

с. 477  
В60  
И. ВИНОГРАДОВ и Г. А. ВИНОГРАДОВ

# КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

· МЕТАЛЛУРГИЗДАТ ·

1950

Проф. А. П. ВИНОГРАДОВ, канд. техн. наук Г. А. ВИНОГРАДОВ

# КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*Ленинград*

*1950*

*Москва*

## АННОТАЦИЯ

В книге освещена методика калибровки валков для прокатки распространенных сортовых и фасонных профилей. Приводится метод расчета калибровки непрерывных заготовочных станов. Даны методы определения расхода энергии при прокатке и мощности станковых двигателей, поскольку это связано с калибровкой валков.

Книга рассчитана на заводских калибровщиков и инженеров-технологов в цехах и научно-исследовательских институтах.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	6
Введение . . . . .	7

### ЧАСТЬ I

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. УШИРЕНИЕ

Глава 1. Основные понятия и определения . . . . .	11
1. Обжатие и угол захвата . . . . .	—
2. Коэффициент вытяжки . . . . .	—
3. Коэффициенты вытяжки по линиям расположения станов . . . . .	15
Глава 2. Уширение . . . . .	18
1. Свободное уширение . . . . .	—
2. Несвободное и вынужденное уширение . . . . .	22

### ЧАСТЬ II

#### КАЛИБРОВКА ПРОСТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Глава 3. Типы ручьев и калибров . . . . .	39
Глава 4. Калибровка валков блюминга . . . . .	43
1. Калибровка по относительным обжатиям . . . . .	—
2. Калибровка блюминга по мощности прокатки . . . . .	49
3. Практический метод калибровки блюминга . . . . .	—
Глава 5. Калибровка обжимных трехвалковых станов . . . . .	70
1. Стрельчатые калибры . . . . .	—
2. Ромбические калибры . . . . .	71
3. Калибровка в ромбических ручьях . . . . .	81
4. Калибровка по системе квадрат — ромб . . . . .	82
5. Смешанная калибровка . . . . .	84
6. Калибровка в овальных и квадратных калибрах . . . . .	86
7. Пример калибровки обжимного трехвалкового стана . . . . .	89
Глава 6. Размещение калибров в станах . . . . .	94
1. Средняя линия прокатки и линия валков . . . . .	95
2. Верхнее и нижнее давление . . . . .	96
3. Рабочие диаметры валков . . . . .	97
4. Правила вычерчивания калибров и ручьев в валках . . . . .	98
Глава 7. Калибровка непрерывных станов . . . . .	112
1. Примеры калибровки непрерывного стана . . . . .	117
2. Калибровка второй группы непрерывного заготовочного стана . . . . .	126

<b>Глава 8. Подготовительные или вытяжные овалы и квадратные калибры</b>	134
1. Определение ряда овальных и квадратных калибров	138
2. Система калибровки круг—овал	140
3. Система калибровки квадрат—ступенька—ребро—овал—круг	145
<b>Глава 9. Калибровка конечного продукта простых профилей</b>	147
1. Чистовые или отделочные калибры для круглого и квадратного профилей	—
2. Подготовительные калибры для круглого и квадратного профилей	151
3. Чистовые овалы	152
4. Калибровка круглого профиля и проволоки	—
5. Калибровка проволочного стана	157
6. Калибровка сортовых станов	163
7. Калибровка полосового профиля	171
8. Прокатка полосы в закрытых калибрах	187

## ЧАСТЬ III

## КАЛИБРОВКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

<b>Глава 10. Нейтральная линия калибра</b>	192
<b>Глава 11. Калибровка равнобокого углового профиля</b>	197
1. Построение фасонных калибров	200
2. Построение угловых калибров с прямыми полками	207
3. Построение угловых калибров с развернутыми полками	210
<b>Глава 12. Калибровка неравнобокого углового профиля</b>	212
1. Разновременность захвата уголка	218
2. Практические данные по калибровке уголка	219
<b>Глава 13. Калибровка зетового профиля</b>	224
<b>Глава 14. Калибровка таврового профиля</b>	229
<b>Глава 15. Калибровка двутаврового профиля</b>	242
1. Определение высоты заготовки для разрезного калибра	—
2. Боковое обжатие	244
3. Коэффициенты вытяжки	246
4. Пример калибровки балки № 10	253
<b>Глава 16. Калибровка швеллера</b>	269
1. Калибровка швеллера с ложными фланцами	—
2. Расчет калибровки швеллера	274
3. Калибровка швеллера с загибом фланцев	279
<b>Глава 17. Калибровка рельсов</b>	282
1. Особенности профиля рельсов	—
2. Схемы калибровки рельсов	283
3. Пример калибровки рельсов	287
4. Калибровка желобчатых рельсов	30

## ЧАСТЬ IV

## РАСХОД ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОКАТКЕ И МОЩНОСТЬ СТАНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

<b>Глава 18. Методы определения работы прокатки</b>	311
1. Теоретические методы определения работы прокатки	312
2. Статистические методы определения работы прокатки	318
<b>Глава 19. Определение мощности станковых двигателей</b>	322
1. Метод определения максимальной мощности пропусков	—
2. Метод определения средней мощности пропусков	323
3. Метод статистической обработки по формуле Тиме	324
4. Распределение расхода энергии по пропускам	325
<b>Глава 20. Распределение мощности между двигателем и маховыми массами</b>	329
<b>Литература</b>	341



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Последнее (посмертное) издание книги проф. А. П. Виноградова «Калибровка прокатных валков» вышло в свет в 1934 г. В то время эта книга являлась наиболее полным руководством по калибровке, так как в ней были собраны обширные данные по методике калибровки простых и фасонных профилей — блюминга, непрерывно-заготовочного стана, швеллеров, двутавровых балок, зетового профиля, железнодорожных и желобчатых рельсов, уголка, проволоки и др.

В течение 16 лет, прошедших со времени последнего издания, у нас в стране было проведено большое количество исследований, значительно развита теория прокатки, разработаны новые приемы калибровки.

Поэтому при настоящем переиздании книгу А. П. Виноградова пришлось дополнить и переработать. В частности, в новом издании опущена ныне несколько устаревшая теоретическая часть «Процесс деформации металла в валках», вместо которой дан небольшой раздел об уширении. В конце книги приведены необходимые для калибровщика основные сведения по методам определения расхода энергии при прокатке, которые анализировал, обобщал и разрабатывал А. П. Виноградов. Вторая часть дополнена новыми данными по конструированию калибров и методике расчетов калибровок блюминга, черновых и чистовых линий, круглого, квадратного, шестигранного и полосового профилей, причем учтены особенности калибровки качественной стали.

Кроме того, книга пополнена материалами по новым системам калибровки валков (овал — круг — овал; квадрат — ступенька — ребро — овал — круг), а также новыми данными по размещению калибров в трехвалковых станах и по калибровке фасонных профилей (уголков, тавров, швеллеров и желобчатых рельсов).

*Канд. техн. наук Г. А. Виноградов*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов калибровки валков стоит в тесной связи с усовершенствованием конструкций и увеличением производительности прокатных станов. Поэтому методика калибровки валков все время находится в состоянии непрерывного развития.

Методика калибровки подчиняется следующим основным задачам:

- 1) получение точного профиля и чистой поверхности при минимальных остаточных напряжениях в прокатной продукции;
- 2) достижение возможно большей производительности стана при минимальной себестоимости проката;
- 3) улучшение условий работы персонала, обслуживающего стан.

Точность профиля зависит прежде всего от точности размеров последних двух-трех калибров и точности установки валков. Кроме того, чтобы точно выполнить профиль и получить качественную поверхность проката, необходимо хорошее заполнение калибров металлом и равномерный износ стенок ручьев. Ввиду трудности точно рассчитать уширение, заполнение калибра металлом регулируется подбором радиусов закруглений и притуплений в калибрах.

Чрезмерное переполнение калибра металлом приводит к образованию заусенцев, которые охлаждаются во время последующей прокатки, вдавливаются в поверхность прокатываемой полосы и служат источником образования расслоений, закатов, трещин и плен на готовом профиле.

Точность профиля и чистота поверхности требуют правильного распределения обжатий и вытяжек металла при прокатке.

Чтобы уменьшить остаточные напряжения в прокатанном металле, нужно прежде всего равномерно распределить вытяжки отдельных элементов профиля, что особенно важно для последних калибров, когда температура металла относительно низка.

Если это условие не соблюдается, между отдельными, неравномерно обжимаемыми частями профиля возникают значительные напряжения. Особенно сильно это сказывается при температуре ниже  $A_{r_c}$ , так как феррит обладает большой склонностью к наклепу.

Если форма профиля вызывает необходимость применять неравномерные вытяжки в различных его частях, то это следует делать по возможности в первых фасонных калибрах, пока металл еще горяч и пластичен.

Естественно, что неравномерность нагрева металла также приводит к возникновению в нем остаточных напряжений при прокатке.

Остаточные напряжения в прокатываемом металле возникают, кроме того, под влиянием различия окружных скоростей катающих поверхностей верхнего и нижнего валков (верхнее или нижнее давление), поэтому большое значение имеет правильное положение нейтральной линии калибра.

Прокатку следует вести быстро и горячо, чтобы уменьшить остаточные напряжения в прокатной продукции и расход энергии, а также повысить производительность стана.

Повышение производительности стана достигается прежде всего путем уменьшения числа пропусков и согласования калибровки с мощностью станového двигателя. Кроме того, производительность может быть повышена, если правильно распределить калибры между клетями (с учетом скоростей прокатки), согласовать работу отдельных клеток и уменьшить число перевалок за счет рационального расположения калибров и максимального объединения размеров заготовок и черновых калибров.

Построение калибровки, повышающей производительность, часто бывает связано с организационно-техническими мероприятиями и состоянием механизации стана. Наиболее благоприятное сочетание высокопроизводительной калибровки с организационно-техническими факторами и оборудованием может быть осуществлено при проектировании стана или цеха. При перекалибровке валков действующих станов следует учитывать производственную обстановку, поскольку она не может быть изменена коренным образом.

Способ калибровки валков весьма сильно влияет на себестоимость производства, так как определяет, помимо производительности, расход энергии и валков на тонну проката, а также штат персонала, обслуживающего стан.

Получение точного профиля и минимальных остаточных напряжений в прокатанном металле связано главным образом с процессом пластической деформации, законами течения, пластичностью, однородностью и температурой металла, а также с формой и размерами калибров.

Повышение производительности, уменьшение себестоимости и облегчение труда вальцовщиков связаны с организационной стороной дела, степенью механизации и состоянием механического оборудования стана.

Поэтому следует различать теоретическую и практическую калибровки.

Теоретическая калибровка определяет методы расчета и построения калибров, приемы создания точного, чистого на поверхности, ненапряженного и легко прокатываемого профиля.

Практическая калибровка определяет калибровку, предназначенную для конкретных, часто весьма сложных условий, учитывая все особенности производственной обстановки. Опираясь на теоретические основы, практическая калибровка стремится достигнуть максимальной производительности стана, минимальной себестоимости проката и улучшения условий работы вальцовщиков.

За последние десятилетия, в особенности в СССР, теоретическая калибровка сделала большие успехи.

Экспериментальная работа советских ученых позволила выявить ряд закономерностей и дать формулы для расчета удельных давлений, уширения, утяжки, опережения, мощности прокатки и т. д. Это оказалось возможным благодаря установке специальных опытных прокатных станов в лабораториях многих учебных и научно-исследовательских институтов (Московский институт стали, Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии в Москве, Днепропетровский металлургический институт, Уральский политехнический институт и др.). Пионером в этой области был Петербургский политехнический институт, где проф. В. Е. Грум-Гржимайло в 1912 г. установил первый

в России лабораторный прокатный стан, действующий и в настоящее время.

Наряду с лабораторными исследованиями, широко практикуется постановка опытных работ непосредственно на заводах, причем советские калибровщики достигли в этой области весьма больших успехов. Достаточно указать хотя бы на пример калибровки таких сложных, казалось бы немыслимых в прокатке, профилей, как бандаж, подлежащий покрытию слоем резины<sup>1</sup>, шпунты для постройки гидростанций, периодический прокат заготовок для штамповок, траки, цепи и др.

В настоящей книге освещены основные вопросы теоретической и практической калибровки. Ее цель — ознакомить читателя с методикой калибровки и способами построения калибров для прокатки наиболее распространенных простых и фасонных профилей.

<sup>1</sup> За разработку и освоение этого профиля инж. В. П. Бахтинов, А. Н. Барам и другие были удостоены Сталинской премии.

## ГЛАВА I

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Изменение размеров поперечного сечения прокатываемой полосы при каждом пропуске между валками выражается главным образом в уменьшении (обжатии) ее толщины в вертикальном направлении; в горизонтальном направлении сечение полосы изменяется сравнительно мало в сторону уширения.

## 1. Обжатие и угол захвата

Обжатие за один пропуск зависит от диаметра валков  $D$  и угла захвата полосы  $\alpha$ . Чем меньше угол  $\alpha$ , тем легче полоса захватывается и увлекается валками, но тем меньше при этом обжатие  $H - h$ , которое равно

$$H - h = D(1 - \cos \alpha).$$

Чем больше угол  $\alpha$ , тем обжатие больше, однако при увеличении этого угла захват гладкими валками полосы становится все менее надежным и при определенном значении  $\alpha$  (около 25—32°) — невозможным (если не принять специальных мер).

Таким образом, величина обжатия за один пропуск ограничивается для данного диаметра валков предельным углом захвата; этим самым ограничивается и удлинение металла за один пропуск его в валках, определяемое приращением длины полосы, вышедшей из валков, по сравнению с длиной полосы, задаваемой в валки.

## 2. Коэффициент вытяжки

Под коэффициентом вытяжки  $\mu$  разумеется отношение длины прокатанной полосы  $L_2$  к ее первоначальной длине  $L_1$  или площади сечения полосы до прокатки  $Q$  к площади сечения ее после прокатки  $q$ :

$$\mu = \frac{L_2}{L_1} = \frac{Q}{q}.$$

У практиков существовало мнение, что коэффициент вытяжки  $\mu$  за один пропуск не должен превышать 2 во избежание разрыва металла<sup>1</sup>. Однако опасение разрыва металла, если он хорошо раскислен, неосновательно.

Проф. В. Е. Грум-Гржимайло [29] приводит результаты опыта, произведенного им на Нейво-Алапаевском заводе. Заготовка мягкого литого железа размерами  $50 \times 50$  мм была заострена на строгальном станке, хорошо нагрета и пропущена между валками (диаметром 500 мм), лежащими один на другом. Она была раздавлена в один пропуск с 50 до 3,5 мм в полосу шириной 75 мм, т. е. вытянулась в 9,5 раз; при этом не было даже и признака рванин или трещин, хотя их легко было получить, так как полоса прокатывалась в гладких валках и внешние боковые грани ее подвергались свободному уширению.

Этот опыт вполне подтверждает, что металл, благодаря пластичности, может при прокатке выдерживать очень большие обжатия, а следовательно и вытяжки<sup>2</sup>. В данном случае, несмотря на громадный коэффициент вытяжки, угол захвата в установившемся процессе был равен только  $24^\circ 54'$ .

Можно думать, что появление рванин и трещин обусловливается не столько величиной вытяжки, сколько неравномерной вытяжкой различных частей прокатываемого профиля; последнее имеет место при прокатке фасонных профилей, а также при неоднородности и плохой раскисленности металла.

Практически коэффициент вытяжки больше 2 встречается редко, главным образом потому, что этого не допускает конструкция стана и мощность двигателя, а также не всегда хорошо раскисленный и не всегда однородный металл.

С. А. Кушакевич [1] указывает следующие условия для осуществления коэффициента вытяжки больше 2 (такую деформацию он назвал сверхобжатием).

1. Необходимо обеспечить прочность валков; прочность валков с увеличением их диаметра растет значительно быстрее давления металла на валки при увеличении коэффициента вытяжки.

2. Необходимо обеспечить захват металла валками; улучшить условия захвата можно изменением скорости вращения валков

<sup>1</sup> В частности, это мнение было теоретически обосновано немецким калибровщиком Кирхбергом (1902 г.), давшим ошибочную схему действия валков на металл и сделавшим из нее вывод, что коэффициент вытяжки  $\mu$  не может превышать 2. *Ред.*

<sup>2</sup> Повышенная пластичность металла при прокатке объясняется его всесторонним сжатием при деформации в валках, в значительной степени предохраняющим металл от образования трещин. Степень деформации металла при прокатке до появления первых трещин, называемая показателем пластичности, подробно исследована Ю. М. Чижиковым на различных сталях («Заводская лаборатория», 1949, № 2). *Ред.*

в момент задачи металла (не говоря уже об обычных приемах, которые заключаются в том, что на рабочую поверхность ручья наносят различного рода насечки или наплавки).

Неблагоприятным моментом в случае применения сверхобжатий является сильное развитие уширения. Однако это явление также может быть смягчено или устранено, в частности путем уменьшения коэффициента трения, что возможно в случае принудительной задачи металла в валки.

