 84).

Размеры холодного профиля:  $B = 160 \text{ мм}$ ;  $H = 63 \text{ и } 65 \text{ мм}$ ;  $d = 6,5 \text{ и } 8,5 \text{ мм}$ ;  $t = 10 \text{ мм}$ ;  $R = 10 \text{ мм}$  (рис. 78); уклон внутренних граней 10%;  $r = 5 \text{ мм}$ .

Поскольку при настройке стана наибольшие затруднения, встречаются при получении тонкой шейки, для расчета принимаем

$$d = 6,5 \text{ мм.}$$

Определяем некоторые дополнительные размеры.

### Высота фланцев

$$h = H - d = 63,0 - 6,5 = 56,0 - 8,5 = 56,5 \text{ мм.}$$

### Толщина фланцев у основания

$$b = t + \frac{h}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 + \frac{56,5}{2} \cdot 0,1 = 12,8 \text{ мм.}$$

### Толщина фланцев на конце

$$a = t - \frac{h}{2} \operatorname{tg} \alpha = 10 - \frac{56,5}{2} \cdot 0,1 = 7,2 \text{ мм.}$$

Определяем горячие размеры чистового профиля:

$$B = 160 \cdot 1,013 = 162 \text{ мм};$$

$$d = 6,5 \cdot 1,013 = 6,6 \text{ мм};$$

$$h = 56,5 \cdot 1,013 = 57,2 \text{ мм};$$

$$b = 12,8 \cdot 1,013 = 13,0 \text{ мм};$$

$$a = 7,2 \cdot 1,013 = 7,3 \text{ мм.}$$

Для предварительного определения числа пропусков и общей схемы прокатки намечаем коэффициенты деформации в отдельных калибрах.

Принимаем в рассчитываемой системе калибровки два контрольных калибра — предчистовой и один из первых фасонных калибров.

Коэффициент деформации в контрольных калибрах определяем согласно уравнениям (30) и (32).

Для первого (предчистового) контрольного калибра

$$k'_{\text{контр}} = 1 + \frac{h_3}{D_{\text{ш}} - h_3}.$$

Считая

$$h_3 \approx h = 56,5,$$

$$D_{\text{ш}} \approx 0,9 D - d = 0,9 \cdot 540 - 6,5 = 480 \text{ мм},$$

получаем

$$k'_{\text{контр}} = 1 + \frac{56,5}{480 - 56,5} = 1,133.$$

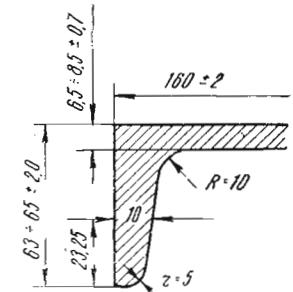


Рис. 78

Для второго контрольного калибра

$$k''_{\text{контр}} = \frac{D_{\text{ш}}}{D_{\text{ш}} - 2h_3}.$$

Диаметр валков первых клетей стана равен 630 мм. Толщина шейки и высота фланца неизвестны. Для определения  $k$  ориентировочно принимаем

$$d = 22 \text{ мм}; h = 58 \text{ мм}.$$

Как показывает практика расчетов, даже значительные ошибки при назначении  $d$  и  $h$  не вызывают существенных отклонений в величине  $k''_{\text{контр}}$ .

$$D_{\text{мин}} = 0,9 \cdot 630 - 20 = 547 \text{ мм};$$

$$k''_{\text{контр}} = \frac{547 - 22}{(547 - 22) - 2 \cdot 58} = 1,28.$$

Для предварительных подсчетов принимаем общее число фасонных калибров (стр. 54)

$$n = 7.$$

Далее, на основании практических данных, намечаем предварительно для остальных четырех\* калибров следующие коэффициенты деформации, представляющие арифметический ряд с знаменателем прогрессии 0,15:

$$1,1; 1,25; 1,4; 1,55.$$

Тогда общий коэффициент деформации толщины фланцев, за вычетом коэффициента в первом контрольном калибре (согласно условию по толщине фланцы в нем обжимаются), составит:

$$\lambda_{\text{общ}} = 1,28 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,4 \cdot 1,55 = 3,82.$$

Для определения фактического общего коэффициента деформации находим ширину первых семи калибров.

Ширина второго калибра

$$B_2 = B_1 - \Delta b_1,$$

где

$$\Delta b_1 = 0,01 \cdot B_1 + (n - 1) = 0,01 \cdot 162 + (1 - 1) = 1,6 \text{ мм};$$

$$B_2 = 162 - 1,6 = 160,4 \text{ мм}.$$

Ширина третьего калибра

$$\Delta b_2 = 0,01 \cdot 160,4 + (2 - 1) \approx 2,6 \text{ мм};$$

$$B_3 = B_2 - \Delta b_2 = 160,4 - 2,6 = 157,8 \text{ мм}.$$

\* Коэффициент деформации в разрезном калибре определяется после подсчета высоты заготовки, задаваемой в этот калибр.

Аналогичным расчетом получаем ширину калибров: четвертого — 154,2 мм, пятого — 149,8 мм, шестого — 144,3 мм, седьмого — 138 мм и восьмого\* 130,6 мм.

Общий коэффициент деформации в семи калибрах согласно уравнению (33)

$$k_{1-7} = \frac{B_r}{2b_1} = \frac{138}{2 \cdot 13} \approx 5,3,$$

что больше полученного в

$$\frac{5,3}{3,82} \approx 1,39 \text{ раза.}$$

Необходимо увеличить принятые коэффициенты деформации, чтобы их произведение давало 5,3, или увеличить число калибров до восьми. В данном случае целесообразнее увеличить число калибров. Принимаем еще один калибр с коэффициентом обжатия 1,5 и одновременно уменьшаем коэффициенты 1,4 и 1,55 до 1,35 и 1,5, чтобы произведение всех коэффициентов деформации давало

$$k_{\text{общ}} = 5,3.$$

Составляем окончательную схему калибровки в восемь пропусков (табл. 7).

Таблица 7  
Схема калибровки швеллера № 16

№ калибра	1	2	3	4	5	6	7	8
№ клети . . . . .	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
Форма калибра . . .								
Коэффициент деформации . . . . .	1,1	1,133	1,25	1,35	1,5	1,28	1,5	

\* Ширина разрезного калибра могла быть найдена сразу по уравнению (14), но, предвидя необходимость определения ширины каждого калибра в процессе калибровки, проще определить ее, как указано.