Кушакевич показал, что никаких принципиальных затруднений для осуществления сверхобжатий нет, как с точки зрения теории деформации металла в валках, так и конструкций, не выходящих за пределы возможностей современной техники.

А. П. Чекмарев [2, 3] отмечает, что на некоторых заводах при прокатке стальной проволоки применяются коэффициенты вытяжки, доходящие до 2,0. В то же время в большинстве случаев применяют коэффициенты вытяжки 1,2—1,4.

Особенно мало используются возможности обжимных станов. Основным препятствием к повышению коэффициента вытяжки здесь ставят так называемые «предельные» углы захвата  $25—27^\circ$ . Для увеличения углов захвата до  $35$  и  $40^\circ$  Чекмарев взамен наварок и насечек (которые портят поверхность проката) рекомендует специальную обточку валков, при которой рабочая поверхность калибра имеет либо трапециoidalные выступы с плавными переходами, либо выполняется гофрированной, многогранной и т. п.

Такой способ увеличения углов захвата допускает переточку валков с возобновлением прежней формы поверхности. Он применим не только в прямоугольных, но и в овальных, круглых, квадратных и ромбических калибрах.

Большую зависимость величины обжатия от угла захвата показывает следующий пример [2].

Угол захвата  $28^\circ$  позволяет осуществить обжатие

$$H - h = 0,117 D.$$

При угле захвата  $35^\circ$  обжатие будет составлять

$$H - h = 0,181 D.$$

Следовательно, обжатие при этом может быть увеличено на

$$\frac{(0,181 - 0,117) D}{0,117 D} \approx 55\%.$$

В черновых валках с плоскими ручьями обычно угол захвата  $\alpha$  не применяют больше  $20—26^\circ$ , чтобы не затягивать процесс прокатки вследствие плохого захвата валками.

При  $\alpha = 20^\circ$  множитель  $(1 - \cos \alpha)$  равен примерно  $\frac{1}{17}$ , а при  $\alpha = 26^\circ$  он равен  $\frac{1}{10}$ . Поэтому обычно максимальное обжатие в черновых валках находится в пределах  $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{17}\right) D_0$ ; часто берут среднюю величину  $\frac{1}{14} D_0$  (здесь  $D_0$  — диаметр валка по дну ручья).

Для определения величин  $\alpha$ ,  $1 - \cos \alpha$ ,  $\sin \alpha$  и  $\operatorname{tg} \alpha$  удобно пользоваться табл. 1.

Таблица 1

Значения тригонометрических функций

$\alpha^\circ$	$\cos \alpha$	$1 - \cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\alpha^\circ$	$\cos \alpha$	$1 - \cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$
1	0,99985	0,00015	0,01745	0,0174	13	0,97440	0,02560	0,22500	0,2309
1,5	0,99936	0,00064	0,02318	0,0232	14	0,97030	0,02970	0,24190	0,2492
2	0,99939	0,00061	0,03490	0,0350	15	0,96590	0,03410	0,25880	0,2680
2,5	0,99905	0,00095	0,04352	0,0437	16	0,96130	0,03870	0,27560	0,2870
3	0,99863	0,00137	0,05234	0,0524	17	0,95630	0,04370	0,29240	0,3070
3,5	0,99813	0,00187	0,06105	0,0611	18	0,95110	0,04890	0,30900	0,3250
4	0,99756	0,00244	0,06976	0,0699	19	0,94550	0,05450	0,32560	0,3445
4,5	0,99692	0,00308	0,07846	0,0787	20	0,93970	0,06030	0,34200	0,3640
5	0,99619	0,00381	0,08716	0,0875	21	0,93360	0,06640	0,35840	0,3840
5,5	0,99540	0,00460	0,09585	0,0964	22	0,92720	0,07280	0,37460	0,4040
6	0,99452	0,00548	0,10453	0,1052	23	0,92050	0,07950	0,39070	0,4240
6,5	0,99357	0,00643	0,11320	0,1140	24	0,91360	0,08640	0,40670	0,4450
7	0,99255	0,00745	0,12187	0,1219	25	0,90630	0,09370	0,42250	0,4665
7,5	0,99144	0,00856	0,13053	0,1317	26	0,89880	0,10120	0,43840	0,4880
8	0,99027	0,00973	0,13917	0,1400	27	0,89100	0,10900	0,45400	0,5100
8,5	0,98902	0,01098	0,14781	0,1495	28	0,88300	0,11700	0,46950	0,5420
9	0,98769	0,01231	0,15643	0,1584	29	0,87460	0,12540	0,48480	0,540
9,5	0,98629	0,01371	0,16505	0,1674	30	0,86600	0,13400	0,50000	0,5775
10	0,98481	0,01519	0,17365	0,1763	31	0,85720	0,14280	0,51500	0,6010
11	0,98160	0,01840	0,19080	0,1945	32	0,84810	0,15190	0,52990	0,6250
12	0,97820	0,02180	0,20790	0,2124					

Пример 1. Определить  $\alpha$  по данным:  $H - h = 40$  мм и  $D_0 = 400$  мм.

$$1 - \cos \alpha = \frac{H - h}{D_0} = 0,1.$$

По табл. 1

$$\alpha \approx 26^\circ.$$

2. Определить  $D_0$  по данным:  $H - h = 25$  мм и  $\alpha = 22^\circ$ .

$$D_0 = \frac{H - h}{1 - \cos 22^\circ} = \frac{25}{0,0728} = 344 \text{ мм.}$$

и  $\alpha = 18^\circ$ .

ые расчеты, функций и логарифмами рис. 1. номограммы

зводится про- Тогда угол и со средней

ния станов

ем медленнее нент полезно- их температу- и при низких

мало, то сли- ст работа де- ем уже стано-

е для обжима отов в мину- сильно заты- ь чрезмерно

следует пере- но с большим быть рацио- ной полосы, а стью ускорить бразоваться с

льше отноше- льше относи-

ельная клеть гов и осущест- позволяет тем- ровка полосы. ниться по воз- дя его прими-



При  $\alpha = 20^\circ$  множитель  $(1 - \cos \alpha)$  равен примерно  $\frac{1}{17}$ , а при  $\alpha = 26^\circ$  он равен  $\frac{1}{10}$ . Поэтому обычно максимальное обжатие в черновых валках находится в пределах  $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{17}\right) D_0$ ; часто берут среднюю величину  $\frac{1}{14} D_0$  (здесь  $D_0$  — диаметр валка по дну ручья).

Для определения величин  $\alpha$ ,  $1 - \cos \alpha$ ,  $\sin \alpha$  и  $\operatorname{tg} \alpha$  удобно пользоваться табл. 1.

Таблица 1

Значения тригонометрических функций

$\alpha^\circ$	$\cos \alpha$	$1 - \cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\alpha^\circ$	$\cos \alpha$	$1 - \cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$
1	0,99985	0,00015	0,01745	0,0174	13	0,97440	0,02560	0,22500	0,2309
1,5	0,99956	0,00044	0,02318	0,0232	14	0,97030	0,02970	0,24190	0,2492
2	0,99939	0,00061	0,03490	0,0350	15	0,96590	0,03410	0,25880	0,2680
2,5	0,99905	0,00095	0,04332	0,0437	16	0,96130	0,03870	0,27560	0,2870
3	0,99863	0,00137	0,05234	0,0524	17	0,95630	0,04370	0,29240	0,3070
3,5	0,99813	0,00187	0,06105	0,0611	18	0,95110	0,04890	0,30900	0,3250
4	0,99756	0,00244	0,06976	0,0699	19	0,94550	0,05450	0,32560	0,3445
4,5	0,99692	0,00308	0,07846	0,0787	20	0,93970	0,06030	0,34200	0,3640
5	0,99619	0,00381	0,08716	0,0875	21	0,93360	0,06640	0,35840	0,3840
5,5	0,99540	0,00460	0,09585	0,0964	22	0,92720	0,07280	0,37460	0,4040
6	0,99452	0,00548	0,10453	0,1052	23	0,92050	0,07950	0,39070	0,4240
6,5	0,99357	0,00643	0,11320	0,1140	24	0,91360	0,08640	0,40670	0,4450
7	0,99255	0,00745	0,12187	0,1219	25	0,90630	0,09370	0,42250	0,4665
7,5	0,99144	0,00856	0,13053	0,1317	26	0,89880	0,10120	0,43840	0,4880
8	0,99027	0,00973	0,13917	0,1407	27	0,89100	0,10900	0,45400	0,5100
8,5	0,98902	0,01098	0,14781	0,1495	28	0,88300	0,11700	0,46950	0,5420
9	0,98769	0,01231	0,15643	0,1584	29	0,87460	0,12540	0,48480	0,540
9,5	0,98629	0,01371	0,16505	0,1674	30	0,86600	0,13400	0,50000	0,5775
10	0,98481	0,01519	0,17365	0,1763	31	0,85720	0,14280	0,51500	0,6010
11	0,98160	0,01840	0,19080	0,1945	32	0,84810	0,15190	0,52990	0,6250
12	0,97820	0,02180	0,20790	0,2124					

Пример 1. Определить  $\alpha$  по данным:  $H - h = 40$  мм и  $D_0 = 400$  мм.

$$1 - \cos \alpha = \frac{H - h}{D_0} = 0,1.$$

По табл. 1

$$\alpha \approx 26^\circ.$$

2. Определить  $D_0$  по данным:  $H - h = 25$  мм и  $\alpha = 22^\circ$ .

$$D_0 = \frac{H - h}{1 - \cos 22^\circ} = \frac{25}{0,0728} = 344 \text{ мм.}$$

3. Определить  $H - h$  по данным:  $D_0 = 300$  мм и  $\alpha = 18^\circ$ .

$$H - h = 300 \cdot 0,0489 \approx 15 \text{ мм.}$$

Для того, чтобы облегчить и ускорить некоторые расчеты, связанные с вычислениями тригонометрических функций и логарифмированием, удобно пользоваться номограммами рис. 1. Графические методы расчета калибровки и эти номограммы разрабатывались Н. Ф. Лашко и В. А. Писанко [4].

Определение углов захвата по номограмме производится простым наложением линейки на две крайние шкалы. Тогда угол захвата определяется на точке пересечения линейки со средней шкалой.

### 3. Коэффициенты вытяжки по линиям расположения станов

Чем больше обжатие в обжимных валках, тем медленнее происходит охлаждение слитка и тем выше коэффициент полезного действия работы деформации, так как при высоких температурах пластичность металла значительно больше, чем при низких температурах.

Если же обжатие в обжимных валках слишком мало, то слиток быстро охлаждается, вследствие чего возрастает работа деформации, и значительные деформации в дальнейшем уже становятся затруднительными или даже невозможными.

Так как валки большого диаметра, применяемые для обжима слитков, имеют сравнительно небольшое число оборотов в минуту, то с уменьшением величины обжатия прокатка сильно затягивается. Во избежание этого не следует брать чрезмерно толстые слитки.

Кроме того, после энергичного обжатия слиток следует передать в другую клеть с меньшим диаметром валков, но с большим числом оборотов, причем диаметр валков должен быть рациональных размеров, сообразно толщине прокатываемой полосы, а увеличение числа оборотов, вызываемое необходимостью ускорить движение тонкой и длинной полосы, должно сообразоваться с диаметром валков.

Чем меньше поперечное сечение полосы, тем больше отношение поверхности к объему ее, следовательно, тем больше относительная потеря тепла в единицу времени.

Поэтому следующая за обжимной подготовительная клеть должна обладать возможно большим числом оборотов и осуществлять возможно большую вытяжку, насколько это позволяет температура металла, мощность двигателя и профилировка полосы.

В то время, как в обжимной клетке следует стремиться по возможности быстро уменьшить сечение слитка, сохраняя его прими-

тивную квадратную или прямоугольную форму, подготовительные клетки имеют своей задачей, кроме того, подготовить требуемый профиль продукта.

За подготовительными клетями следуют отделочные клетки, в которых полоса приобретает вполне точные размеры и профиль<sup>1</sup>.

Иногда отделочные клетки имеют еще большее число оборотов и соответственно меньший диаметр валков по тем же соображениям.

Часто, например, в более старых установках, обжимные, подготовительные и отделочные клетки монтируются в одну линию и имеют, следовательно, общее число оборотов.

Это в большинстве случаев чрезвычайно нерационально, так как если стану придать малое число оборотов, отвечающее условиям работы обжимной клетки, то работа следующих клеток будет крайне непродуктивна; если же ему придать большее число оборотов, отвечающее условиям работы чистовой клетки, то в обжимной клетки это вызовет далекое выбрасывание короткой болванки и замедление в обратной подаче ее в валки, т. е. значительное понижение производительности.

Поэтому станы дифференцируют, ставя клетки в две, три или четыре линии с разным числом оборотов и разными диаметрами валков или располагая их непрерывно. Благодаря этому, между прочим, калибровка ручьев каждой линии может иметь самостоятельную градацию коэффициентов вытяжки, если это соответствует интересам прокатки.

Иногда на практике в обжимных и подготовительных ручьях придерживаются приблизительно одинакового коэффициента вытяжки. Это нерационально, так как если коэффициент выбран малым ради предотделочных ручьев, то прокатка крайне затягивается и требует, вследствие охлаждения полосы, большого расхода энергии; если же, наоборот, коэффициент выбран большим ради обжимных ручьев, то ручьи подготовительной линии несоразмерно быстро изнашиваются и требуют переточки после не продолжительной службы.

Отсюда целесообразно выбирать самостоятельные переменные коэффициенты вытяжки для отдельных линий, чтобы тем самым достигнуть значительного уменьшения расхода энергии и ускорить процесс прокатки. При этом в каждом ручье нужно стремиться к максимальным коэффициентам вытяжки, какие допускаются состоянием и качеством металла, размером валков, профилем полосы и мощностью двигателя.

<sup>1</sup> Между черновыми или обжимными и подготовительными калибрами нельзя провести резкой границы: одни и те же калибры могут быть частично размещены и в обжимной и в подготовительных клетях. В этом деле решающую роль играет согласование работы всех клеток.

Чем проще окончательный профиль и чем прочнее материал валков, тем больше может быть коэффициент обжатия или вытяжки.

Практика выработала следующие коэффициенты вытяжки. Для фасонных профилей:

- 1) для отделочных валков  $\mu = 1,1 \div 1,2$ ;
- 2) для черновых валков профилей  $\perp$ ,  $\lcorner$ ,  $\llcorner$  и т. п.  $\mu = 1,2 \div 1,3$ ;
- 3) для черновых валков профилей  $\sqsubset$ ,  $\sqsupset$ ,  $\sqcap$ ,  $\sqcup$  и т. п.  $\mu = 1,3 \div 1,4$ ;

Для обжимных валков  $\mu = 1,2 \div 1,85$ .

Для сортового железа, особенно для быстро стывущего мелко sortного, коэффициенты вытяжки следует брать следующие:

- 1) для чистовых валков  $\mu = 1,14 \div 1,15$ ;
- 2) для подготовительных валков  $\mu = 1,14 \div 1,20$ ;
- 3) для квадратных и овальных ручьев  $\mu = 1,2 \div 1,8$ ;
- 4) для стрелчатых и ромбических ручьев  $\mu = 1,4 \div 1,6$ .

Для полосового и обручного железа в черновых и подготовительных ручьях  $\mu = 1,3 \div 2,0$ .

## ГЛАВА 2

### УШИРЕНИЕ

#### 1. Свободное уширение

При расчете калибровки необходимо учитывать уширение металла в валках.

При прокатке в гладких валках или в достаточно свободных по ширине плоских калибрах уширение развивается свободно; если же калибр тесен, то уширяющийся металл встречает боковые грани ручья, и уширение становится несвободным.

Если в различных частях профиля прокатываемой полосы совершается одновременно различное обжатие, то в очаге деформации происходит вынужденное перемещение металла в стороны, и уширение принимает ненормально большие размеры. Такое уширение называют *вынужденным*.

В настоящей главе рассматривается вопрос об определении величины свободного уширения.

Уширение при прокатке зависит от многих переменных факторов: величины обжатия (абсолютного и относительного), толщины и ширины полосы, диаметра валков, коэффициента трения, температуры и свойств деформируемого металла, скорости деформации при прокатке и др.

В отечественной литературе по прокатке опубликовано большое число работ, посвященных исследованию уширения. Отсылая интересующихся к «Материалам по теории прокатки» [5, 6], где собраны почти все работы по вопросу уширения, упомянем лишь имена тех русских исследователей, которые дали формулы для расчета свободного уширения при прокатке (в хронологическом порядке).