**Первый калибр (клеть IX)**

Размеры профиля в клети IX принимаем равными горячим размерам

$$B' = 162 \text{ мм}, \quad d' = 6,6 \text{ мм}, \quad h' = 57,2 \text{ мм}, \\ b'_0 = 13 \text{ мм}, \quad a'_0 = 7,3 \text{ мм}.$$

Площадь фланца

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} h'_0 = \frac{7,3 + 13,0}{2} 57,2 = 581 \text{ мм}^2.$$

Площадь шейки

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 162 \cdot 6,6 = 1070 \text{ мм}^2.$$

Площадь профиля без учета радиусов закругления

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_0 = 1070 + 2 \cdot 581 = 2232 \text{ мм}^2.$$

**Второй калибр (клеть VIII)**

Расчетный коэффициент обжатия 1,1 (коэффициент обжатия в клети IX).

Высота действительных (закрытых) фланцев

$$h'_3 = h_0 + \Delta h_0;$$

где

$$\Delta h_0 = - \frac{d h_0}{D_{\text{ш}} + d};$$

$$h'_3 = 57,2 - \frac{6,6 \cdot 57,2}{(486 - 6,6) + 6,6} = 56,4 \text{ мм}.$$

Коэффициенты обжатий высоты и толщины в открытом фланце первого калибра

$$\lambda_0 = \frac{k}{\tau_0} = \frac{1,1}{0,985} = 1,12; \quad \eta_0 = \frac{h'_3}{h_0} = \frac{56,4}{57,2} = 0,985.$$

Действительные фланцы. Толщина фланца у основания

$$b'_3 = b_0 \lambda_c = 13 \cdot 1,12 = 14,5 \text{ мм}.$$

**Толщина фланца на конце**

$$a'_3 = a_0 \lambda_0 = 7,3 \cdot 1,12 = 8,2 \text{ мм}.$$

**Площадь фланца**

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} h'_3 = \frac{8,2 + 14,5}{2} 56,4 = 640 \text{ мм}^2.$$

Ложные фланцы. Высота ложных фланцев

$$h'_0 = (0,03 \div 0,05) h'_3 \cdot (n - 1); \quad h'_0 = 0,04 \cdot 56,4 (2 - 1) \approx 3,0 \text{ мм}.$$

**Толщина фланцев у основания**

$$b'_0 = (1,0 + 1,3) b'_3 = 1,3 \cdot 14,5 \approx 19,0 \text{ мм}.$$

Согласно принятой форме ложных фланцев, толщина их на конце

$$a'_0 = 0$$

**Площадь фланца**

$$F'_0 = \frac{b'_0 + a'_0}{2} h'_0 = \frac{19,0 + 0}{2} \cdot 3,0 \approx 29 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Толщина шейки

$$d' = d \cdot k = 6,6 \cdot 1,1 = 7,25 \text{ мм}.$$

**Ширина шейки**

$$B' = 160,4 \text{ мм}.$$

**Площадь шейки**

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 160,4 \cdot 7,25 = 1162 \text{ мм}^2.$$

**Площадь всего калибра**

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_3 + 2F'_0 = 1162 + 2 \cdot 640 + 2 \cdot 29 = 2500 \text{ мм}^2.$$

**Третий калибр (клеть VII)**

Расчетный коэффициент обжатия предварительно принят 1,133 (коэффициент обжатия в первом контрольном калибре).

Высота действительных фланцев

$$h'_o = h_3 + \Delta h_3,$$

где

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{ш} - h_3} = \frac{56,4^2}{(486 - 7,25) - 56,4} = 7,5 \text{ мм};$$

$$h'_o = 56,4 + 7,5 = 63,9 \text{ мм.}$$

Проверяем принятый коэффициент обжатия

$$\eta_3 = \frac{h'_o}{h_3} = \frac{63,9}{56,4} = 1,133 = k'_{\text{контр.}}$$

Коэффициент обжатия толщины

$$\lambda = \frac{1,133}{1,133} = 1,$$

как и принято по условию.

Действительные фланцы. Толщина фланца у основания

$$b'_o = b_3 \cdot \lambda_3 = 14,5 \cdot 1 = 14,5 \text{ мм.}$$

Толщина фланца на конце

$$a'_o = a_3 \cdot \lambda_3 = 8,2 \cdot 1 = 8,2 \text{ мм.}$$

Площадь фланца

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \cdot h'_o = \frac{8,2 + 14,5}{2} \cdot 63,9 = 725 \text{ мм}^2.$$

Ложные фланцы. Высота ложных фланцев

$$h'_s = 0,04 h'_o (n - 1) = 0,04 \cdot 63,9 (3 - 1) \approx 5 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_s = 1,3 b'_o = 1,3 \cdot 14,5 \approx 19 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_s = (0,6 + 0,65) \cdot b'_s = 0,6 \cdot 19 \approx 11 \text{ мм.}$$

Площадь фланца

$$F'_s = \frac{a'_s + b'_s}{2} \cdot h'_s = \frac{11 + 19}{2} \cdot 5 = 75 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Толщина шейки

$$d' = d \cdot k = 7,25 \cdot 1,133 = 8,2 \text{ мм.}$$

Ширина шейки

$$B' = 157,8 \text{ мм.}$$

Площадь шейки

$$F'_{ш} = d' \cdot B' = 8,2 \cdot 157,8 = 1295 \text{ мм}^2.$$

Площадь калибра

$$F' = F'_{ш} + 2F'_s + 2F'_o = 1295 + 2 \cdot 725 + 2 \cdot 75 \approx 2900 \text{ мм}^2.$$

**Четвертый калибр (клеть VI)**

Расчетный коэффициент обжатия 1,25.

Продолжая расчет в той же последовательности, имеем:

$$h'_o = h_o + \Delta h_o = 63,9 - 1,08 \approx 62,8 \text{ мм};$$

$$\Delta h_o = -\frac{dh_o}{D_{ш} + d} = -\frac{8,2 \cdot 63,9}{(486 - 8,2) + 8,2} = -1,08 \text{ мм};$$

$$\eta_o = \frac{h'_o}{h_o} = \frac{62,8}{63,9} = 0,985;$$

$$\lambda_o \frac{k}{\eta_o} = \frac{1,25}{0,985} = 1,27.$$

Действительные фланцы. Определяем:

$$b'_o = b_o \cdot \lambda_o = 14,5 \cdot 1,27 = 18,4 \text{ мм};$$

$$a'_o = a_o \cdot \lambda_o = 8,2 \cdot 1,27 = 10,4 \text{ мм};$$

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \cdot h'_o = \frac{10,4 + 18,4}{2} \cdot 62,8 = 905 \text{ мм}^2.$$

Ложные фланцы. Определяем:

$$h'_s = 0,04 h'_o (n - 1) = 0,04 \cdot 62,8 (4 - 1) \approx 8 \text{ мм};$$

$$b'_s = 1,2 b'_o = 1,2 \cdot 18,4 = 22 \text{ мм};$$

$$a'_s = 0,6 b'_s = 0,6 \cdot 22 = 13 \text{ мм};$$

$$F'_s = \frac{a'_s + b'_s}{2} \cdot h'_s = \frac{13,0 + 22}{2} \cdot 8,0 = 140 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$d' = d \cdot k = 8,2 \cdot 1,25 = 10,25 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 157,8 - 0,01 \cdot 157,8 + (3 - 1) = 154,2 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 154,2 \cdot 10,25 = 1580 \text{ мм}^2;$$

$$F' = 2 F'_o + 2 F'_s + F'_{\text{ш}} = 2 \cdot 905 + 2 \cdot 140 + 1580 = 3670 \text{ мм}.$$

### Пятый калибр (клеть V)

Расчетный коэффициент обжатия 1,35.

$$h'_o = h_o + \Delta h_o;$$

$$\Delta h_o = - \frac{d h_o}{D_{\text{ш}} + d} = - \frac{10,25 \cdot 62,8}{(486 - 10,25) + 10,25} = - 1,3 \text{ мм};$$

$$h'_o = 62,8 - 1,3 = 61,5 \text{ мм};$$

$$\eta_o = \frac{h'_o}{h_o} = \frac{61,5}{62,8} = 0,98;$$

$$\lambda_o = \frac{k}{r_o} = \frac{1,35}{0,98} = 1,377.$$

Действительные фланцы. Определяем:

$$b'_o = b_o \cdot \lambda_o = 18,4 \cdot 1,377 = 25,3 \text{ мм};$$

$$a'_o = a_o \cdot r_o = 10,4 \cdot 1,377 = 14,3 \text{ мм};$$

$$F'_o = \frac{a'_o + b'_o}{2} \cdot h'_o = \frac{14,3 + 25,3}{2} \cdot 61,5 = 1218 \text{ мм}^2$$

Ложные фланцы. Определяем:

$$h'_s = 0,04 h'_o (n - 1) = 0,04 \cdot 61,5 (5 - 1) = 10 \text{ мм};$$

$$b'_s = 1,1 b'_o = 1,1 \cdot 25,3 = 28 \text{ мм};$$

$$a'_s = 0,6 b'_s = 0,6 \cdot 28 \approx 17 \text{ мм};$$

$$F'_s = \frac{a'_s + b'_s}{2} \cdot h'_s = \frac{17 + 28}{2} \cdot 10 = 225 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$d' = d \cdot k = 10,25 \cdot 1,35 = 13,85 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 154,2 - 0,01 \cdot 154,2 + (4 - 1) = 149,7 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = B' \cdot d' = 149,7 \cdot 13,85 = 2070 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_o + 2F'_s = 2070 + 2 \cdot 1218 + 2 \cdot 225 = 4956 \text{ мм}^2;$$

На данном этапе расчета целесообразно проверить коэффициенты деформации пятого, шестого и седьмого калибров (клетей V, IV и III), чтобы избежать перерасчета после окончания калибровки.

Ширина восьмого калибра (клеть II)

$$B_8 = B_7 - 0,01 B_7 \cdot (n - 1) = 138 - 0,01 \cdot 138^* (7 - 1) = 130,6 \text{ мм}$$

Общий коэффициент обжатия толщины фланца в пятом, шестом и седьмом калибрах

$$\lambda_{\text{общ}} = \frac{B_8}{2b_5},$$

где  $b_5$  — толщина основания действительного фланца в пятом калибре;

$$\lambda_{\text{общ}} = \frac{130,6}{2 \cdot 25,3} = 2,58.$$

Произведение принятых коэффициентов деформации в пятом, шестом и седьмом калибрах

$$k_{\text{общ}} = 1,5 \cdot 1,28 \cdot 1,5 = 2,88,$$

\* Величина  $B_7 = 138 \text{ мм}$  была получена выше в начале расчета калибровки.

что несколько больше  $\lambda_{\text{общ}}$ . Фактически расхождение еще больше, так как, рассчитывая  $\lambda_0$  в пятом и седьмом калибрах, как  $\frac{k}{\eta_0}$ , т. е. деля на число меньше 1, мы получим в этих калибрах величину  $\lambda_0$  больше  $k$  и, следовательно, общее произведение их больше 2,88. Исходя из этого,  $k_{\text{общ}}$  должно быть несколько меньше  $\lambda_{\text{общ}}$ .

Для равномерного распределения нагрузки по клетям уменьшаем коэффициенты деформации в пятом и седьмом калибрах до 1,4, в результате получаем:

$$k_{\text{общ}} = 1,4 \cdot 1,28 \cdot 1,4 = 2,51.$$

### Шестой калибр (клеть V)

Расчетный коэффициент обжатия 1,4.

$$h'_3 = h_0 + \Delta h_0;$$

$$\Delta h_0 = -\frac{dh_0}{(D_{\min}+d)} = -\frac{13,85 \cdot 61,5}{(547 - 13,85) + 13,85} \approx -1,5 \text{ мм}^*;$$

$$h'_3 = 61,5 - 1,5 = 60 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_3}{h_0} = \frac{60}{61,5} = 0,975 \text{ мм};$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,4}{0,975} = 1,43.$$

Действительные фланцы. Определяем:

$$b'_3 = b_0 \lambda_0 = 25,3 \cdot 1,43 = 36,2 \text{ мм};$$

$$a'_3 = a_0 \lambda_0 = 14,3 \cdot 1,43 = 20,4 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \quad h'_3 = \frac{20,4 + 36,2}{2} \cdot 60 = 1700 \text{ мм}^2.$$

\* Величина  $D_{\min} = 547 \text{ мм}$  для клетей I—IV была рассчитана в начале калибровки.

Ложные фланцы. Определяем:

$$h'_0 = 0,04 h_a (n - 1) = 0,04 \cdot 60 (6 - 1) = 12 \text{ мм};$$

$$b'_0 = 1,1 \cdot b'_3 = 1,1 \cdot 36,2 = 40 \text{ мм};$$

$$a'_0 = 0,6 \cdot b'_0 = 24 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} \quad h'_0 = \frac{24 + 40}{2} \cdot 12 = 384 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$d' = d \cdot k = 13,85 \cdot 1,4 = 19,4 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 149,7 - 0,01 \cdot 149,7 + (5 - 1) = 144,2 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = d' \cdot B' = 19,4 \cdot 144,2 = 2800 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_3 + 2F'_0 = 2800 + 2 \cdot 1700 + 2 \cdot 384 = 6970 \text{ мм}^2.$$

### Седьмой калибр (клеть III)

Предварительно рассчитанный коэффициент обжатия в шестом (закрытом) калиbre 1,28.