Формула Петрова [7]:

$$B_2 - B_1 = \left( 0,47 \div 0,68 \frac{H-h}{h} \right) \frac{H-h}{h} \sqrt{R(H-h)}. \quad (1)$$

Формула Злотникова [8]:

$$B_2 - B_1 = 0,66 \frac{H-h}{H+h} \sqrt{R(H-h)}. \quad (2)$$

Формула Александрова и Лашко [9]:

$$B_2 - B_1 = C f e^{-bt} \frac{H-h}{h} \sqrt{R(H-h)}. \quad (3)$$

Формула Чихирова [10]:

$$B_2 - B_1 = C (H-h) \sqrt{\frac{R}{h}}. \quad (4)$$

Формула Хейна [11]:

$$B_2 - B_1 = \operatorname{tg} \theta_b' \frac{(H-h) \sqrt{R(H-h)}}{h}. \quad (5)$$

Формула Бахтинова [12]:

$$B_2 = \frac{B_1}{1 - m \frac{(H-h) \sqrt{R(H-h)}}{H B_1}}. \quad (6)$$

Формула Губкина [13]:

$$B_2 - B_1 = \left( 1 + \frac{H-h}{H} \right) \left( f \sqrt{R(H-h)} - \frac{H-h}{2} \right) \frac{H-h}{H}. \quad (7)$$

Анализ формул (1—7), сделанный Ю. Чижиковым [14], показал, что формула Губкина наиболее верно отражает действительное уширение. Эту формулу, а также формулу Бахтинова, дающую хорошую точность, можно рекомендовать для практического применения.

Сложность разработки точных формул уширения усугубляется физической стороной истечения металла. Сюда относятся: состав металла, его температура, состояние поверхности валков и деформируемого металла, коэффициенты трения, порядок обжатий, степень наклепа и т. п.

Многочисленные исследования советских ученых показали значительное влияние этих факторов на величину уширения; это говорит о существовании сложных взаимозависимостей между физическими и геометрическими факторами деформации при прокатке. Достаточно указать на работы Иг. М. Павлова [15], Павлова и Иванова [16], Павлова и Галлая [17], Рудбаха и Саргана [18], Рудбаха и Северденко [19], Врацкого и Александрова [20], Врацкого [21], Злотникова [22], Лошкарева [23], Сведешвеца [24], Федосова [25], Чижикова [26], Лабузова [27] и других.

В качестве примера, показывающего, насколько сложна зависимость уширения от физических и химических факторов, можно

привести выводы, сделанные Гинзбургом и Гельдерманом [28], а также Чижиковым [26] при исследовании влияния отдельных химических элементов и температуры металла на величину уширения [28].

На величину уширения влияет большое количество разнообразных переменных факторов, из которых многие не могут быть выражены математически. Поэтому иногда бывает нерационально пользоваться весьма сложными формулами для расчета изменения ширины полосы при прокатке. Для расчетов калибровки простых профилей часто можно ограничиться такими важнейшими факторами, влияющими на уширение, как величина обжатия, толщина полосы и диаметр валков.

При правильно выбранных коэффициентах уширение, вычисленное по простейшей из формул, достаточно близко к уширению, вычисленному по наиболее сложной формуле.

Сравним расчетную и фактическую ширину полосы ( $B_2$ ) при прокатке в гладких чугунных и стальных валках заготовки малоуглеродистой стали прямоугольного сечения шириной 25—130 мм при коэффициентах вытяжки  $\mu$  от 1,1 до 2,7 [6]. Величина фактического уширения сравнивалась с рассчитанной по следующим формулам.

1. Формула Экеелунда:

$$B_2^2 - B_1^2 = 4ml(H-h) - 2m(H+h)l \ln \frac{B_2}{B_1}, \quad (8)$$

где

$$m = \frac{1,6f\sqrt{R(H-h)} - 1,2(H-h)}{H+h},$$

$$l = \sqrt{R(H-h)},$$

$f = 1,05 - 0,0005 T^\circ$  — для стальных валков,

$f = 0,8 (1,05 - 0,0005 T^\circ)$  — для чугунных закаленных валков.

2. Упрощенная формула Экеелунда: приняв  $\ln \frac{B_2}{B_1} = \frac{B_2}{B_1} - 1$ ,

можно упростить формулу так:

$$B_2 = -A + \sqrt{A^2 + B_1^2 + 4mi(3H-h)}, \quad (9)$$

где

$$A = 2m(H+h) \frac{l}{B_1}; \quad l = \sqrt{R(H-h)}.$$

3. Формула Жёза:

$$B_2 - B_1 = a(H-h). \quad (10)$$

4. Формула Шельда:

$$B_2 - B_1 = \frac{H-h}{H} R \sin^2 \alpha. \quad (11)$$

5. Формула Седлачека:

$$B_2 - B_1 = \frac{H-h}{6} \sqrt{\frac{R}{H}}. \quad (12)$$

6. Формула Зибея:

$$B_2 - B_1 = 0,35 \frac{H-h}{H} \sqrt{R(H-h)}. \quad (13)$$

7. Формула Тринкса:

$$\frac{B_2 - B_1}{B_1} = \frac{1}{2} (1+n) \pm \sqrt{\frac{n\Delta}{1-\Delta} + \left(\frac{1+n}{2}\right)^2}, \quad (14)$$

где

$$\Delta = \frac{H-h}{H}; \quad n = 0,8 \frac{l}{B_1}; \quad l = \sqrt{R(H-h) - \left(\frac{H-h}{2}\right)^2}.$$

Для удобства сравнения все полученные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение фактического и расчетного уширений при прокатке малоуглеродистой стали

D мм	T °C	H мм	h мм	$\mu$	B <sub>2</sub> опыт- ное, мм	B <sub>2</sub> расчетное по формулам						
						(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
280	980	8,6	3,4	2,53	18,0	18,0	15,9	11,6	16,6	12,5	16,7	16,8
280	1020	10,8	4,0	2,70	22,5	22,3	19,8	14,4	22,7	15,1	17,8	21,0
240	1000	20,0	15,8	1,26	22,0	22,4	22,8	22,1	21,1	21,7	21,7	22,2
250	950	24,0	12,0	2,0	33,5	33,8	35,1	30,0	35,6	28,6	30,8	34,3
250	1000	28,3	21,9	1,29	32,0	31,8	31,8	31,5	30,2	30,5	30,5	31,8
230	1000	31,0	22,9	1,35	34,0	34,3	35,6	35,0	33,8	33,6	33,8	35,3
370	1050	36,5	30,3	1,20	40,0	39,7	39,9	39,6	37,8	38,8	38,8	39,6
390	900	41,7	27,1	1,54	52,1	52,4	53,2	49,1	49,6	47,0	48,4	52,2
370	950	50,0	30,0	1,66	61,0	61,1	64,2	60,0	62,9	56,4	58,2	64,0
403	1050	57,0	41,0	1,39	63,6	64,0	65,9	65,0	43,1	62,0	62,6	65,0
570	1100	82,2	57,1	1,41	95,7	96,1	96,0	90,6	93,0	90,0	91,7	96,0
315	1050	17,2	15,6	1,10	25,9	26,0	26,0	26,1	25,5	26,0	25,6	26,1
230	950	9,35	8,0	1,17	30,0	30,2	30,3	28,0	29,5	30,1	29,9	30,6
230	1000	19,0	13,1	1,45	39,9	40,1	41,0	39,2	38,8	38,6	39,0	41,8
240	950	13,1	10,9	1,20	41,4	41,1	41,4	41,0	40,3	41,0	40,8	41,7
280	1050	4,4	2,9	1,52	50,1	50,4	50,5	49,4	49,2	50,0	50,3	53,4
387	1150	19,8	15,3	1,30	62,5	62,8	63,4	62,4	61,0	62,5	62,4	64,8
601	750	39,1	28,5	1,37	79,0	79,6	81,1	73,5	74,0	74,9	75,4	79,5
387	1100	15,5	12,0	1,29	81,1	81,4	81,9	81,3	81,6	81,6	81,6	83,4
580	840	58,4	40,5	1,44	103,5	103,5	106,2	97,4	99,2	98,0	99,1	105,5
601	840	40,5	27,9	1,45	113,8	114,0	116,2	107,7	109,4	109,2	110,2	116,4
598	1060	38,0	23,0	1,65	123,0	123,7	128,9	118,5	123,5	120,5	122,7	135,5
570	750	76,0	60,8	1,25	136,5	137,3	139,1	136,1	134,7	135,9	135,6	139,9

Данные таблицы показывают, что при коэффициентах вытяжки  $\mu < 2,0$  простейшая формула (10) дает величину уширения, достаточно близкую к вычисленной по наиболее сложной из всех формул (8).

Точность расчетов по формуле (10) может быть повышена, если дополнительно учесть факторы  $H$  и  $D$ .

Введя в формулу (10) переменный коэффициент  $a$ , зависящий

от  $H$  и  $D$ , можно руководствоваться (с достаточной в практике расчетов калибровок точностью) диаграммой, предложенной А. П. Виноградовым (рис. 2).

При этом имеется в виду свободное уширение, ограниченное боковыми гранями ручья таким образом, что выпуклый мениск уши-

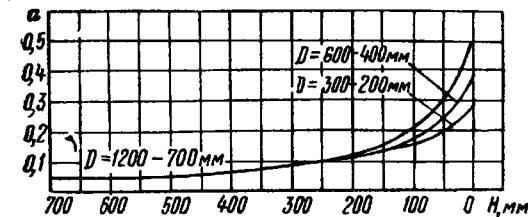


Рис. 2. Диаграмма для выбора коэффициента  $a$

ренной части совершенно заполняет прямоугольный профиль ручья без заусенцев и без невыполнения углов.

Во всех расчетах калибровок, приведенных в последующих главах, показатель уширения  $a$  определялся по диаграмме рис. 2, а уширение — по формуле (10).

Естественно, что применение других, более сложных, но более точных формул (например, формул Губкина или Экелунда) также возможно и не меняет изложенной методики калибровки по существу.

## 2. Несвободное и вынужденное уширение

В фасонных профилях естественное уширение искажается весьма сложным течением металла из одной части поперечного сечения профиля в другую часть.

Металл в разных частях фасонного профиля подвергается разному вертикальному или боковому обжатию и имеет стремление течь из мест большего обжатия в места меньшего обжатия.

Если прокатка ведется в гладких валках, то уширение свободно, так как не стесняется гребнями валков. В этом случае прокатанный в несколько пропусков квадрат постепенно превращается в полосу с закругленными гранями.

С каждым пропуском полоса делается все шире и шире, но при этом плоские грани квадрата становятся выпуклыми, а при большом вертикальном обжатии — даже полукруглыми.

При этом возможны случаи, когда вследствие получающихся при выдавливании металла напряжений при недостаточной пла-

стичности металла на поверхности закругленных граней появляются трещины или рванины; которые при дальнейшей прокатке раскрываются все шире и шире.

Если полосы катаются в замкнутых ручьях, то свободного уширения не будет, так как оно встречает преграду в гребнях валков, и полоса принимает форму ручья.

Если при этом заданная в ручей полоса будет недостаточно широка, то из ручья выйдет полоса с невыполненными углами; наоборот, если задается чрезмерно широкая полоса, то уширившийся при прокатке металл не только заполнит весь профиль ручья, но выдавится еще в зазоры между валками, образуя заусенцы. Наконец, если уширение правильно рассчитано и, таким образом, выбрана нужная ширина задаваемой в ручей полосы, — металл при прокатке заполнит весь ручей без избытка и недостатка и выходящая из ручья полоса получит точный и чистый профиль.

Сернистый и недостаточно раскисленный металл склонен давать трещины и рванины при прокатке, поэтому его следует катать, по возможности, в замкнутых ручьях, чтобы избежать образования граней, предоставленных свободному уширению.

Особенно чувствительны к трещинам углы болванки. Образование трещин в углах хорошо предотвращается прокаткой в ромбических ручьях, в которых прокатка идет с поворотом полосы после каждого пропуска на  $90^\circ$  и которые дают катаные поверхности со всех четырех сторон, причем углы попарно то подвергаются свободному уширению, то обжимаются при повороте болванки на  $90^\circ$ .

Чередованием ромбических или квадратных ручьев с овальными еще лучше предупреждается образование трещин в углах (ребрах), так как при переходе от ромба (квадрата) к овалу

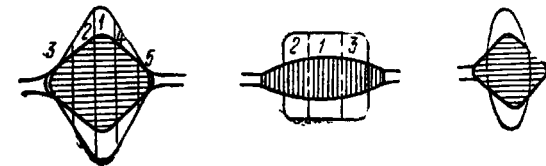


Рис. 3. Переход углов на грани (и наоборот) в квадратных, ромбических и овальных калибрах

(рис. 3) углы ромба (квадрата) переходят в грани овала, а грани ромба (квадрата) подвергаются свободному уширению, образуя углы овала. Последние в следующем ромбическом (квадратном) ручье подвергаются вертикальному обжатию, а грани овала образуют горизонтальную пару углов нового ромба, и т. д.



Уширение в ромбических и овальных ручьях подвергается искажению по сравнению с нормальным уширением прямоугольной болванки в гладких валках.

а) Уширение при прокатке ромба в ромбе

Рассмотрим прокатку ромбической заготовки в ромбическом ручье (рис. 3). Разобьем ромбическую заготовку на пять вертикальных поясов: центральный 1, два симметричных средних 2 и 4 и два крайних 3 и 5.

Если бы эти пять поясов не были связаны между собою единством пластичного металла, то вытяжка каждого происходила бы независимо; независимым было бы и уширение каждого пояса. Очевидно, пояс 1 получил бы наибольшую вытяжку, так как он подвергается наибольшему вертикальному обжатию; наоборот, пояса 3 и 5, получающие ничтожное обжатие, вытягивались бы меньше всех; средние пояса 2 и 4 получили бы промежуточную вытяжку.

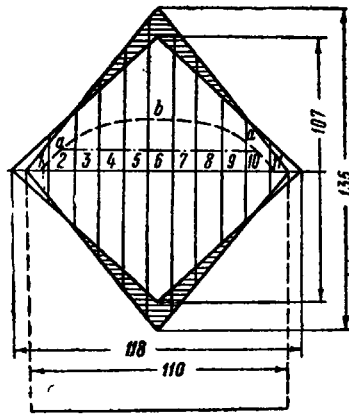


Рис. 4. Прокатка ромбической заготовки в ромбическом калибре с местом для уширения

На рис. 4 представлено обжатие ромбической заготовки в ромбическом калибре, предусматривающем уширение  $a = 0,3 (H - h)$ .

Размеры ромба, поступающего в ручей,  $135 \times 110$  мм;  $Q_1 = 7430$  мм<sup>2</sup>. Размеры ромбического ручья  $118 \times 107$  мм;  $Q_2 = 6320$  мм<sup>2</sup>. Средний коэффициент вытяжки, следовательно,

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{7430}{6320} = 1,176.$$

Вычислим элементарные коэффициенты вытяжки для каждого из одиннадцати вертикальных слоев, на которые разбито поперечное сечение ромба и калибра:

в слоях 1 и 11  $\mu_{1,11} = 1$ ;

в слоях 2 и 10  $\mu_{2,10} = \frac{38}{34} = 1,118$ ;

в слоях 3 и 9  $\mu_{3,9} = \frac{61}{52} = 1,173$ ;

в слоях 4 и 8  $\mu_{4,8} = \frac{86}{70} = 1,229$ ;

в слоях 5 и 7  $\mu_{5,7} = \frac{110}{89} = 1,236$ ;

в слое 6  $\mu_6 = \frac{135}{107} = 1,261$ .

Найденные коэффициенты вытяжки нанесены на диаграмму в виде кривой  $aba$ .

На рис. 5 представлено обжатие ромбической заготовки в ромбическом калибре, не предусматривающем уширения;

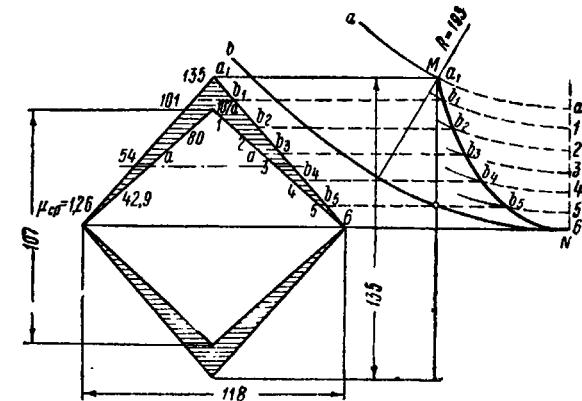


Рис. 5. Прокатка ромбической заготовки в ромбическом калибре без места для уширения

в этом случае ряд калибров строится по правилу: высота предыдущего равна ширине последующего.

Размеры ромба, поступающего в ручей,  $135 \times 118$  мм;  $Q_1 = 7960$  мм<sup>2</sup>. Размеры ромбического ручья  $118 \times 107$  мм;  $Q_2 = 6320$  мм<sup>2</sup>. Средний коэффициент вытяжки, следовательно,

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{7960}{6320} = \frac{135}{107} = 1,26.$$

Коэффициенты элементарных вытяжек в каждом вертикальном слое здесь повсюду одинаковы и также равны  $\mu = 1,26$ .