$$h'_0 = h_3 + \Delta h_3;$$

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{60,0^2}{(547 - 19,4) - 60,0} = 7,7 \text{ мм};$$

$$h'_0 = 60,0 + 7,7 = 67,7 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_0}{h_3} = \frac{67,7}{60,0} = 1,13.$$

По уравнению (32) проверяем коэффициент обжатия

$$k_{\text{контр}} = \frac{D_{\text{ш}}}{D_{\text{ш}} - 2h_3} = \frac{547 - 19,4}{(547 - 19,4) - 2 \cdot 60} = 1,29.$$

(Величину  $k$  можно также определить по уравнениям

$$k_{\text{контр}}' = \frac{\eta_3}{2 - \eta_3}; \quad k_{\text{контр}}'' = \frac{h_3 + \Delta h_3}{h_3 - \Delta h_3}.$$

Таким образом,

$$k = 1,29; \quad \lambda_b = 1,29 \text{ и } \lambda_a = 1.$$

Действительные фланцы. Определяем:

$$b'_0 = b_3 \cdot \lambda_b = 36,2 \cdot 1,29 = 46,6 \text{ мм};$$

$$a'_0 = a_3 \cdot \lambda_a = 20,4 \cdot 1 = 20,4 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} \cdot h'_0 = \frac{20,4 + 46,6}{2} \cdot 67,7 = 2260 \text{ мм}^2.$$

Ложные фланцы. Определяем:

$$h'_3 = 0,04 \cdot h'_0 (n - 1) = 0,04 \cdot 67,7 (7 - 1) = 16 \text{ мм};$$

$$b'_3 = 1 \cdot b'_0 = 46,6 \approx 47 \text{ мм};$$

$$a'_3 = 0,6 \cdot b'_3 = 0,6 \cdot 47 = 28 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \cdot h'_3 = \frac{28 + 47}{2} \cdot 16 = 600 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$d' = d \cdot k = 19,4 \cdot 1,29 = 25,0 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 144,2 - 0,01 \cdot 144,2 + (6 - 1) = 137,8 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = d' \cdot B' = 25,0 \cdot 137,8 = 3440 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_0 + 2F'_3 = 3440 + 2 \cdot 2260 + 2 \cdot 600 = 9160 \text{ мм}^2.$$

### Восьмой калибр (клеть II)

Расчетный коэффициент обжатия 1,4.

$$h'_0 = h_0 + \Delta h_0;$$

$$\Delta h_0 = -\frac{d \cdot h_0}{D_{\text{ш}} + d} = \frac{25 \cdot 67,7}{(547 - 25) + 25} = -3,1 \text{ мм};$$

$$h'_0 = 67,7 - 3,1 = 64,6 \text{ мм};$$

$$\eta_0 = \frac{h'_0}{h_0} = \frac{64,6}{67,7} = 0,96;$$

$$\lambda_0 = \frac{k}{\eta_0} = \frac{1,4}{0,96} = 1,46.$$

Действительные фланцы. Определяем:

$$b'_0 = b_0 \cdot \lambda_0 = 46,6 \cdot 1,46 = 68 \text{ мм};$$

$$a'_0 = a_0 \cdot \lambda_0 = 20,4 \cdot 1,46 = 29,8 \text{ мм};$$

$$F'_0 = \frac{a'_0 + b'_0}{2} \cdot h'_0 = \frac{29,8 + 68,0}{2} \cdot 64,6 = 3190 \text{ мм}^2.$$

Ложные фланцы. Определяем:

$$h'_3 = 0,04 \cdot h'_0 (n - 1) = 0,04 \cdot 64,6 (8 - 1) = 18,0 \text{ мм};$$

$$b'_3 = 1,0 \cdot b'_0 = 68 \text{ мм};$$

$$a'_3 = 0,6 \cdot b'_3 = 0,6 \cdot 68 \approx 40 \text{ мм};$$

$$F'_3 = \frac{a'_3 + b'_3}{2} \cdot h'_3 = \frac{40 + 68}{2} \cdot 18 = 970 \text{ мм}^2.$$

Шейка. Определяем:

$$d' = d \cdot k = 25 \cdot 1,4 = 35,0 \text{ мм};$$

$$B' = B - \Delta b = 137,8 - 0,01 \cdot 137,8 + (7 - 1) = 130,4 \text{ мм};$$

$$F'_{\text{ш}} = d' \cdot B' = 35,0 \cdot 130,4 = 4560 \text{ мм}^2;$$

$$F' = F'_{\text{ш}} + 2F'_0 + 2F'_3 = 4560 + 2 \cdot 3190 + 2 \cdot 970 = 12880 \text{ мм}^2.$$

В восьмом калибре, как и намечалось, достигнуто пересечение внутренних граней фланцев ( $2b'_0 \approx B'$ ).

Полученные расчетные данные сведены в табл. 8.

Калибровка швеллера № 16

Таблица 8

Номер калибра	h	F	Действительные фланцы				Ложные фланцы				Шейка							
			положение в калибре	h	b	a	γ	λ	F	в калибре	h	b	a	F, мм <sup>2</sup>	d	B	F	
IX	1	1,1	2232	Открытые	57,2	13	7,3	0,985	1,12	581	—	—	—	—	6,6	162	1070	
VIII	2	1,133	2500	Закрытые	56,4	14,5	8,2	1,133	1,00	640	Открытые	3,0	19,0	0,0	29,0	7,25	160,4	1162
VII	3	1,25	2900	Открытые	63,9	14,5	8,2	0,985	1,27	725	Закрытые	5,0	19,0	11,0	75,0	8,2	157,8	1295
VI	4	1,35	3670	Открытые	62,8	18,4	10,4	0,98	1,377	905	Закрытые	8,0	22,0	13,0	140,0	10,25	154,2	1580
V	5	1,4	4956	Открытые	61,5	25,3	14,3	0,975	1,43	1218	Закрытые	10,0	28,0	17,0	225,0	13,85	149,7	2070
IV	6	1,29	6970	Закрытые	60,0	36,2	20,4	1,13	1,0—	1700	Открытые	12,0	40,0	24,0	384,0	19,4	144,2	2800
III	7	1,4	9160	Открытые	67,7	46,6	20,4	0,96	1,46	2260	Закрытые	16,0	47,0	28,0	600,0	25,0	137,8	3440
II	8	—	12880	Открытые	64,6	68,0	29,8	—	—	3190	Закрытые	18,0	68,0	40,0	970	35,0	130,4	4560

Принятые размеры калибров швеллера № 16

Таблица 9

Номер калибра	%	Действительные фланцы				Ложные фланцы				Шейка						
		положение в калибре	h*	b	a	R	уклон %	положение в калибре	h	b	a	R	r	B	d	
I	1	IX	Открыты	57,2	13,0	7,3	10	0,5	—	3,0	19,0	0,0	—	—	6,6	
2	2	VIII	Закрыты	56,4	14,5	8,2	11	2	Открытые	5,0	19,0	11,0	11,0	11,0	5,0	158,5
3	3	VII	Открыты	63,9	14,5	7,4	11	3	Закрытые	8,0	22,0	13,0	14,0	14,0	7,0	156
4	4	VI	Открыты	62,8	18,4	10,4	14	10	Закрытые	10,0	28,0	17,0	20,0	20,0	10,0	10,25
5	5	V	Открыты	61,5	25,3	14,3	20	10	Открытые	12,0	40,0	24,0	28,0	28,0	14,0	148
6	6	IV	Закрытые	60,0	36,2	20,4	28	10	Закрытые	16,0	47,0	28,0	35,0	35,0	17,0	136
7	7	III	Открыты	67,7	46,5	17,0	35	10	—	22,0	68,0	40,0	50,0	50,0	128	35,0
8	8	II	—	64,6	68,0	28,0	50	5	—	—	—	—	—	—	—	

\* В открытых калибрах размер h показывает высоту заполнения.

Пример калибровки швеллеров № 16

171

### Корректирование и определение некоторых дополнительных размеров

Ширину всех калибров уменьшаем на величину допуска —2 мм.

Согласно § 24, исправляем толщину концов открытых фланцев, задаваемых в закрытые (контрольные) калибры.

Поправка для третьего калибра на основании уравнения (38):

$$\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_0 - a_3)}{h_3} = \frac{7,5(14,5 - 8,2)}{56,4} = 0,85 \text{ мм.}$$

Толщина конца фланца в третьем калибре

$$a'_0 = 8,2 - 0,85 \approx 7,4 \text{ мм.}$$

Поправка для седьмого калибра

$$\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_0 - a_3)}{h_3} = \frac{7,7(46,6 - 20,4)}{60} \approx 3,4 \text{ мм.}$$

Толщина конца фланца в седьмом калибре  
 $a'_0 = 20,4 - 3,4 = 17 \text{ мм.}$

В связи с значительным уменьшением  $a'_0$  в седьмом калибре несколько уменьшаем  $a'_0$  в восьмом калибре, принимая его равным 28 мм.

Высоту ложных фланцев разрезного калибра для лучшего выполнения действительных фланцев седьмого калибра увеличиваем до 22 мм.

Остальные размеры фланцев оставляем без изменений.

Радиусы закруглений  $R$  между шейкой и действительными фланцами определяем согласно положениям § 11. Этими же радиусами оформляются соединение шейки с ложными фланцами и внутренние углы ложных фланцев. Наружные углы ложных фланцев оформляются радиусами, равными половине указанных.

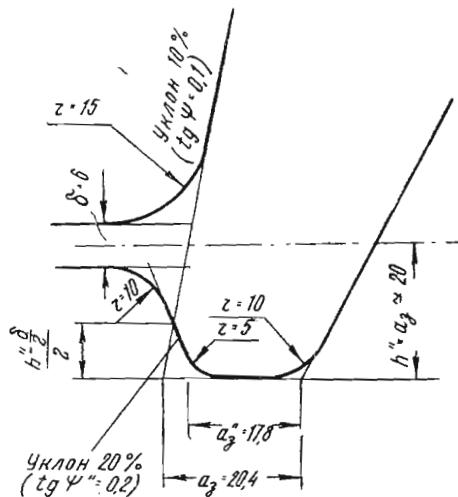


Рис. 79

Таблица 8

## Калибровка швеллера № 16

№ клетки	№ калибра	h	F	Действительные фланцы						Ложные фланцы						Шейка		
				положение в калибре	h	b	a	η	λ	F	положение в калибре	h	b	a	F, мм <sup>2</sup>	d	B	F
IX	1	1,1	2232	Открытые	57,2	13	7,3	0,985	1,12	581	—	—	—	—	—	6,6	162	1070
VIII	2	1,133	2500	Закрытые	56,4	14,5	8,2	1,133	1,00	640	Открытые	3,0	19,0	0,0	29,0	7,25	160,4	1162
VII	3	1,25	2900	Открытые	63,9	14,5	8,2	0,985	1,27	725	Закрытые	5,0	19,0	11,0	75,0	8,2	157,8	1295
VI	4	1,35	3670	Открытые	62,8	18,4	10,4	0,98	1,377	905	Закрытые	8,0	22,0	13,0	140,0	10,25	154,2	1580
V	5	1,4	4956	Открытые	61,5	25,3	14,3	0,975	1,43	1218	Закрытые	10,0	28,0	17,0	225,0	13,85	149,7	2070
IV	6	1,29	6970	Закрытые	60,0	36,2	20,4	1,13	1,0—	1700	Открытые	12,0	40,0	24,0	384,0	19,4	144,2	2800
									—, 29									
III	7	1,4	9160	Открытые	67,7	46,6	20,4	0,96	1,46	2260	Закрытые	16,0	47,0	28,0	600,0	25,0	137,8	3440
II	8	—	12880	Открытые	64,6	68,0	29,8	—	—	3190	Закрытые	18,0	68,0	40,0	970	35,0	130,4	4560

## Принятые размеры калибров швеллера № 16

Таблица 9

№ калибра	№ клетки	Действительные фланцы						Ложные фланцы						Шейка	
		положение в калибре	h*	b	a	R	уклон %	положение в калибре	h	b	a	R	r	B	d
1	IX	Открытые	57,2	13,0	7,3	10	0,5	—	—	—	—	—	—	160	6,6
2	VIII	Закрытые	56,4	14,5	8,2	11	2	Открытые	3,0	19,0	0,0	11,0	5,0	158,5	7,25
3	VII	Открытые	63,9	14,5	7,4	11	3	Закрытые	5,0	19,0	11,0	11,0	5,0	156	8,2
4	VI	Открытые	62,8	18,4	10,4	14	10	Закрытые	8,0	22,0	13,0	14,0	7,0	152	10,25
5	V	Открытые	61,5	25,3	14,3	20	10	Закрытые	10,0	28,0	17,0	20,0	10,0	148	13,8
6	IV	Закрытые	60,0	36,2	20,4	28	10	Открытые	12,0	40,0	24,0	28,0	14,0	142	19,4
7	III	Открытые	67,7	46,5	17,0	35	10	Закрытые	16,0	47,0	28,0	35,0	17,0	136	25,0
8	II	Открытые	64,6	68,0	28,0	50	5	Закрытые	22,0	68,0	40,0	50,0	25,0	128	35,0

\* В открытых калибрах размер h показывает высоту заполнения.