Равенство коэффициентов вытяжек во всех частях нетрудно видеть из следующего построения (рис. 6). Очевидно, имеем

$$\frac{AA_1}{BB_1} = \frac{CN}{CM} \quad \text{и} \quad \frac{DD_1}{EE_1} = \frac{CN}{CM}.$$

Отсюда

$$\frac{AA_1}{BB_1} = \frac{DD_1}{EE_1},$$

а следовательно,

$$\frac{AA_1}{DD_1} = \frac{BB_1}{EE_1} = \mu.$$

Очевидно, в каждом сечении получим тот же результат, всюду  $\mu$  — величина одна и та же, равная  $\frac{AA_1}{DD_1} = \frac{135}{107} = 1,26$ .

Поэтому диаграмма коэффициентов элементарных вытяжек здесь — прямая  $aa$  (см. рис. 5).

В первом случае (см. рис. 4) мы видим, что коэффициент элементарных вытяжек растет от краев к середине, но в действительности металл представляет собой одно целое и имеет некоторый средний коэффициент вытяжки  $\mu_{\text{ср}} = 1,176$ , промежуточный между коэффициентом вытяжки крайних и средних полос. Отсюда ясно, что вытяжка средних и крайних частей должна подчиняться вытяжке слоев 3 и 9.

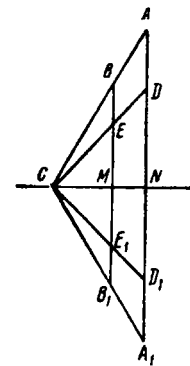


Рис. 6. Диаграмма равенства вытяжек во всех частях полосы

Вследствие этого средние слои 4—8 должны испытать постепенно усиливающееся уширение от слоя 4 к 6 и от слоя 8 к 6, а наружные слои 1, 2, 10 и 11 должны испытать отрицательное уширение<sup>1</sup>.

В результате последнее в значительной мере может компенсировать положительное уширение средних слоев, и общее уширение может быть ниже, чем при подобном же обжатии в плоских ручьях.

Во втором случае (рис. 5) всюду имеет место нормальное уширение; подобное уширению в плоских ручьях, и суммарное уширение здесь несколько больше, чем в предыдущем случае.

Однако уширение здесь несвободно, так как стесняется боковыми гранями калибра. На рис. 5 нанесена в проекции кривая  $MN$  точек постепенного захвата валками разных вертикальных слоев данного сечения. Эта диаграмма показывает, что ромб в каждом поперечном сечении сначала захватывается в вертикально расположенных вершинах и затем только по мере продвижения полосы вперед постепенно захватываются валками отдельные точки стороны ромба, и в последнюю очередь захватываются горизонтально расположенные вершины.

Благодаря этому позади валков в металле образуется волна, бегущая от вертикальных углов ромба к горизонтальным, вызы-

<sup>1</sup> Т. е. утяжку. *Ред.*

вающая сначала уширение позади валков<sup>1</sup>, а затем утяжку его вследствие того, что волна постепенно увеличивает вытяжку к краям полосы, питающую вытяжку центральной части<sup>2</sup>.

### б) Уширение квадрата в овальном калибре

Рассмотрим прокатку квадратной заготовки в овальном ручье. Разбив квадрат (см. рис. 3), поступающий в овальный ручей, на вертикальные пояса 1, 2, 3, видим, что здесь наибольшей вытяжке подвергаются пояса, лежащие ближе к краю.

На рис. 7 приведена диаграмма коэффициентов элементарных вытяжек для этого случая.

При прокатке овала в квадрате (рис. 3) средние слои имеют минимум вытяжки, а максимум находится весьма близко к бокам овала. Затем коэффициент вытяжки очень круто падает до 1. Средний коэффициент вытяжки совпадает с элементарным среднего слоя.

Следовательно, вытяжки остальных слоев подчинены вытяжке центрального слоя, и избыток элементарных длин у краев полосы идет на развитие вынужденного уширения.

Подобную же картину представляет прокатка квадрата в овале (рис. 7). Уширение квадрата в овале, следовательно, носит сильно вынужденный характер и должно быть велико.

### в) Уширение в ромбических и овальных калибрах

Рассмотрим явление прокатки в ромбических и овальных калибрах с точки зрения относительных скоростей металла и валков.

Ромбическая полоса в ромбическом ручье крепко держится трением в вертикальных углах ручья, так как здесь приложено наибольшее давление, поэтому скорость полосы, выходящей из валков, равна окружной скорости валков в вершине ручья<sup>3</sup>.

Боковые грани ручья опережают прокатываемую в нем полосу, способствуя увеличению вытяжки крайних слоев и уменьшению уширения металла в них.

Квадратная полоса в овальном ручье крепко держится

<sup>1</sup> Точнее — в начальной области очага деформации. *Ред.*

<sup>2</sup> В начальный момент обжимаются только средние по ширине вертикальные элементы данного поперечного сечения профиля. Так как все остальное сечение еще не обжимается, то оно удерживает от вытяжки средние элементы, которые и дают вынужденное уширение. По мере входа данного сечения в очаг деформации количество необжимаемых вертикальных элементов уменьшается, и они все меньше сдерживают вытяжку средних элементов, поэтому уширение их уменьшается до пределов свободного уширения. Когда же остаются необжатыми только крайние вертикальные элементы, то средние обжимаемые начинают их увлекать за собой, вытягивать без обжатия, и последние, следовательно, будут удлиняться за счет уменьшения их ширины, т. е. за счет их утяжки. *Ред.*

<sup>3</sup> Если не считать опережения.

в крайних слоях, и ее скорость определяется окружной скоростью валков в области крайних слоев. Поэтому центральная часть грани ручья движется с меньшей скоростью, чем металл, и, следовательно, тормозит вытяжку среднего по ширине слоя,

и без того вытягивающегося менее крайних слоев. Это усугубляет развитие уширения боковых слоев.

Опережение и уширение здесь происходят за счет истекших внутренних частиц металла, по преимуществу крайних слоев.

Итак, овальный калибр дает значительное уширение, квадратный — энергичную вытяжку овала.

Так как форма овального калибра, несмотря на сильное уширение, дает возможность применять большее вертикальное обжатие, и овальная заготовка в квадратном ручье также подвергается сильному вертикальному обжатию, то система овал — квадрат является наиболее производительной. Вследствие этого в настоящее время эта система весьма широко применяется вместо ранее преобладавшей системы одних ромбов или стрелчатых калибров, не допускающих больших обжатий.

#### г) Уширение в калибрах блюмингов

Плоский калибр блюминга при той же площади, что и ромбический или стрелчатый, дает вырез в валках значительно менее глубокий, так как врезается в валки высотой прямоугольника, а не диагональю.

Для квадрата отношение диагонали к высоте — 1,41; таким образом, ромб врезается в валки приблизительно на 40% глубже, чем прямоугольник. Поэтому при данном диаметре валков в плоских калибрах можно прокатывать слитки больших размеров, чем в ромбических или стрелчатых калибрах.

Распределение вытяжки в плоском калибре равномерное, так как вертикальное обжатие во всех частях профиля одинаково. Поэтому уширение здесь нормальное и подчиняется тем же законам, как и в гладких валках, причем боковые грани ручьев ограничивают уширение для получения полосы нужной ширины.

Следует также отметить, что и здесь до некоторой степени может иметь место вынужденное уширение, если профиль слитка имеет чрезмерно большую высоту  $H$  по сравнению с величиной вертикального обжатия  $H - h$ .

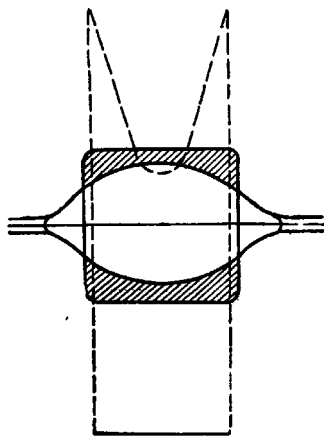


Рис. 7. Диаграмма коэффициентов элементарных вытяжек квадрата в овальном калибре

Этот случай может иметь место в блюминге. В этом случае уширение стремится придать сечению слитка вогнутые боковые грани.

Если при этом боковые грани ручья ограничивают развитие уширения до нормы, как показано на рис. 8, то уширение приобретает вынужденный характер в направлении к горизонтальной оси сечения слитка. Если бы при этом ручей имел коробчатую форму, изображенную на рис. 9, то вынужденное уширение могло бы вызвать образование заусенца в месте  $a$ , несмотря даже на неполное заполнение ручья в области  $y$ .

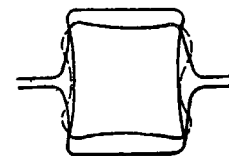


Рис. 8. Местное уширение толстой болванки

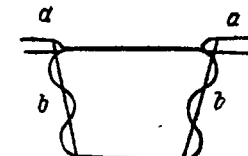


Рис. 9. Возможность образования заусенцев при незаполненном калибре

#### д) Вынужденное уширение в трапециодальном калибре

Более причудливые профили калибров, например трапециодальный, фланцевый и т. п., при прокатке в них прямоугольных слитков еще больше искажают явление уширения, чем ромбические и овальные калибры, вызывая или необычайно большое уширение в одной части профиля или необычайно малое в другой, и уширение приобретает вынужденный характер.

Мы уже познакомились отчасти с явлением вынужденного уширения при разборе процесса прокатки в ромбическом и овальном калибрах. Рассмотрим процесс деформации прямоугольной полосы в трапециодальном калибре.

Если в трапециодальный калибр задается прямоугольная болванка (рис. 10), разумеется, меньшей ширины, чем калибр, на величину нормального уширения, то обычно в месте  $a$  получается заусенец, а в  $b$  — незаполнение, происходящее от имеющего здесь место вынужденного уширения в правой части металла и утяжки в левой части.

Действительно, разделив вертикальной линией  $AA$  площадь прямоугольника на две равные части и линией  $BB$  площадь трапеции калибра на две вертикальные части, увидим, что в левой части слиток получает малое вертикальное обжатие, а следовательно, и малую естественную вытяжку, в правой же части — большое вертикальное обжатие и большую вытяжку. Очевидно, левая половина выходящей из валков полосы будет

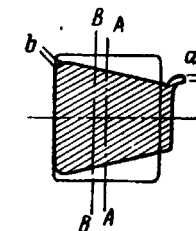


Рис. 10. Деформация прямоугольной заготовки в трапециодальном калибре

сдерживать движение правой половины, вследствие чего металл правой половины, не имея достаточного выхода вперед, будет уширяться сверх нормы вправо, заполняя калибр, и, если он тесен, — в щель между валками  $a$ . В свою очередь, металл правой части, имея стремление к значительной вытяжке, будет увлекать за собой, насколько позволяет вязкость металла и уширение, левую часть полосы, стремясь вытянуть ее сверх нормы, определяемой вертикальным давлением, вследствие чего будет происходить уменьшение нормального уширения левой части полосы, сказывающееся в недостаточном заполнении углов.

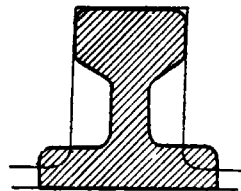


Рис. 11. Вынужденное уширение рельсовой пяты

Другим примером вынужденного уширения является выработка тонкого фланца рельсовой пяты в ребровом калибре при прокатке рельсов (рис. 11).

В подготовительных калибрах рельс кагается с толстыми фланцами пяты во избежание преждевременного охлаждения тонких фланцев. Затем в ребровом калибре фланцы пяты подвергаются обжатию, в то время как остальная часть рельса почти совершенно не обжимается. Вследствие этого фланцы пяты должны были бы получить значительную вытяжку, если бы этому не препятствовала почти невытягивающаяся остальная масса рельса: не имея возможности двигаться вдоль полосы, металл во фланцах чрезвычайно сильно, уширяется, образуя тонкие фланцы.

е) Течение металла из одной части калибра в другую

Рассмотрим явление сложного течения металла из одной части калибра в другую.

Болванка толщиной  $H$  и шириной  $B$  прокатывается между ребрами двух валков так, чтобы получился двутавровый профиль с толщиной шейки  $h$  и высотой фланцев  $h_1$  (рис. 12). Определим высоту фланцев  $h_1$  при данном коэффициенте вытяжки всего профиля.

Так как обжатию подвергается только центральная часть болванки  $add'a'$ , то при условии, что все семь частей поперечного сечения болванки (если мы разделим сечение болванки вертикальными линиями на семь частей) вытягиваются незави-

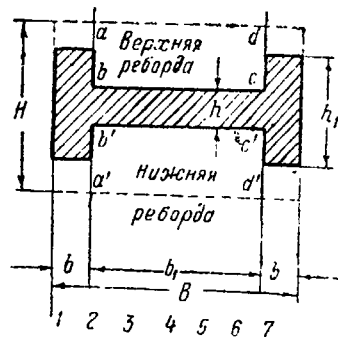


Рис. 12. Прокатка двутаврового профиля между ребрами валков

симо друг от друга, мы получим теоретические вытяжки; для крайних частей коэффициент вытяжки

$$\mu_k = 1,$$

для средних

$$\mu_c = \frac{H}{h}.$$

В действительности же этой независимости быть не может, и центральная часть будет увлекать за собой боковые фланцы, стремясь сообщить им вытяжку, равную также  $\mu_c$ .

Однако это было бы возможно лишь при условии, что высота фланцев тоже получилась бы равной  $h$ , т. е. во фланцах происходила бы утяжка металла или осадка его до такого же размера, как и в средних частях под действием реборд.

Этого в действительности быть не может.

Возможно, однако, что фланцы получают вытяжку, одинаковую с центральными частями, но при этом вытяжка центральных слоев должна уменьшиться против «теоретической» вытяжки  $\mu_c$  (здесь  $\mu$  средних частей, а не средняя).

В этом случае часть металла переходит во фланцы. Количество металла, истекающего во фланцы, и определяет собой размер действительной вытяжки, общей для шейки и фланцев.

При этом возможно себе представить, что это истечение будет настолько велико, что высота фланца останется равной высоте болванки  $H$ , т. е. утяжка фланцев будет равна нулю. В этом случае действительная вытяжка всего профиля получит минимальное значение  $\mu_{\min}$ .

Но возможно также представить, что наряду с истечением металла из шейки во фланцы происходит некоторая утяжка фланцев по высоте, питающая частично наряду с шейкой вытяжку фланцев. Если эта утяжка в предельном случае так велика, что  $h_1$  делается равным  $h$ , то истечение из шейки во фланцы уменьшится до нуля. В этом случае общая действительная вытяжка достигнет своей максимальной величины:

$$\mu_{\max} = \mu_c = \frac{H}{h}.$$

В действительности чаще может встретиться, что вытяжка  $\mu_d$  получит некоторое среднее значение.

Минимальный коэффициент вытяжки определяется, очевидно, из следующего выражения:

$$\mu_{\min} = \frac{\Sigma \mu_k + \Sigma \mu_c}{n}.$$

Пусть, для примера,  $H = 100$ ;  $h = 80$ ;  $n = 7$ .

$$\text{Получаем } \mu_n = 1; \mu_c = \frac{100}{80} = 1,25; \mu_{\max} = 1,25;$$

$$\mu_{\min} = \frac{2 \cdot 1 + 5 \cdot 1,25}{7} = 1,18.$$

Очевидно, действительный<sup>1</sup> коэффициент вытяжки  $\mu_d > 1,18$  и  $\mu_d < 1,25$ .

Металл в средних частях сжат в продольном направлении, в крайних — растянут, так как увлекается средней частью профиля.

Если бы не было истечения металла из шейки во фланцы, то последние должны были бы разорваться или сократить свое сечение, т. е. утягиваться. В действительности и истечение и утяжка имеют место в различных пропорциях, обуславливающих данный общий коэффициент вытяжки  $\mu_d$ .

В рассматриваемом процессе фланцы все время испытывают недостаток металла в крайних частях, следовательно, здесь не может быть речи об уширении металла во фланцах или в шейке; весь металл, который должен был бы пойти на уширение шейки, поглощается фланцами для их вытяжки, причем его даже не хватает, что и сказывается в утяжке фланцев по высоте.

Пусть действительный общий коэффициент вытяжки равен  $\mu_d$ . Очевидно, он потребует уменьшения высоты фланцев  $H$  до некоторой высоты  $h_x$ , которую и требуется найти.

Напишем выражение для  $\mu_d$ :

$$\mu_d = \frac{2 \frac{H}{h_x} + (n-2) \frac{H}{h}}{n}.$$

Отсюда находим  $h_x$ :

$$h_x = \frac{2H}{n\mu_d - (n-2) \frac{H}{h}}. \quad (15)$$

Например, пусть  $\mu_d = 1,2$ . Находим

$$h_x = \frac{2 \cdot 100}{7 \cdot 1,2 - 5 \cdot 1,25} = 93.$$

Итак, при наблюдаемом или заданном общем коэффициенте вытяжки  $\mu_d = 1,2$  в данном случае будет иметь место утяжка фланцев  $100 - 93 = 7$  мм.