## Корректирование и определение некоторых дополнительных размеров

Ширину всех калибров уменьшаем на величину допуска  $-2 \text{ мм.}$

Согласно § 24, исправляем толщину концов открытых фланцев, задаваемых в закрытые (контрольные) калибры.

Поправка для третьего калибра на основании уравнения (38):

$$\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_0 - a_3)}{h_3} = \frac{7,5(14,5 - 8,2)}{56,4} = 0,85 \text{ мм.}$$

Толщина конца фланца в третьем калибре

$$a'_0 = 8,2 - 0,85 \approx 7,4 \text{ мм.}$$

Поправка для седьмого калибра

$$\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_0 - a_3)}{h_3} = \frac{7,7(46,6 - 20,4)}{60} \approx 3,4 \text{ мм.}$$

Толщина конца фланца в седьмом калибре  
 $a'_0 = 20,4 - 3,4 = 17 \text{ мм.}$

В связи с значительным уменьшением  $a_0$  в седьмом калибре несколько уменьшаем  $a_0$  в восьмом калибре, принимая его равным 28 мм.

Высоту ложных фланцев разрезного калибра для лучшего выполнения действительных фланцев седьмого калибра увеличиваем до 22 мм.

Остальные размеры фланцев оставляем без изменений.

Радиусы закруглений  $R$  между шейкой и действительными фланцами определяем согласно положениям § 11. Этими же радиусами оформляются соединение шейки с ложными фланцами и внутренние углы ложных фланцев. Наружные углы ложных фланцев оформляются радиусами, равными половине указанных.

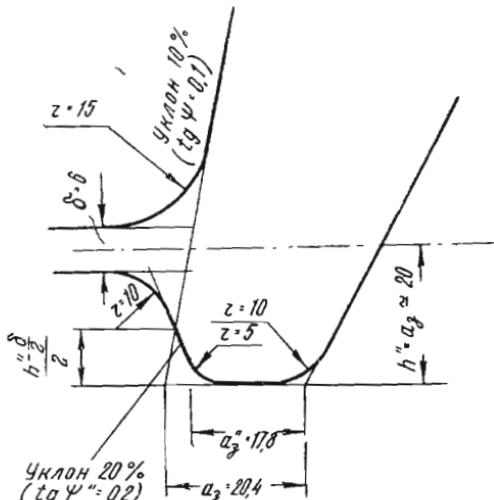


Рис. 79

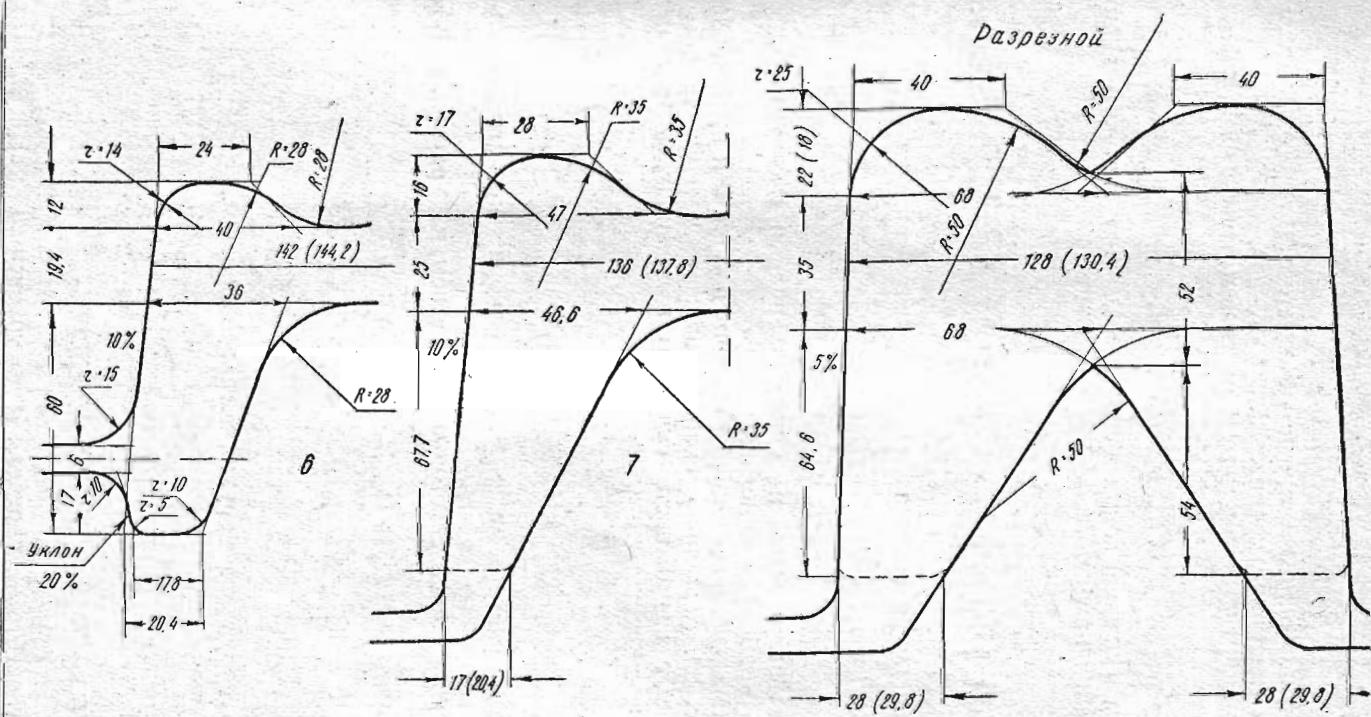
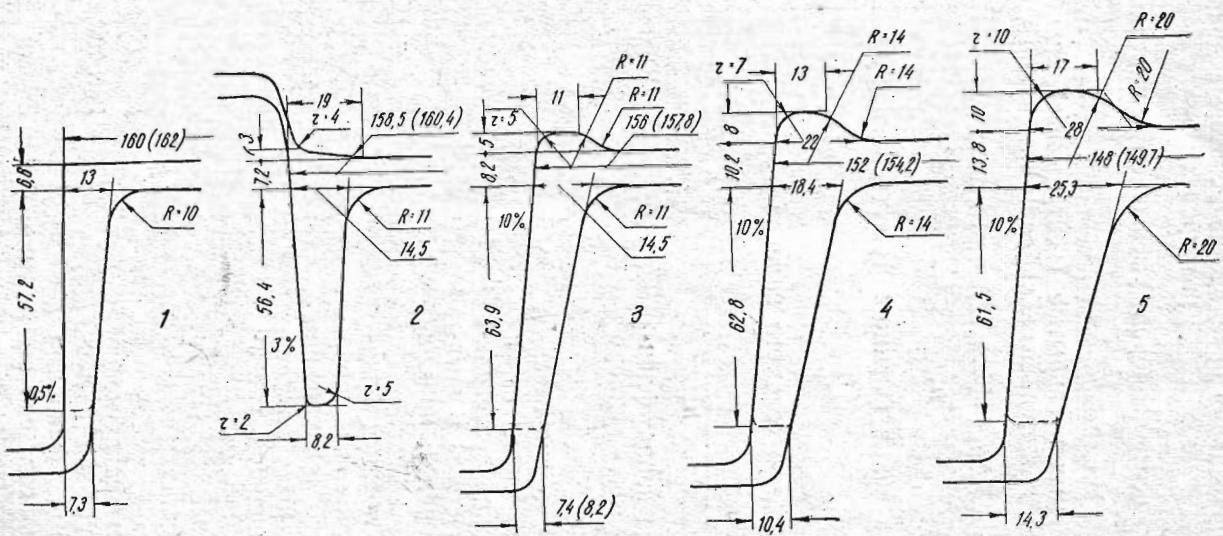