Выведенное выражение позволяет нам задаваться одной из двух величин  $h_x$  или  $\mu_d$  и определять другую. Но для полного решения вопроса необходимо было бы иметь еще одну зависимость между  $h_x$  и  $\mu_d$ , чтобы полностью решить вопрос об ис-

<sup>1</sup> Он также средний.

течении металла. Если неизвестно  $\mu_d$ , то остается неизвестным, какая часть металла идет из шейки во фланцы и сколько металла утягивается.

Было бы крайне важно знать закономерности, позволяющие определять  $\mu_d$  или  $h_x$  независимо друг от друга, чтобы затем по формуле (15) найти и другую искомую величину. Несомненно, мера истечения металла из шейки во фланцы в указанных условиях зависит от весьма многих факторов, а именно: от пластичности металла, т. е. его состава и температуры, коэффициента трения, величины вертикального обжатия ( $H-h$ ), ширины давящей реборды, толщины  $H$ ,  $h$  и  $b$  (рис. 12).

Для выяснения этой зависимости необходимо провести специальные опыты для установления  $\mu_d$  как функции указанных факторов, в особенности от важнейших  $H$ ,  $h$  и  $H-h$ ,  $b$ ,  $b_1$  и температуры.

Возвратимся к дальнейшему рассмотрению процесса.

Очевидно, если в ручье высота фланца предусмотрена, иначе говоря, прокатка ведется в калибре, в котором фланец может испытывать вертикальное обжатие, т. е. высота фланца в ручье  $h_d$  выбрана меньше, чем вычисленная  $h_x$ , то вследствие обжатия  $h_x - h_d$  фланцы испытывают дополнительную вытяжку; последняя должна или повысить общую вытяжку профиля или вызвать уширение его (вынужденное), часто обуславливающее заусенец.

Определим вынужденное уширение фланца для рассматриваемого случая, если  $h_x > h_d$ . Для этого предположим, что дополнительная вытяжка не осуществляется (что обычно и бывает, если масса металла во фланцах меньше, чем в шейке).

Очевидно, площадь  $2(h_x - h_d)b = \Delta B h_d$  где  $\Delta B$  — линейное уширение.

Отсюда

$$\Delta B = 2 \frac{b_1(h_x - h_d)}{h_d}.$$

Например, пусть (см. предыдущий пример)  $h_d = 90$  мм,  $h_x = 93$  мм,  $b = 15$  мм и  $h = 80$  мм. Получаем:

$$\Delta B = 2 \frac{15(93 - 90)}{90} \approx 1 \text{ мм.}$$

Полезно избегать уширения металла во фланцах, перенося его на уширение шейки. Вынужденное уширение может быть положительным и отрицательным.

#### Утяжка

Утяжка представляет собой отрицательное уширение при прокатке фасонных профилей. Чтобы избежать ее, применяют боковое обжатие.



Прямое обжатие в чистом виде осуществляется в гладких валках. В ручьевых валках проявляется, кроме того, боковое обжатие. Так, в плоских калибрах металл, уширясь до боковых граней, испытывает боковое обжатие, способствующее полному заполнению калибра. То же самое имеет место в круглых, квадратных, овальных и стрелчатых калибрах.

Во всех этих случаях боковое обжатие имеет очень малую величину по сравнению с прямым вертикальным обжатием. Почти столь же слабо выражено боковое обжатие в калибрах профилей углового, зетового и в развернутых ручьях швеллерного профиля.

При прокатке всех этих профилей очень легко в небольшое число пропусков осуществить требуемую деформацию металла, так как в перечисленных калибрах работа деформации затрачивается только на уменьшение высоты и обжатие распределяется почти равномерно на все сечения, и, следовательно, не должны иметь места неравномерные напряжения, в других условиях иногда способные повлечь за собою разрыв металла.

При прокатке более сложных профилей, как, например, швеллера, балки, рельса, надо обращать самое тщательное внимание на то, чтобы отдельные части полосы не подвергались неодинаковому обжатию или вытяжке, что в глубоко врезанных частях ручья легко может получиться.

В этом случае металл испытывает значительные боковые перемещения для заполнения всех частей калибра. Появляется боковое давление, которое в случае неправильного учета его вызывает образование излишних напряжений, коробление и даже трещины, особенно при низкой температуре прокатки.

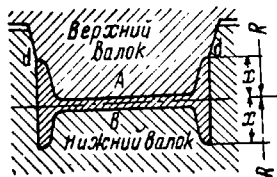


Рис. 13. Неравномерность обжатий и скоростей в двутавровом калибре

### з) Деформация металла в двутавровом калибре

Для уяснения деформации металла в фасонных профилях воспользуемся прекрасным анализом этого процесса в двутавровой балке, сделанным В. Е. Грум-Гржимайло [29].

Шейка или полка балки прокатывается между двумя цилиндрическими поверхностями с радиусом  $R$ , имеющими окружную скорость  $2\pi Rn$  (рис. 13).

Край фланца, вырезанного в нижнем валке, катается поверхностью меньшего радиуса, а именно  $(R-x)$ , имеющей скорость  $2\pi(R-x)n$ .

Край фланца, находящегося в открытой части калибра, т. е. между верхним и нижним валками, с одной стороны обрабаты-

вается поверхностью, имеющей скорость  $2\pi(R+x)n$ , а с другой стороны — поверхностью со скоростью  $2\pi(R-x)n$ .

Если линейную скорость начальной окружности валков, например, радиуса  $R=400$  мм, принять равной 100%, то при прокатке балки № 24 будем иметь следующие скорости разных точек калибра.

Скорость поверхностей, катающих шейку:

$$100 \frac{400 - 4.5}{400} \approx 99\%.$$

Скорость вала у края нижнего фланца:

$$100 \frac{400 - 55}{400} \approx 86\%.$$

Скорость гребня у верхнего фланца:

$$100 \frac{400 + 55}{400} \approx 114\%.$$

Скорость наиболее глубоких точек калибра  $dd$  в верхнем валке, очевидно, равна 86%.

Металл же балки имеет во всех точках одинаковую поступательную скорость, так как в противном случае балка была бы разорвана на части.

Балка держится трением о валки в шейке и, следовательно, движется приблизительно (если пренебречь опережением) со скоростью поверхностей валков, катающих шейку, т. е. около 99%; при этом нижний фланец в своем калибре, увлекаемый шейкой, движется быстрее калибра, который в нижней своей части движется со скоростью 86%, таким образом нижний фланец, так сказать, проволочивается балкой через свой калибр со скоростью, составляющей 13% от скорости движения шейки.

Отсюда следует, что в закрытую часть калибра не следует задавать слишком толстый фланец, так как усиленное волочение через закрытый ручей очень быстро его разотрет и валки сработаются, не говоря уже о других нежелательных последствиях (например, дополнительном расходе энергии). Кроме того, здесь получается пара сил с плечом, равным высоте фланца: шейка тянет за собой фланец и заставляет его вытягиваться; необходимый для вытяжки фланца металл утягивается из самого же фланца путем уменьшения его высоты.

Поэтому при калибровке необходимо задавать в закрытый калибр фланец с избытком в высоту, необходимым на «осадку» его при проволочивании. О вычислении этого избытка на «осадку» будет сказано дальше.

В открытой части калибра процесс протекает иначе. Верхний фланец балки идет со скоростью всей балки, т. е. 99%. Верхняя точка гребня идет со скоростью 114%. Промежуточ-

ные точки гребня нижнего валка от линии прокатки до верхней точки  $d$  идут со скоростями от 100 до 114%. Точки калибра, принадлежащие верхнему валку, идут со скоростью от 99% вниз до 86% вверх. Значит, верхний фланец движется в калибре таким образом, что одна из поверхностей калибра, образуемая нижним валком, обгоняет фланец, а другая, образуемая верхним валком, — отстает от него.

Если определить скорость и направление движения этих поверхностей относительно фланца, то оказывается, что в верхней части фланца одна поверхность, принадлежащая нижнему валку, движется вперед со скоростью  $114 - 99 = 15\%$ , а другая поверхность, принадлежащая верхнему валку, движется назад со скоростью  $99 - 86 = 13\%$ , или обе поверхности движутся в противоположные стороны с разницей скоростей одна относительно другой 28%, раздавливая и утоняя фланец.

Нужно заметить, что поверхность калибра, принадлежащая здесь нижнему валку, почти плоская, поверхность же верхнего валка в этой части калибра — коническая.

Прокатываемый фланец поступает в разверстную часть этого суживающегося клина.

Пока клин достаточно широк, фланец идет свободно, но клин делается все уже и уже, и быстро движущаяся поверхность гребня нижнего валка подхватывает фланец балки и, скользя по нему, прожимает его через узкую часть клина. Утоненный фланец, минуя наиболее узкое сечение, входит в симметрично уширяющуюся часть калибра и покидает его. Итак, работа открытой части калибра заключается в прожимании толстого фланца через клиновидную щель, одна сторона которой — быстродвигающийся гребень нижнего валка, другая — конусная поверхность калибра, принадлежащая верхнему валку.

Этим свойством работы открытой части калибра калибровщики пользуются для утонения фланцев.

В открытую часть калибра задают обыкновенно фланец, достаточно толстый для того, чтобы путем «бокового обжатия» дать ему вместе с тем надлежащее уширение для получения нужной высоты фланца.

Прокатанный и уширенный в открытой части калибра фланец затем прокатывается в закрытой части следующего калибра, где он утягивается, как было выяснено выше.

На основании изучения хорошо работающих калибровок установлена параболическая зависимость в боковых обжатиях при переходе от калибра к калибру, что должно соответствовать постепенному уменьшению пластичности металла при переходе от калибра к калибру вследствие понижения температуры [30].

Если для определения бокового обжатия вообразим себе две следующие одна за другой части калибра наложенными соответственно одна на другую (рис. 14), то всякому размеру  $d_x$  данной части калибра отвечает размер  $d_y$  соответствующей части следующего калибра, и отношение их дается уравнением

$$d_y = d_x + \left(1 + \frac{d_x}{200}\right),$$

$$d_y = d_x + \frac{d_x^2}{200}.$$

Коэффициент вытяжки, очевидно, будет

$$\mu = \frac{d_y}{d_x} = 1 + \frac{d_x}{200}.$$

Линейное приращение размера калибра, очевидно,

$$\Delta B_d = \frac{d_x^2}{200}.$$

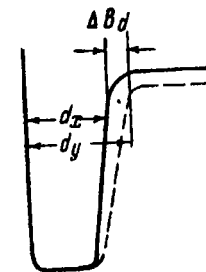


Рис. 14. Линейное приращение размеров калибра

Последнее уравнение отвечает параболе.

Боковое обжатие может вызывать положительное или отрицательное уширение металла. Положительное уширение получается только тогда, когда обжатие вызывает нагнетание металла в направлении прокатки, т. е. некоторое опережение. Это возможно только при обработке металла поверхностями двух различных валков, как, например, в открытой части калибра двутавровой балки. Если же боковое давление производит лишь торможение металла, то имеет место усиленная утяжка или осадка, как мы это видим в закрытой части калибра двутавровой балки (см. рис. 13).

Поэтому истечение металла в двух тождественных калибрах, но с разным положением разрезки валков происходит совершенно различно (рис. 15 и 16).

В первом случае в  $a$  должен наблюдаться вертикальный подъем, и следовательно, во избежание образования заусенца необходимо задавать металл несколько тоньше  $H$  (рис. 15).

Во втором случае должна происходить вертикальная утяжка металла, и для заполнения профиля необходимо задавать металл толще  $H$  (рис. 16).

В обоих случаях получается вынужденное горизонтальное уширение.

Во втором случае получается большее напряжение в металле, чем в первом.

Обычно применяется первый способ<sup>1</sup>, причем боковым граням калибра сообщается некоторый уклон (выпуск), так что нижняя часть калибра становится уже, чем верхняя.

Целесообразно для уменьшения угла захвата и давления в металле разрезной калибр для двутавровых балок и швеллеров, особенно крупного размера, разбивать на два калибра первого типа. Полоса может получить значительное вынужденное

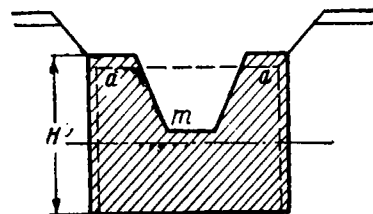


Рис. 15. Целесообразное положение разреза валков в разрезном калибре

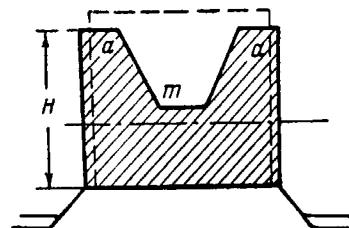


Рис. 16. Нецелесообразное положение разреза валков в разрезном калибре

уширение, благодаря раздвигающему действию гребней  $m$  (рис. 15). Полоса здесь вытягивается незначительно, и роль калибра заключается преимущественно в изменении ее прямоугольной формы в первый фасонный профиль.

В более часто применяемых двухсторонних разрезных калибрах всегда получают значительная вытяжка и сильное давление металла, требующие большой мощности.

Калибр одновременно выполняет две функции: вытяжную и формующую, что допустимо при высокой температуре и небольшом размере профиля и нежелательно при крупных профилях и в особенности при низких температурах металла.

Соппротивление металла, возникающее в результате перетекания частиц из одной части профиля в другую, ведет также к повышению нагрузки двигателя, так как кроме усиленного давления металла на валки при этом происходит значительное трение металла о поверхность калибра, которое двигатель должен преодолевать.

<sup>1</sup> Второй способ применяется в чистовых калибрах швеллерного профиля.

## ГЛАВА 3

## ТИПЫ РУЧЬЕВ И КАЛИБРОВ

Профиль углубления, вырезанного в цилиндрической поверхности валка, будем называть ручьем, а профиль двух ручьев, составленный ручьями двух валков, — калибром<sup>1</sup>.

При прокатке употребляются следующие типы ручьев и калибров:

- 1) обжимные, или вытяжные;
- 2) черновые, или подготовительные;
- 3) чистовые, или отделочные.

Обжимные калибры разделяются по форме на плоские (ящичные), стрельчатые, ромбические, овальные и квадратные.

Обжимные калибры предшествуют прокатке всякого профиля.

Черновые, или подготовительные, калибры имеют целью подготовить постепенно требуемый профиль. Калибры для простейших профилей — круглого, квадратного и полосового — бывают плоские, многогранные, овальные, круглые, ромбические, квадратные, ребровые и стрельчатые; для фасонных профилей — фасонные, постепенно приближающиеся к форме требуемого профиля, и ребровые, облегчающие получение требуемых размеров.

Разливку стали всего рациональнее производить в крупные слитки, чтобы путем обжатия в блюминге прокатывать заготовки всяких размеров, требующиеся для сортовых или специальных станов. В настоящее время и осуществляют этот способ, обжимая крупные слитки на блюминге до размеров  $250 \times 250$ — $200 \times 200$  мм. Таким образом, блюминг является родоначальником всякого прокатного металла данного завода.

Получили распространение валки блюминга с гладкой частью посередине, назначенной для первых пропусков. Блюминги

<sup>1</sup> В литературе часто не проводится различия между ручьем и калибром. В то время как никто не назовет ручья, т. е. выреза в одном валке, калибром, очень часто калибр, т. е. совокупность двух ручьев, называют ручьем. Следует различать эти понятия, так как при одних и тех же ручьях размер калибра изменяется вследствие разной установки валков.

снабжены мощными направляющими линейками, позволяющими применять большие обжатия без опасения свертывания полосы. Кроме такой гладкой части валки блюминга снабжаются несколькими ручьями, в которых заканчивается прокатка слитка.

Свертывание при прокатке в калибрах предотвращается конструкцией ручьев, при которой металл крепко удерживается углами их во время прокатки. Последнее условие осуществляется, если слиток плотно входит в калибр.

Этому хорошо удовлетворяют ромбические калибры, которые и имеют широкое применение в обжимных станах, кроме блюмингов. В блюминге ромбические ручьи не применяются, так как, глубоко врезаясь в тело валков, ослабляют прочность последних. Кроме того, этого рода ручьи неприменимы для раздвижных валков и, следовательно, не дают возможности экономно использовать валки для прокатки разнообразных слитков. Поэтому валки блюминга имеют исключительно плоские ручьи.

Плоский ручей не должен быть прямоугольной формы, так как при этом трудно задавать слиток без проводок, и, кроме того, в таком ручье полоса часто так защемляется, что «оковыивает» валок, т. е. загибается вокруг него. Поэтому боковые стенки калибров делают наклонными — с выпуском. Это дает также возможность сохранять размеры ручьев при переточках валков.

Таким образом, выпуск играет двойную роль: как метод сохранения размеров калибра при переточке и как способ облегчения выхода полосы из валков.

Малый выпуск (3 или 2°) невыгоден, так как при переточке для восстановления износа 0,5 мм пришлось бы снять по диаметру  $\frac{0,5}{0,03} = 17$  мм, в то время как при выпуске 10% ( $\sim 6^\circ$ ) потребуется снять всего  $\frac{0,5}{0,10} = 5$  мм.

Выпуски в 10—15% улучшают также условия захвата и позволяют увеличивать угол захвата до 28° без применения насечек или наварок [35].

Необязательно всякий прямоугольный калибр делать с выпуклостью в глубине ручья (рис. 17). На многих обжимных клетях калибры работают хорошо без всякой выпуклости. Применение выпуклости оправдывается только при прокатке с ограниченным уширением.

Чтобы избежать захолаживания углов слитка в процессе прокатки и образования заусенцев и зарезов, углы калибров следует закруглять.

Некоторые авторы [35] рекомендуют определять радиусы закруглений в углах калибров по формуле

$$r = (0,12 \div 0,14) B,$$

где  $B$  — ширина ручья.

При прокатке легированной стали целесообразно применить радиусы закруглений одинаковые для всех калибров, независимо от их размеров. Это делают с целью предотвратить образование складок, морщин и рванин на углах профиля [36].

Насеченные валки или валки с наваркой лучше захватывают слитки, что позволяет увеличивать обжатия, а следовательно, и производительность.

Однако при прокатке высококачественной легированной стали насечки и наварки недопустимы, так как портят поверхность проката. Нельзя применять насечки и наварки в калибрах с вогнутыми или наклонными гранями, например в овальных, ромбических и квадратных по диагонали калибрах. В этих случаях металл в различных частях профиля будет подвергаться большим растягивающим усилиям вследствие разности окружных скоростей при затрудненном скольжении металла по валкам.

Максимально допустимые углы захвата для ящичных калибров без насечки могут быть доведены до 28—30° [35]. Например, на обжимной клетке 500 стана 300 одного завода углы захвата без насечки доходят до 30°.

Построение прямоугольного ручья производится следующим образом: ширина ручья принимается равной ширине слитка; уклон боковых граней выбирается в зависимости от общего обжатия в данном ручье, а следовательно, и от абсолютной величины всего уширения металла в этом ручье.

Следует заметить, что в блюминге один ручей служит для нескольких пропусков в нем слитка, для чего сначала валки раздвигают и затем после каждого пропуска сближают на величину обжатия, пока они снова не примут своего нормального положения. Таким образом, толщина слитка в вертикальном направлении постепенно уменьшается в одной и той же паре ручьев.

Для построения калибра наносим взаимно перпендикулярные оси  $AB$  и  $CD$  (рис. 17) и откладываем от точки  $O$  вверх и вниз отрезки  $Oa$  и  $Ob$ , равные глубине ручья. Через точки  $a$  и  $b$  проводим линии, параллельные  $CD$ . Отложив от точки  $O$  вправо и влево отрезки  $Od$  и  $Oc$ , равные половине ширины дна ручья, и проведя через точки  $c$  и  $d$  линии, параллельные  $AB$ , получаем расчетный прямоугольный калибр.

Выбрав величину выпуска, наносим точки  $c_1$  и  $d_1$ . Соединяя точки  $c_1$  и  $d_1$  с точками  $m$ ,  $p$ ,  $n$  и  $q$ , получаем искомый уклон граней ручья:  $mc_1$ ,  $nd_1$ ,  $pc_1$  и  $qd_1$ .

Между валками делаем зазор  $s$  размером от 5 до 20 мм в зависимости от диаметра валков.

Из точек  $m$ ,  $n$ ,  $p$  и  $q$  для образования дна ручья восстанавливаем перпендикуляры к полученным боковым граням. Получаем очертание действительного калибра  $ma_1nd_1qb_1pc_1m$ , если

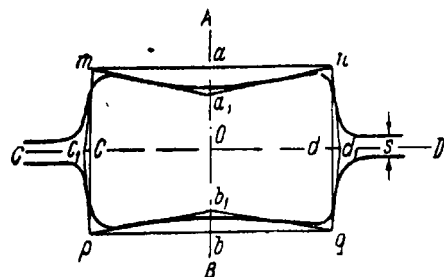


Рис. 17. Построение прямоугольного калибра

Ширина гребней здесь обычно делается  $0,25h$ ; что касается допускаемой глубины вреза в тело валков, то ручьи никогда не врезаются глубже, чем на  $\frac{1}{6}$  диаметра валка, ввиду того, что в настоящее время работают с сильными обжатиями и требуется большая прочность валка. Из тех же соображений целесообразно величину вреза в обоих валках для данного калибра делать одинаковой.

в углах многоугольника делаем необходимые закругления.

Радиус закругления в глубине ручья обычно берется 10% от ширины ручья. Радиус закругления  $\gamma$  зазора обычно делается 10% от глубины ручья. Угол при  $a_1$  и  $b_1$  закругляется произвольным радиусом.

Наведенный жирными линиями на рис. 17 профиль является окончательным.

## ГЛАВА 4

### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ БЛЮМИНГА

Приступая к калибровке обжимных валков, необходимо иметь в виду решение следующих вопросов:

- 1) какова должна быть производительность блюминга;
- 2) каков должен быть вес слитков и размер выпускаемых из блюминга заготовок;
- 3) каков должен быть наивыгоднейший диаметр валков, их угловая скорость и обжатие за каждый пропуск;
- 4) какой мощностью должен обладать двигатель при стане.

Производительность блюминга должна быть максимальной в данных условиях производства, так как организация современного металлургического завода требует пропуска всего металла через блюминг. Исключение представляют только некоторые сорта легированной стали, отливаемой в мелкие слитки.

На повышение производительности блюминга оказывает влияние не столько повышение веса слитка, сколько увеличение сечения выпускаемой заготовки. Это объясняется тем, что при одном и том же сечении заготовки повышение веса слитка ведет за собою увеличение числа пропусков, а следовательно, и машинного времени прокатки. Точно так же с увеличением веса слитка несколько замедляется манипулирование с ним и, следовательно, удлиняются паузы.

На выбор веса слитка оказывает влияние также размер заданного сечения выпускаемой заготовки, так как слишком длинные блюмсы затрудняют работу с ними.

Для определения обжатия за каждый пропуск следует исходить из стремления дать максимальную производительность при существующей мощности двигателя.

#### 1. Калибровка по относительным обжатиям

Ввиду того, что первые пропуски металла производят с малой угловой скоростью, а последние с максимальной, следует в первых пропусках брать самые высокие углы захвата, а в последних их понижать. Лучше всего в первом пропуске не превышать  $24-26^\circ$  и в последнем —  $12-18^\circ$ , в зависимости от сечения выпускаемой заготовки. Исходя из этих углов захвата, можно определить рациональный режим обжатий в валках данного диаметра.



Например, требуется определить режим обжатий слитка  $570 \times 570 \times 2150$  мм весом 4,56 т при прокатке заготовки  $200 \times 200$  мм, если диаметр валков на бочке 1000 мм.

Задаемся углом захвата в первом пропуске  $24^\circ$  и в последнем  $18^\circ$ , как это бывает практически.

Из формулы  $H-h=D_0(1-\cos\alpha)$  имеем в первом пропуске  $H-h=1000(1-0,9136)$  или  $1000 \cdot 0,0864=86$  мм и в последнем пропуске  $H-h=1000 \cdot 0,049=49$  мм.

Соответственно получаем коэффициент относительного обжатия в первом пропуске

$$\Delta_1 = \frac{H-h}{H} = \frac{86}{570} = 0,151$$

и в последнем пропуске

$$\Delta_n = \frac{H-h}{H} = \frac{49}{249} = 0,197.$$

Для внесения элемента систематичности в выбор коэффициентов обжатий в промежуточных пропусках построим диаграмму режима обжатий (рис. 18). На оси абсцисс наносим толщину

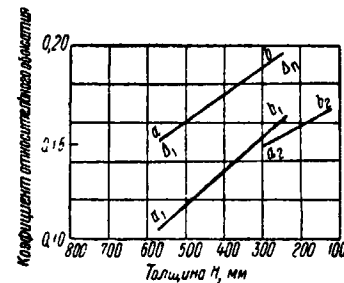


Рис. 18. Диаграмма режима обжатий

Построим теперь диаграмму режима обжатий для случая прокатки в калиброванных валках того же диаметра.

Известно, что диаметр валка в глубине калибра  $D_0$  не должен быть меньше  $0,66D$ . Примем в первом калибре  $D_0=700$  мм, а в последнем —  $D_0=1000-200=800$  мм.

Исходя из тех же углов захвата  $\alpha_1=24^\circ$  и  $\alpha_n=18^\circ$ , получаем: в первом пропуске

$$H-h=700 \cdot 0,0864 \approx 60 \text{ мм}$$

и

$$\Delta_1 = \frac{60}{570} = 0,105;$$

в последнем пропуске

$$H-h=800 \cdot 0,049 \approx 39 \text{ мм}$$

и

$$\Delta_n = \frac{39}{239} = 0,164.$$

Нанося  $\Delta_1$  и  $\Delta_n$  при абсциссах 570 и 239 мм, получаем диаграмму режима обжатий в калиброванных валках  $a_1b_1$  (рис. 18).

Проделаем пример калибровки валков, пользуясь найденной диаграммой.

Пусть первые два пропуска делаются в первом калибре и последние два пропуска — в последнем калибре. Все остальные пропуски пусть делаются на гладкой бочке.

Первый пропуск. По прямой  $a_1b_1$  (рис. 18) находим для первого пропуска при  $H=570$  мм коэффициент обжатия  $\Delta_1=0,105$ .

Следовательно,

$$H-h=0,105 \cdot 570 \approx 60 \text{ мм}.$$

Уширение определяем по формуле

$$\Delta B = a(H-h),$$

где  $a$  находим по диаграмме рис. 2;  $a=0,06$ . Следовательно,

$$\Delta B = 0,06 \cdot 60 \approx 4 \text{ мм}.$$

Высота полосы после первого пропуска

$$H_1 = 570 - 60 = 510 \text{ мм}.$$

Ширина полосы после первого пропуска

$$B_1 = 570 + 4 = 574 \text{ мм},$$

$$\frac{B_1}{H_1} = 1,12.$$

Второй пропуск. Полоса поступает во второй пропуск в том же калибре с высотой  $H_1=510$  мм.

По прямой  $a_1b_1$  (рис. 18) находим при  $H=510$  мм для второго пропуска  $\Delta_2=0,115$ . Следовательно,

$$H-h=0,115 \cdot 510 = 59 \approx 60 \text{ мм}.$$

Принимаем  $H - h = 60$  мм.  $\Delta B$ , как и в первом пропуске, равно 4 мм.

$$H_2 = 510 - 60 = 450 \text{ мм} \text{ и } B_2 = 574 + 4 = 578 \text{ мм.}$$

$$\frac{B_2}{H_2} = 1,28.$$

Третий пропуск. Переходя к гладкой бочке, кантуем блюмс на  $90^\circ$  и находим  $\Delta_3$  по прямой  $ab$  (рис. 18); для  $H = 570$  мм

$$\Delta_3 = 0,151.$$

Отсюда

$$H - h = 0,151 \cdot 570 = 86 \approx 85 \text{ мм,}$$

$$\Delta B \approx 4 \text{ мм,}$$

$$H_3 = 578 - 85 = 493 \text{ мм} \text{ и } B_3 = 450 + 4 = 454 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_3}{H_3} = 0,92.$$

Четвертый пропуск. По прямой  $ab$  (рис. 18) находим при  $H = 493$  мм,  $\Delta_4 = 0,162$ . Следовательно,

$$H - h = 0,162 \cdot 493 = 80 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 0,06 \cdot 80 \approx 4 \text{ мм,}$$

$$H_4 = 493 - 80 = 413 \text{ мм,}$$

$$B_4 = 454 + 4 = 458 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_4}{H_4} = 1,11.$$

Пятый пропуск. По прямой  $ab$  при  $H = 413$  мм имеем  $\Delta_5 = 0,174$ ,

$$H - h = 0,174 \cdot 413 = 72 \approx 75 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 4 \text{ мм,}$$

$$H_5 = 413 - 75 = 338 \text{ мм,}$$

$$B_5 = 458 + 4 = 462 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_5}{H_5} = 1,37.$$

Шестой пропуск.

$$\Delta_6 = 0,184,$$

$$H - h = 0,184 \cdot 338 = 62 \approx 60 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 4 \text{ мм,}$$

$$H_6 = 338 - 60 = 278 \text{ мм,}$$

$$B_6 = 462 + 4 = 466 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_6}{H_6} = 1,67.$$

При отношении  $\frac{B}{H} > 1,5$  рекомендуется производить кантование. Поэтому после шестого пропуска кантуем на  $90^\circ$ .

Седьмой пропуск. При  $H = 466$  мм находим по прямой  $ab$  величину  $\Delta_7 = 0,167$ .

$$H - h = 0,167 \cdot 466 = 78 \approx 80 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 4 \text{ мм,}$$

$$H_7 = 466 - 80 = 386 \text{ мм,}$$

$$B_7 = 278 + 4 = 282 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_7}{H_7} < 1,0.$$

Восьмой пропуск.

$$\Delta_8 = 0,177,$$

$$H - h = 0,177 \cdot 386 = 68 \approx 70 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 4 \text{ мм,}$$

$$H_8 = 386 - 70 = 316 \text{ мм,}$$

$$B_8 = 282 + 4 = 286 \text{ мм,}$$

$$\frac{B_8}{H_8} < 1,0.$$

Девятый пропуск.

$$\Delta_9 = 0,188,$$

$$H - h = 0,188 \cdot 316 \approx 60 \text{ мм.}$$

$$\Delta B = 0,09 \cdot 60 \approx 5 \text{ мм},$$

$$H_9 = 316 - 60 = 256 \text{ мм},$$

$$B_9 = 286 + 5 = 291 \text{ мм},$$

$$\frac{B_9}{H_9} = 1,14.$$

Десятый пропуск.

$$\Delta_{10} = 0,195,$$

$$H - h = 0,195 \cdot 256 \approx 50 \text{ мм},$$

$$\Delta B = 5 \text{ мм}.$$

$$H_{10} = 256 - 50 = 206 \text{ мм},$$

$$B_{10} = 291 + 5 = 296 \text{ мм},$$

$$\frac{B_{10}}{H_{10}} = 1,44.$$

Одиннадцатый пропуск (перед которым кантуем).

$$\Delta_{11} = 0,190,$$

$$H - h = 0,190 \cdot 296 \approx 56 \text{ мм},$$

$$\Delta B = 0,11 \cdot 56 \approx 6 \text{ мм},$$

$$H_{11} = 296 - 56 = 240 \text{ мм},$$

$$B_{11} = 206 + 6 = 212 \text{ мм}.$$

Двенадцатый пропуск.

$$\Delta_{12} = 0,197,$$

$$H - h = 0,197 \cdot 240 = 47 \approx 45 \text{ мм},$$

$$\Delta B = 0,11 \cdot 50 \approx 6 \text{ мм},$$

$$H_{12} = 240 - 45 = 195 \text{ мм},$$

$$B_{12} = 212 + 6 = 218 \text{ мм}.$$

Перед последним пропуском кантуем. Последний пропуск даем в ручьях.

Тринадцатый пропуск.

$$H_{13} = 200 \text{ мм и } B_{13} = 200 \text{ мм},$$

здесь  $H - h = 18 \text{ мм}$  и  $\Delta B = 5 \text{ мм}$ .

Таким образом, прокатка слитка происходит в тринадцать пропусков.

## 2. Калибровка блюминга по мощности прокатки

Калибровка по относительным обжатиям, как и все другие известные методы калибровки валков блюминга, не обеспечивает максимально возможного использования мощности двигателя, что осуществимо только при равномерной его загрузке по пропускам. Исходя из этого, А. П. Чекмарев [37] предложил метод калибровки по мощности прокатки.

В основу метода положены следующие принципы:

- 1) расчет калибровки производится против хода прокатки,
- 2) в основе калибровки лежит мощность двигателя,
- 3) принимается в расчет скорость прокатки.

Для сечения слитка  $500 \times 500 \text{ мм}$  и сечения заготовки  $100 \times 100 \text{ мм}$  можно задаваться скоростью прокатки от  $1 \text{ м/сек}$  в начале до  $4 \text{ м/сек}$  в конце прокатки.

Выбор скорости Чекмарев рекомендует производить по диаграмме параболической обратной зависимости скорости прокатки от корня квадратного из сечения полосы, выходящей из валков,  $\sqrt{bh}$  (рис. 19). Ход расчета калибровки малого блюминга  $D = 900 \text{ мм}$  по мощности иллюстрируется на примере прокатки заготовки  $100 \times 100 \text{ мм}$  из слитка сечением  $300 \times 300 \text{ мм}$ , длиной около  $1,5 \text{ м}$  и весом  $1 \text{ т}$ . Металл — твердая сталь. Мощность двигателя принимается приближенно реальной —  $150\,000 \text{ кгм/сек} = 2000 \text{ л. с.}$  Принимается, что мощность, расходуемая на деформацию металла, составляет  $50\%$  мощности двигателя в первых пропусках и  $40\%$  — в последних, т. е. соответственно  $75\,000$  и  $60\,000 \text{ кгм/сек}$ .