Рис. 80

Построение конца фланца полузакрытого (второго контрольного) калибра видно из рис. 79.

Принимая расстояние между разъемом валков и концом фланца

$$h'' \approx a_3 = 20,0 \text{ мм},$$

определяем сужение конца фланца, величина которого видна из построения на рис. 79.

$$a_3 - a_3'' = (\operatorname{tg} \psi + \operatorname{tg} \psi'') \frac{\frac{h'' - \delta}{2}}{2} = (0,1 + 0,2) \frac{20,0 - 3}{2} = 2,6 \text{ мм.}$$

Толщина конца фланца

$$a_3'' = 20,4 - 2,6 = 17,8 \text{ мм.}$$

Радиусы закруглений на конце фланца и между фланцем и буртами подбираем конструктивно.

Принятые размеры калибров сведены в табл. 9 и представлены на рис. 80. Размеры в скобках, представляющие расчетные данные, дают возможность судить о изменениях, полученных в результате корректирования.

#### Размеры исходной заготовки

Принятые размеры разрезного калибра представлены на рис. 81.

Ширину исходной заготовки определяем из уравнения (27)

$$B_0 = B_{\min} - (0 \div 10) \text{ мм};$$

$$B_{\min} = B_p - 2 \left( \frac{d}{2} + h_{l.\Phi} \right) \operatorname{tg} \psi,$$

где  $\psi$  — угол уклона наружных граней калибра.

$$B_{\min} = 128 - 2 \left( \frac{35}{2} + 22 \right) \cdot 0,05 = 124 \text{ мм};$$

$$B_0 = B_{\min} - (0 \div 10) \text{ мм} = 124 - 4 = 120 \text{ мм};$$

Высоту заготовки определяем по уравнению (26).

Площадь разрезных клиньев определяем из рис. 81:

$$F_{p.k} = \frac{1}{2} (128 - 2 \cdot 40) \cdot 22 + \frac{1}{2} (128 - 2 \cdot 28) \cdot 65 = 2870 \text{ мм}^2;$$

Средняя ширина очага деформации

$$B_c = \frac{B_0 + B_p}{2} = \frac{120 + 128}{2} = 124 \text{ мм.}$$

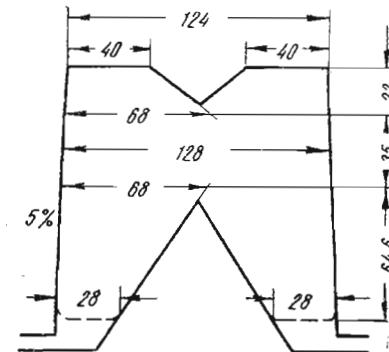


Рис. 81

Высота разрезного калибра

$$H_p = h_0 + h_{l.\Phi} + d = 65 + 35 + 22 = 122 \text{ мм};$$

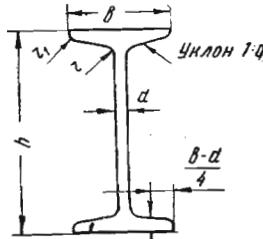
Подставляя полученные данные в уравнение (26), имеем

$$H_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{p.k}}{B_c} + H_p = \frac{2}{3} \cdot \frac{2870}{124} + 122 \approx 140 \text{ мм.}$$

## Приложение 1

БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ (СОРТАМЕНТ) ПО ОСТ 10016-39

Допускаемые отклонения по размерам



№ профиля	№ профиля	По высоте			По ширине полки		По толщине стенки		Площадь сечения см²
		мм							
10	10	+2,0	+1,0-1,5	+0,6					
12	12	+2,0	+1,3-2,0	+0,7					
14	14	+3,0	+1,7-2,3	+1,0					
16	16	+4,0	+2,2-3,0	+1,8					
18									
20	20								
22	22								
24	24								

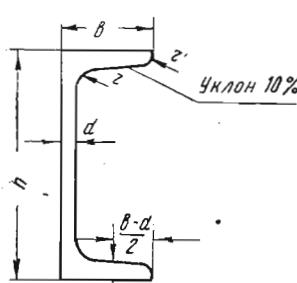
## Продолжение приложения 1

№ профиля	Размеры, мм						Площадь сечения см²
	h	b	d	t	r	r₁	
27 { a b	270	122	8,5	13,7	10,5	5,3	54,6
	270	124	10,5	13,7	10,5	5,3	60,0
30 { a b c	300	126	9,0	14,4	11,0	5,5	61,2
	300	128	11,0	14,4	11,0	5,5	67,2
	300	130	13,0	14,4	11,0	5,5	73,4
33 { a b c	330	130	9,5	15,0	11,5	5,8	68,1
	330	132	11,5	15,0	11,6	5,8	74,7
	330	134	13,5	15,0	11,5	5,8	81,3
36 { a b c	360	136	10,0	15,8	12,0	6,0	76,3
	360	138	12,0	15,8	12,0	6,0	83,5
	360	140	14,0	15,8	12,0	6,0	90,7
40 { a b c	400	142	10,5	16,5	12,5	6,3	86,1
	400	144	12,5	16,5	12,5	6,3	94,1
	400	146	14,5	16,5	12,5	6,3	102,0
45 { a b c	450	150	11,5	18,0	13,5	6,8	102,0
	450	152	13,5	18,0	13,5	6,8	111,0
	450	154	15,5	18,0	13,5	6,8	120,0
50 { a b c	500	158	12,0	20,0	14,0	7,0	119,0
	500	160	14,0	20,0	14,0	7,0	129,0
	500	162	16,0	20,0	14,0	7,0	139,0
55 { a b c	550	166	12,5	21,0	14,5	7,3	134,0
	550	168	14,5	21,0	14,5	7,3	145,0
	550	170	16,5	21,0	14,5	7,3	156,0
60 { a b c	600	176	13,0	22,0	15,0	7,5	151,0
	600	178	15,0	22,0	15,0	7,5	163,0
	600	180	17,0	22,0	15,0	7,5	175,0

Примечание. Допускается уклон наружных граней полок до 1,25%.