На современных блюмингах прокатывают слитки весом не менее  $4,5 \text{ т}$ . Однако при увеличении веса слитка с  $1 \text{ т}$  до

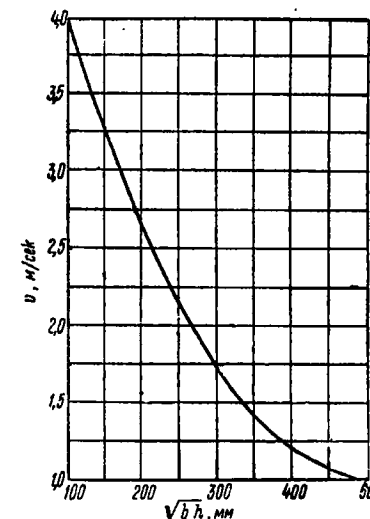


Рис. 19. Зависимость скорости прокатки от сечения полосы

4,5—7,0 т приведенный ниже метод расчета в принципе не изменится.

При расчете калибровки пользуются зависимостью мощности от сечения полосы, изображенной на рис. 20.

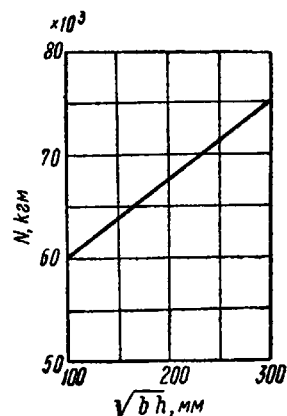


Рис. 20. Зависимость мощности от сечения полосы

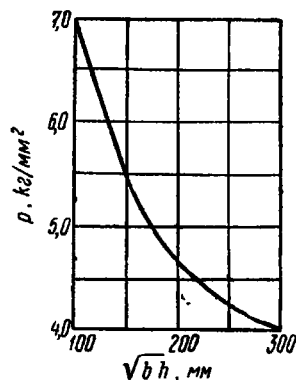


Рис. 21. Зависимость удельного давления от сечения полосы

Задаются скоростью прокатки вначале 1,5 м/сек, а в конце — 4 м/сек. Скорость прокатки при соответствующем сечении слитка определяется по диаграмме рис. 19.

Падение температуры при прокатке принимается, например, от 1050 до 1000°. Это соответствует изменению удельного давления металла на валок с 4,9 до 6,6 кг/мм<sup>2</sup>.

Изменение удельного давления также связывается параболической зависимостью с корнем квадратным из сечения слитка после данного пропуска (рис. 21).

Объем слитка  $V = \frac{1}{7,80} = 0,128 \text{ м}^3 = 128 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ .

Расчет калибровки производится от последнего пропуска к первому с нумерацией пропусков в порядке расчета.

Для расчета можно пользоваться формулами

$$A_1 = N \frac{l}{v} \quad \text{и} \quad A_1 = pV \ln \frac{H}{h},$$

откуда

$$\ln \frac{H}{h} = \frac{A_1}{pV}.$$

Первый пропуск. По диаграмме рис. 20 находят  $N_1 = 60 \cdot 10^3 \text{ кгм}$ .

Длина полосы, вышедшей из последнего пропуска, определяется из выражения

$$l_1 = \frac{V}{b_1 h_1} = \frac{128 \cdot 10^3}{10 \cdot 10} = 1280 \text{ см} = 12,8 \text{ м}.$$

По диаграмме рис. 19 находят

$$v_1 = 4 \text{ м/сек}.$$

Подставляя численные значения, получают

$$A_1 = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 12,8}{4} = 192 \cdot 10^3 \text{ кгм}.$$

Далее

$$\ln \frac{H_1}{h_1} = \frac{A_1}{p_1 V}.$$

По диаграмме рис. 21

$$p_1 = 6,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Подставляя численные значения, получают

$$\ln \frac{H_1}{h_1} = \frac{192 \cdot 10^3}{6,6 \cdot 128 \cdot 10^3} = 0,227.$$

$\frac{H_1}{h_1}$  можно найти по табл. 3 с заранее вычисленными значениями  $\ln \frac{H}{h}$ .

$$\ln \frac{H_1}{h_1} = 0,227 \quad \text{и} \quad \frac{H_1}{h_1} = 1,255.$$

Толщина полосы, выходящей из последнего пропуска, известна:  $h_1 = 100 \text{ мм}$ . Отсюда

$$H_1 = 100 \cdot 1,255 = 125 \text{ мм (с точностью до 1 мм)}.$$

Следовательно, обжатие

$$H_1 - h_1 = 125 - 100 = 25 \text{ мм}.$$

Уширение определяется по известным формулам. В данном случае для простоты расчетов можно вычислить его по формуле

$$\Delta B = a(H - h),$$

где коэффициент  $a$  берется по диаграмме А. П. Виноградова (см. рис. 2), т. е. с учетом диаметра валков и толщины заготовки в данном пропуске

$$a = 0,20 \quad \text{и} \quad \Delta B = 0,20 \cdot 25 = 5 \text{ мм}.$$

Тогда ширина заготовки

$$B_1 = b_1 - 5 = 95 \text{ мм}.$$

Таблица 3

Значения $\ln \frac{H}{h}$			
$\frac{H}{h}$	$\ln \frac{H}{h}$	$\frac{H}{h}$	$\ln \frac{H}{h}$
1,01	0,010	1,21	0,191
1,02	0,020	1,22	0,199
1,03	0,030	1,23	0,207
1,04	0,039	1,24	0,215
1,05	0,049	1,25	0,223
1,06	0,058	1,26	0,231
1,07	0,068	1,27	0,239
1,08	0,077	1,28	0,247
1,09	0,086	1,29	0,255
1,10	0,095	1,30	0,262
1,11	0,105	1,31	0,270
1,12	0,113	1,32	0,278
1,13	0,122	1,33	0,285
1,14	0,131	1,34	0,293
1,15	0,140	1,35	0,300
1,16	0,149	1,36	0,308
1,17	0,157	1,37	0,315
1,18	0,166	1,38	0,322
1,19	0,174	1,39	0,329
1,20	0,182	1,40	0,337

Коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{H_1 B_1}{h_1 b_1} = \frac{125 \cdot 95}{100 \cdot 100} = 1,19.$$

Длина заготовки

$$L_1 = \frac{l_1}{\mu} = \frac{12,8}{1,19} = 10,75 \text{ м.}$$

По мере расчета данные заносятся в таблицу.

Необходимость кантовки определяется наличием кантовального аппарата с одной или с обеих сторон стана. Если предположить в данном примере, что кантователь имеется только с передней стороны стана, то кантовки могут быть только после нечетных пропусков при прокатке (считая номера пропусков против хода прокатки).

Так как с точки зрения повышения качества металла кантовки следует делать чаще, <sup>1</sup> — в данном примере принимается кантовка через каждые два пропуска.

<sup>1</sup> Уменьшается анизотропность свойств металла в поперечном сечении заготовки и улучшается качество ее поверхности, благодаря спаданию окалины с боковых граней после каждой кантовки. *Ред.*

Второй пропуск.

$$h_2 = B_1 = 95 \text{ мм}; b_2 = H_1 = 125 \text{ мм}; l_2 = 10,75 \text{ м.}$$

Для пользования диаграммами (рис. 19—21) находят значение абсциссы:

$$\sqrt{h_2 b_2} = \sqrt{95 \cdot 125} = \sqrt{11900} = 109 \text{ мм.}$$

Дальше поступают так же, как и при первом пропуске:

$$N_2 = 61 \cdot 10^8 \text{ кгм (рис. 20);}$$

$$v_2 = 3,7 \text{ м/сек (рис. 19);}$$

$$p_2 = 6,4 \text{ кг/мм}^2 \text{ (рис. 21);}$$

$$A_2 = \frac{61 \cdot 10^8 \cdot 10,75}{3,7} = 176 \cdot 10^8 \text{ кгм;}$$

$$\ln \frac{H_2}{h_2} = \frac{176 \cdot 10^8}{6,4 \cdot 128 \cdot 10^8} = 0,215;$$

$$\frac{H_2}{h_2} = 1,24;$$

$$H_2 = 95 \cdot 1,24 = 118 \text{ мм;}$$

$$H_2 - h_2 = 118 - 95 = 23 \text{ мм;}$$

$$a = 0,19;$$

$$\Delta B_2 = 0,19 \cdot 23 = 4 \text{ мм;}$$

$$B_2 = b_2 - \Delta B_2 = 125 - 4 = 121 \text{ мм;}$$

$$\mu_2 = \frac{H_2 B_2}{h_2 b_2} = \frac{118 \cdot 121}{95 \cdot 125} = 1,20;$$

$$L_2 = \frac{l_2}{\mu_2} = \frac{10,75}{1,20} = 8,95 \text{ м.}$$

Что касается проверки калибровки по углу захвата, то следует заметить, что наибольшие углы захвата относятся к первым пропускам в порядке прокатки. Приняв указанный ранее диаметр валков  $D_0 = 900 \text{ мм}$  и зная глубину калибра при сомкнутых валках, нетрудно определить катающий диаметр  $D$  и, пользуясь выражением

$$H - h = D(1 - \cos \alpha),$$

Подсчитать в каждом пропуске угол захвата,

Третий пропуск.

$$h_3 = H_2 = 118 \text{ мм}; \quad b_3 = B_2 = 121 \text{ мм};$$

$$l_3 = 8,95 \text{ м};$$

$$\sqrt{h_3 b_3} = \sqrt{118 \cdot 121} = \sqrt{14300} = 120 \text{ мм};$$

по рис. 19—21 определяем

$$N_3 = 62 \cdot 10^3 \text{ кгм}; \quad v_3 = 3,5 \text{ м/сек}; \quad p_3 = 6,2 \text{ кг/мм}^2;$$

$$A_3 = \frac{62 \cdot 10^3 \cdot 8,95}{3,5} = 159 \cdot 10^3 \text{ кгм};$$

$$\ln \frac{H_3}{h_3} = \frac{159 \cdot 10^3}{6,2 \cdot 128 \cdot 10^3} = 0,201;$$

$$\frac{H_3}{h_3} = 1,224; \quad H_3 = 118 \cdot 1,224 = 145 \text{ мм};$$

$$H_3 - h_3 = 145 - 118 = 27 \text{ мм};$$

$$a = 0,16; \quad \Delta B = 0,16 \cdot 27 = 4 \text{ мм};$$

$$B_3 = 121 - 4 = 117 \text{ мм};$$

$$\mu_3 = \frac{145 \cdot 117}{118 \cdot 121} = 1,19; \quad L_3 = \frac{8,95}{1,19} = 7,52 \text{ м}.$$

Между третьим и четвертым пропусками производится кантовка.

Четвертый пропуск.

$$h_4 = B_3 = 117 \text{ мм}; \quad b_4 = H_3 = 145 \text{ мм};$$

$$l_4 = 7,52 \text{ м};$$

$$\sqrt{b_4 h_4} = \sqrt{145 \cdot 117} = 130 \text{ мм};$$

$$N_4 = 62 \cdot 10^3 \text{ кгм}; \quad v_4 = 3,2 \text{ м/сек};$$

$$p_4 = 6,0 \text{ кг/мм}^2;$$

$$A_4 = \frac{62 \cdot 10^3 \cdot 7,52}{3,2} = 141,5 \cdot 10^3 \text{ кгм};$$

$$\ln \frac{H_4}{h_4} = \frac{141,5 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 128 \cdot 10^3} = 0,19; \quad \frac{H_4}{h_4} = 1,21;$$

$$H_4 = 117 \cdot 1,21 = 143 \text{ мм};$$

$$H_4 - h_4 = 143 - 117 = 26 \text{ мм};$$

$$a = 0,16; \quad \Delta B = 0,16 \cdot 26 = 4 \text{ мм}; \quad B_4 = 145 - 4 = 141 \text{ мм};$$

$$\mu_4 = \frac{143 \cdot 141}{117 \cdot 145} = 1,19; \quad L_4 = \frac{7,52}{1,19} = 6,31 \text{ м}.$$

Таким же образом расчет продолжается и далее, причем полученные данные заносятся в табл. 4.

Расчет последних пропусков производится следующим образом.

Пятнадцатый пропуск.

$$h_{15} = H_{14} = 274 \text{ мм}; \quad b_{15} = B_{14} = 284 \text{ мм};$$

$$l_{15} = 1,62 \text{ м};$$

$$\sqrt{b_{15} h_{15}} = \sqrt{284 \cdot 274} = 280 \text{ мм};$$

$$N_{15} = 74 \cdot 10^3 \text{ кгм}; \quad v_{15} = 1,5 \text{ м/сек}; \quad p_{15} = 4,9 \text{ кг/мм}^2;$$

$$A_{15} = \frac{74 \cdot 10^3 \cdot 1,62}{1,5} = 80 \cdot 10^3 \text{ кгм};$$

$$\ln \frac{H_{15}}{h_{15}} = \frac{80 \cdot 10^3}{2,9 \cdot 128 \cdot 10^3} = 0,127;$$

$$\frac{H_{15}}{h_{15}} = 1,146;$$

$$H_{15} = 1,146 \cdot 274 = 314 \text{ мм};$$

$$H_{15} - h_{15} = 314 - 274 = 40 \text{ мм}.$$

Однако обжатие 40 мм не требуется, так как при окончании калибровки надо получить сечение  $300 \times 300 \text{ мм}$ , а уже получен размер 314 мм. Имея в виду, что после пятнадцатого пропуска будет новая кантовка и шестнадцатый пропуск будет последним, принимают  $H_{15} = 302 \text{ мм}$  (2 мм на уширение в шестнадцатом пропуске). Тогда

$$H_{15} - h_{15} = 302 - 274 = 28 \text{ мм};$$

$$a = 0,09; \quad \Delta B = 0,09 \cdot 28 = 3 \text{ мм};$$

$$B_{15} = 284 - 3 = 281 \text{ мм};$$

$$\mu_{15} = \frac{302 \cdot 281}{274 \cdot 284} = 1,09; \quad L_{15} = \frac{1,62}{1,09} = 1,49 \text{ м}.$$

Между пятнадцатым и шестнадцатым пропусками — кантовка.

Шестнадцатый пропуск.

$$h_{16} = B_{15} = 281 \text{ мм}; \quad b_{16} = H_{15} = 302 \text{ мм};$$

$$l_{16} = 1,49 \text{ м};$$

$$\sqrt{b_{16} h_{16}} = \sqrt{302 \cdot 281} = 292 \text{ мм};$$

$$N_{16} = 75 \cdot 10^3 \text{ кгм}; \quad v_{16} = 1,5 \text{ м/сек}; \quad p_{16} = 4,9 \text{ кг/мм}^2;$$

$$A_{16} = \frac{75 \cdot 10^3 \cdot 1,49}{1,5} = 74,6 \cdot 10^3 \text{ кгм};$$

$$\ln \frac{H_{16}}{h_{16}} = \frac{74,6 \cdot 10^3}{4,9 \cdot 128 \cdot 10^3} = 0,119;$$

$$\frac{H_{16}}{h_{16}} = 1,13;$$

$$H_{16} = 1,13 \cdot 281 = 317 \text{ мм};$$

$$H_{16} - h_{16} = 317 - 281 = 36 \text{ мм}.$$

Допустимо обжатие 36 мм, а необходимо только

$$H_{16} - h_{16} = 300 - 281 = 19 \text{ мм};$$

$$a = 0,09; \quad \Delta B = 0,09 \cdot 19 = 2 \text{ мм}; \quad B_{16} = 302 - 2 = 300 \text{ мм};$$

$$\mu_{16} = \frac{300 \cdot 300}{281 \cdot 302} = 1,06;$$

$$L_{16} = \frac{1,49}{1,06} = 1,41 \text{ м}.$$

Таким образом, калибровка закончена в 16 пропусков. Четное число пропусков неудобно, так как при этом прокатанная заготовка выходит в конце концов на переднюю сторону стана. Можно сделать нечетное число пропусков, увеличив обжатия в четырнадцатом пропуске или добавив семнадцатый пропуск с уменьшением обжатий в пятнадцатом и шестнадцатом пропусках.

Результаты расчетов калибровки приведены в табл. 4.

Пример калибровки, показанный в табл. 4, характерен для прокатки в калибрах слитков малого веса. В случае применения слитков большого веса и валков с гладкой бочкой метод расчета остается тот же, только число калибров уменьшается, так как прокатка производится на бочке за исключением последних трех-четырех по ходу прокатки пропусков, где обжатие осуществляется в калибрах.