## Приложение 2

ШВЕЛЛЕРЫ (СОРТАМЕНТ) ПО ОСТ 10017-39



№ профиля	Допускаемые отклонения по размерам			Площадь сечения $\text{см}^2$
	По высоте мм	По ширине плоск. мм	По толщине стенки мм	
5-8	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,5$	
10-14	$\pm 2,0$	$\pm 1,5$	$\pm 0,6$	
15-18	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 0,7$	
20-30	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$	$\pm 0,9$	
33-40	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$	

№ профиля	Размеры, мм						Площадь сечения $\text{см}^2$
	$h$	$b$	$d$	$t$	$r$	$r_1$	
5	50	37	4,5	7,0	7,0	3,50	6,93
6,5	65	40	4,8	7,5	7,5	3,75	8,54
8	80	43	5,0	8,0	8,0	4,00	10,24
10	100	48	5,3	8,5	8,5	4,25	12,74
12	120	53	5,5	9,0	9,0	4,50	15,36
14 { a b	140	58	6,0	9,5	9,5	4,75	18,51
	140	60	8,0	9,5	9,5	4,75	21,31
16 { a b	160	63	6,5	10,0	10,0	5,0	21,95
	160	65	8,5	10,0	10,0	5,0	25,15
18 { a b	180	68	7,0	10,5	10,5	5,25	25,69
	180	70	9,0	10,5	10,5	5,25	29,99

## Продолжение приложения 2

№ профиля	Размеры, мм						Площадь сечения $\text{см}^2$
	$h$	$b$	$d$	$t$	$r$	$r_1$	
20 { a b	200	73	7,0	11,0	11,0	5,5	28,83
	200	75	9,0	11,0	11,0	5,5	32,83
22 { a b	220	77	7,0	11,5	11,5	5,75	31,84
	220	79	9,0	11,5	11,5	5,75	36,24
24 { a b c	240	78	7,0	12,0	12,0	6,0	34,21
	240	80	9,0	12,0	12,0	6,0	39,00
	240	82	11,0	12,0	12,0	6,0	43,81
27 { a b c	270	82	7,5	12,5	12,5	6,25	39,27
	270	84	9,5	12,5	12,5	6,25	44,67
	270	86	11,5	12,5	12,5	6,25	50,07
30 { a b c	300	85	7,5	13,5	13,5	6,75	43,89
	300	87	9,5	13,5	13,5	6,75	49,89
	300	89	11,5	13,5	13,5	6,75	55,89
33 { a b c	330	88	8,0	14,0	14,0	7,0	49,30
	330	90	10,0	14,0	14,0	7,0	55,90
	330	92	12,0	14,0	14,0	7,0	62,50
36 { a b c	360	96	9,0	16,0	16,0	8,0	60,90
	360	98	11,0	16,0	16,0	8,0	68,09
	360	100	13,0	16,0	16,0	8,0	75,29
40 { a b c	400	100	10,5	18,0	18,0	9,0	75,05
	400	102	12,5	18,0	18,0	9,0	83,05
	400	104	14,5	18,0	18,0	9,0	91,05

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Грум-Гржимайло, Прокатка и калибровка, 1933.
2. А. П. Виноградов, Калибровка прокатных валков, Гостехиздат, 1933.
3. А. Ф. Головин, Прокатка, ч. III, Москва-Свердловск, Металлургиздат, 1936.
4. Кирхберг, Калибровка прокатных валков, Домез, 1929, № 1—2.
5. Жез, Калибровка валков, «Техника и производство», 1929.
6. Тальль, Прокатка и калибровка, Гостехиздат, 1931.
7. Тринкес, Калибровка прокатных валков, ОНТИ, 1934.
8. Мец, Горячая прокатка и калибровка валков, Гостехиздат, 1937.
9. М. Л. Зарощинский, Прокатка стали, Металлургиздат, 1948.
10. Шадрин, Уральская металлургия, 1935, № 6, стр. 22.
11. И. Я. Тарновский, Сталь, 1941, № 5, стр. 33—37.
12. Л. Д. Соколов, Сталь, 1946, № 6, стр. 375—77; Сталь, 1947, № 3, стр. 271—73; Сталь, 1948, № 5, стр. 441—445.
13. Гольцвейлер и Даль, О калибровке двутавровых профилей. Новости иностранной металлургии, 1936, № 4; 1937, № 3, 9, 10.
14. Лендел, Бласт Фюрнес энд Стил Плэнт, 1943, № 3, стр. 325—31; Айрон энд Стил, 1943, т. 16, № 12, стр. 460—464; № 14, стр. 532—36; т. 17, № 4, стр. 173—79; Реф. Бюллетень ЦИИМ МЧМ, 1945, № 24, стр. 10.
15. Торкар, Домез, 1923, № 3—4.
16. Кучко, Сборник научно-технических статей Кузнецкого металлургического комбината им. Сталина, 1938, № 1.

18491

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	Почьей вине
46	12 св.	$F_{3,y} = \frac{1}{2} \lambda_0 (b_0 + a_0) h'_3$	$F_{3,y} = \frac{1}{2} \lambda_0 (b_0 + a_0) h'_3, (в)$	Тип.
124	Рис. 58	Правая выносная линия размера $\Delta a$ должна выходить из угла заштрихованной части калибра (примерно на 1,5 мм правее)		График
136	Табл. 6, открытые фланцы	$a_3^{**}$	$a_0^{**}$	Корр.
143	7 и 8 св.	невозможностью получения вреза в открытом калибре	невозможность вреза открыто го калибра	Авт.
147	8 св.	Обозначение $\Delta h_3$ не читать		Корр.
148	10 сн.	$k''_{\text{контр}} = \frac{ш}{D_{ш} - 2h_3}$	$k''_{\text{контр}} = \frac{D_{ш}}{D_{ш} - 2h_3}$	Тип.
159	Табл. 7, графа 2	Надпись «разрезн.» не читать		Корр.

Заказ 151

Редактор И. Ф. Гринберг

Технический редактор Е. Б. Вайнштейн

Сдано в производство 4/II 1950 г. Подписано к печати 20/IV 1950 г.  
Бумага 60 × 92<sup>1/16</sup> = 5,88 б. л. — 11<sup>3/4</sup> п. л.

Уч.-изд. л. 10,3 Зн. в 1 п. л. 35060  
T-02781 Тираж 5000 Заказ 151 Цена 6 р. 70 к.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, 30