Предложенный Чекмаревым метод калибровки учитывает условия работы стана и позволяет более полно использовать

Таблица 4

Калибровка блюминга  $D_0 = 900 \text{ мм}$  по мощности прокатки

№ про- пуска	$N/1000$ кгм	$v$ м/сек	$p$ кг/мм <sup>2</sup>	$A/1000$ кгм	$\ln \frac{H}{h}$	$\frac{H}{h}$	$h$ мм	$b$ мм	$l$ мм	$\sqrt{bh}$ мм	$H$ мм	$H-h$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	60	4,0	6,6	192,0	0,227	1,255	100	100	12,80	100	125	25
2	61	3,7	6,4	176,0	0,215	1,240	95	125	10,75	109	118	23
3	62	3,5	6,2	159,0	0,201	1,224	118	121	8,95	120	145	27
4	62	3,2	6,0	141,5	0,190	1,210	117	145	7,52	130	143	26
5	63	3,0	5,9	133,0	0,176	1,190	143	141	6,31	140	170	27
6	64	2,8	5,8	125,0	0,168	1,180	137	170	5,46	153	162	25
7	65	2,7	5,7	114,0	0,156	1,170	162	166	4,72	160	190	28
8	65	2,5	5,5	107,0	0,152	1,165	163	190	4,10	170	190	27
9	67	2,2	5,3	108,5	0,160	1,174	190	187	3,56	190	223	33
10	68	2,1	5,2	100,0	0,150	1,160	183	223	3,09	202	213	30
11	69	2,0	5,1	93,5	0,143	1,154	213	219	2,71	216	246	33
12	70	1,8	5,0	92,6	0,145	1,156	216	246	2,38	234	250	34
13	71	1,65	5,0	89,5	0,140	1,150	250	243	2,08	246	287	37
14	72	1,6	4,9	82,5	0,131	1,140	240	287	1,83	262	274	34
15	74	1,5	4,9	80,0	0,127	1,146	274	284	1,62	280	302	28
16	75	1,5	4,9	74,6	0,119	1,130	281	302	1,49	292	300	19

Продолжение табл. 4

№ про- пуска	$a$	$\Delta B$ мм	$B$ мм	$\mu$	$L$ м	$D$ мм	$\alpha$ град.	Кантовки	Размеры калибров мм
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0,20	5	95	1,19	10,75	800	14,5	Кант.	100×100
2	0,19	4	121	1,20	8,95	805	14,0		
3	0,16	4	117	1,19	7,52	805	15,5	»	95×125
4	0,16	4	141	1,19	6,31	783	15,0		
5	0,14	4	137	1,155	5,46	783	15,0	»	117×145
6	0,14	4	166	1,155	4,72	763	15,0		
7	0,12	3	163	1,15	4,10	763	15,0	»	137×170
8	0,12	3	187	1,15	3,56	737	16,0		
9	0,11	4	183	1,15	3,09	737	15,5	»	163×190
10	0,12	4	219	1,14	2,71	717	17,0		
11	0,10	3	216	1,14	2,38	717	17,5	»	183×223
12	0,10	3	243	1,143	2,08	684	17,0		
13	0,095	3	240	1,135	1,83	684	19,0	»	216×246
14	0,095	3	284	1,13	1,62	660	18,5		
15	0,09	3	281	1,09	1,49	660	17,0	»	240×287
16	0,09	2	300	1,06	1,41	660	14,0		

мощность двигателя при равномерной его нагрузке. Метод достаточно прост. Результаты расчетов по этому методу зависят от правильности выбора таких расчетных данных, как скорость прокатки, температура прокатываемого металла и сопротивление его деформации при прокатке.

Метод основан, таким образом, на недостаточно точных в прокатном деле данных, что может отразиться главным образом на абсолютной величине мощности пропусков, но тем не менее он заслуживает развития и применения, так как позволяет равномерно распределить мощность по пропускам и лучше использовать возможности станового двигателя.

### 3. Практический метод калибровки блюминга

М. Л. Зарошинский предложил свой метод ведения расчетов калибровки блюминга [38], причем указывает, что если известны размеры слитка, то основными вопросами калибровки блюминга являются:

- 1) выбор максимальной и средней величины обжатия и среднего коэффициента вытяжки,
- 2) определение числа пропусков при прокатке заготовки данного сечения.

Выбор коэффициентов вытяжки и величины среднего абсолютного обжатия Зарошинский производит по опыту действующих калибровок блюмингов. В частности он рекомендует средний коэффициент обжатия:

Для мягкой стали . . . . .	1,14—1,16
Для твердой стали . . . . .	1,13—1,14

а величину среднего обжатия за пропуск:

	Без учета уширения	С учетом уширения
Для мягкой стали . . . . .	55—60 мм	60—65 мм
Для твердой стали . . . . .	50—55 мм	55—60 мм

Естественно, что рекомендованные величины абсолютных обжатий не могут рассматриваться вне связи с коэффициентом вытяжки, являющимся более показательной величиной.

Величину уширения автор рекомендует принимать в 5 мм в каждом пропуске, если обжатия находятся в указанных выше пределах, причем показывает, что «точные» расчеты уширения при калибровке блюминга не имеют смысла, так как оператор легко снимает излишек уширения путем соответствующей установки валков.

В последних двух-трех пропусках рекомендуется принимать уширение равным 10 мм.

Определение числа пропусков может производиться по формулам

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}},$$

$$n = \frac{\lg Q_0 - \lg Q_n}{\lg \mu_{\text{ср}}}.$$

Другой способ заключается в следующем. Если сечение слитка равно  $A \times B$  мм, а сечение заготовки  $a \times a$  мм, то общее обжатие каждой стороны слитка должно быть равно  $(A - a)$  для одной и  $(B - a)$  для другой стороны.

Приняв величину уширения равной 10%, получают суммарное обжатие за всю прокатку

$$\Sigma \Delta h = [(A - a) + (B - a)] 1,10.$$

Тогда, если задаться величиной среднего обжатия за пропуск, можно определить число пропусков

$$n = \frac{\Sigma \Delta h}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{[(A - a) + (B - a)] 1,10}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{(A + B - 2a) 1,10}{\Delta h_{\text{ср}}}.$$

Кантовку слитка при прокатке Зарошинский рекомендует производить в следующем порядке:

- 1) первую кантовку — после первых двух пропусков (с целью снятия конусности слитка);
  - 2) следующие две-три кантовки — после каждых четырех пропусков;
  - 3) дальнейшие кантовки — после каждых двух пропусков;
  - 4) перед последним пропуском полоса обязательно кантуется.
- Однако Зарошинский допускает возможность отступления от этой схемы. Так, например, иногда первые две кантовки делают после каждых двух пропусков; вторую кантовку иногда дают после шести пропусков, следующих за первой кантовкой, т. е. после восьмого пропуска, и т. д.

Учитывая указанный порядок кантовок, составляют табл. 5 распределения пропусков и кантовок для заданных чисел пропусков. В этой таблице цифры в колонках обозначают число пропусков за каждый цикл, а буква «к» — кантовки.

Затем табл. 5 рассматривается в следующем порядке.

Прокатка в 13 пропусков. Первый и предпоследний циклы имеют по 2 пропуска, а число кантовок 4 следует считать минимальным. Таким образом эта схема вполне нормальна.

Прокатка в 15 пропусков. Схема по первому варианту хороша по числу кантовок, но вряд ли практически осуществ-



Таблица 5

## Распределение пропусков кантовок

Циклы	13 пропусков						15 пропусков						17 пропусков						19 пропусков						
	1 вариант		2 вариант		3 вариант		1 вариант		2 вариант		3 вариант		1 вариант		2 вариант		3 вариант		1 вариант		2 вариант		3 вариант		
	1 сторона		2 сторона		1 сторона		2 сторона		1 сторона		2 сторона		1 сторона		2 сторона		1 сторона		2 сторона		1 сторона		2 сторона		
Сумма	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	6	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
Число кантовок	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6

вима. В предпоследнем цикле надо дать 4 пропуска, что не практикуется. Размеры слитка здесь уже сильно уменьшились и, следовательно, большие обжатия за один цикл давать нельзя. Если эти 4 пропуска будут с небольшими обжатиями, то они не будут использованы как следует. Поэтому надо добавить еще 1 кантовку, разделив предпоследний цикл на два цикла по 2 пропуска, как это сделано во втором варианте.

Третий вариант отличается от второго тем, что здесь во втором цикле дается 2 пропуска, что более целесообразно, так как раздробление литой структуры слитка производится в первых пропусках.

Прокатка в 17 пропусков. Схему по первому варианту следует считать наилучшей, так как она имеет всего 5 кантовок при практически осуществимом распределении числа пропусков.

Схема второго варианта неприемлема, как имеющая 4 пропуска в предпоследнем цикле.

Третий вариант схемы требует 6 кантовок и, следовательно, должен применяться только в специальных случаях. Однако при прокатке слитков прямоугольного сечения придется все-таки работать по этой схеме.

Прокатка в 19 пропусков. Рассматривая три варианта схемы прокатки, можно прийти к следующим выводам:

- 1) первый вариант неприемлем;
- 2) второй вариант приемлем при прокатке слитков квадратного сечения;
- 3) третий вариант можно применить только при прокатке слитков прямоугольного сечения с большой разностью в размерах сторон, вследствие чего большая сторона обжимается 11 раз, а меньшая — 8 раз.

Конечно, представленные схемы не исчерпывают всех возможных вариантов, однако дополнительные схемы были бы нецелесообразны из-за большего числа кантовок.

Таким образом, рассмотрение табл. 5 показало, что наиболее подходящими вариантами будут следующие распределения числа пропусков и кантовок:

- 1) в 13 пропусков;
- 2) в 15 пропусков — второй и третий варианты;
- 3) в 17 пропусков — первый вариант и, как исключение, третий;
- 4) в 19 пропусков — второй и третий варианты.

Теперь, исходя из средних величин абсолютных обжатий, указанных выше, можно определить размеры слитков, обжимаемых по той или иной схеме на заготовку сечением, например,  $200 \times 200$  мм.

В случае прокатки в 13 пропусков общее обжатие слитка может составить

$$60 \times 13 = 780 \text{ мм.}$$

Если слиток квадратный, то каждая сторона получает обжатие

$$780 : 2 = 390 \text{ мм.}$$

Следовательно, нижнее сечение слитка должно быть

$$(200 + 390) \times (200 + 390) = 590 \times 590 \text{ мм} \approx 600 \times 600 \text{ мм.}$$

Если слиток прямоугольный, то, допустив разницу сторон в 100 мм, определяют, что меньшая сторона должна быть обжата на

$$\frac{780 - 100}{2} = 340 \text{ мм.}$$

Значит, нижний размер этой стороны будет равен

$$200 + 340 = 540 \approx 550 \text{ мм,}$$

а большая сторона сечения слитка

$$540 + 100 = 640 \approx 650 \text{ мм.}$$

Аналогичным образом определяют размеры слитков для всех выбранных схем прокатки в 15, 17 и 19 пропусков, как показано в табл. 6.

Таблица 6

Определение размеров слитков

Число пропусков	Обжатие без учета уширения, мм			Размеры слитка				Вес слитка, кг
	среднее за 1 пропуск	общее за всю прокатку	приходящее- ся на одну сторону	низ		верх мм×мм	высота, мм	
				расчетный мм×мм	исправ- ленный мм×мм			
13	60	780	390	590×590	600×600	550×550	1800	4160
13	60	780	340/440	540×640	550×650	500×600	1800	4130
15	60	900	450	560×650	630×650	600×600	2000	5460
15	60	900	400/500	600×700	600×700	550×650	2000	5430
17	60	1020	510	710×710	700×700	650×650	2100	6690
17	60	1020	460/560	660×760	650×750	600×700	2100	6060
19	60	1140	570	770×770	750×750	700×700	2200	8090
19	60	1140	500/640	700×840	700×850	650×800	2200	8570

Так как твердые сорта стали катают со средним обжатием на 5—10 мм меньше, чем мягкие, то слитки твердой стали приведенных в табл. 6 размеров нельзя будет прокатать за 13 пропусков; приходится добавить в этом случае два пропуска, т. е. обжимать по одному из вариантов схемы в 15 пропусков.

Пользуясь табл. 5, переходят к составлению схемы обжатий для заданных условий.

Пример. Требуется прокатать квадратный слиток рельсовой стали весом 7200 кг в блюмсы сечением  $235 \times 235$  мм.

Средняя сторона поперечного сечения слитка получается из выражения

$$a = \sqrt[3]{\frac{V}{3}}.$$

Объем слитка, исходя из удельного веса 7,0 (учитывающий закругления углов слитка),

$$V = \frac{G}{\gamma} = \frac{7200}{7} = 1028 \text{ дм}^3$$

и сторона сечения слитка

$$a = \sqrt[3]{\frac{1028 \cdot 100^3}{3}} = 700 \text{ мм.}$$

Высота слитка

$$H = 3a = 2100 \text{ мм.}$$

Принимая разность сторон верхнего и нижнего сечений слитка в 50 мм, получают все основные размеры слитка: низ —  $725 \times 725$  мм, верх —  $675 \times 675$  мм, высота — 2100 мм.

Число пропусков определяют, задавшись средним обжатием за один пропуск. Общее обжатие составляет  $2 (725 - 235) = 490 \times 2 = 980$  мм.

Если принять среднее обжатие равным 55 мм, то число пропусков

$$n = \frac{980}{55} = 17,8 \approx 17.$$

Слиток имеет квадратное сечение, поэтому принимается первый вариант схемы прокатки в 17 пропусков (табл. 7).

Теперь распределяют обжатия по отдельным пропускам и циклам, причем величина обжатия для каждого пропуска берется в соответствии с положениями, указанными выше.

Общее уменьшение высоты первой стороны без учета уширения равно 490 мм. К этой величине надо добавить обжатие,

компенсирующее уширение, получающееся во время обжатия первой стороны. За девять пропусков, в которые происходит обжатие второй стороны, уширение первой составит 50 мм. Следовательно, общее обжатие первой стороны с учетом уширения будет

Таблица 7

Распределение числа пропусков и кантовок

Циклы	1 сторона	2 сторона
1	2	—
2	к	4
3	4	к
4	к	4
5	2	к
6	к	1
Сумма	8	9

490 + 50 = 540 мм.

В первых двух пропусках обжатие принимают 65 и 45 мм, имея в виду конусность слитка.

В остальных циклах — третьем и пятом принимают: третий цикл — 4 пропуска по 75 мм (всего 300 мм); пятый цикл — 2 пропуска по 65 мм (всего 130 мм).

Для второй стороны обжатия распределяются также с учетом общего об-

жатия, равного 490 мм (без уширения).

Уширение второй стороны происходит шесть раз, значит общее уширение будет равно

$$(5 \times 5) + 10 \text{ (в последнем пропуске)} = 35 \text{ мм.}$$

Следовательно, общее обжатие с учетом уширения составит

$$490 + 35 = 525 \text{ мм.}$$

Эта величина распределяется по пропускам следующим образом:

второй цикл — 1 пропуск 65 мм, 3 пропуска по 55 мм (всего 230 мм);

четвертый цикл — 4 пропуска по 65 мм (всего 260 мм);

шестой цикл — 1 пропуск 35 мм.

Все полученные данные помещают в сводную таблицу и получают схему обжатий по пропускам (табл. 8).

Аналогично приведенному примеру составляется схема обжатий для любого случая прокатки заготовки на блюминге. На практике обычно составляют несколько вариантов таких схем и выбирают лучший из них.

При выборе наилучшего варианта принимают во внимание не только условия прокатки, но и другие обстоятельства:

1) нагрузка на двигатель; если в отдельных пропусках она настолько велика, что вызывает выключение двигателя или сильно снижает скорость прокатки, то калибровка должна быть исправлена;

Таблица 8

Схема обжатий при прокатке заготовки 235 × 235 мм

№ пропуска	Сечение слитка по пропускам мм × мм	H—h мм	Q см²	ρ
0	725 × 725	—	5256	—
1	660 × 725	65	4785	1,098
2	615 × 725	45	4422	1,082
	Кантовка			
3	620 × 660	65	4092	1,080
4	625 × 605	55	3781	1,082
5	630 × 550	55	3465	1,091
6	635 × 495	55	3143	1,102
	Кантовка			
7	560 × 500	75	2800	1,122
8	485 × 505	75	2449	1,143
9	410 × 510	75	2091	1,171
10	335 × 515	75	1725	1,212
	Кантовка			
11	340 × 450	65	1530	1,128
12	345 × 385	65	1328	1,152
13	350 × 320	65	1120	1,182
14	355 × 255	65	905	1,237
	Кантовка			
15	290 × 260	65	754	1,200
16	225 × 270	65	607	1,242
	Кантовка			
17	235 × 235	35	552	1,100
	Среднее	63	—	1,142

2) продолжительность прокатки, которая зависит от числа пропусков и числа кантовок и нагрузок на двигатель;

3) напряжения в деталях стана (валки, шпиндели и др.), которые могут превзойти допустимые.

Недоучет указанных обстоятельств нередко приводит к отрицательным результатам или к тому, что новая калибровка не дает ожидаемого эффекта.

В. И. Липухин [39], основываясь на опыте калибровки и работы советских блюмингов, отмечает, что некоторые положения, принятые Зароцинским, расходятся с практическими заводскими данными. Так, например, можно считать вполне допустимой среднюю величину обжатия для мягкой стали до 90 мм, а для твердой — до 70 мм.

При этом абсолютные обжатия в первых пропусках могут достигать 100 и даже 110 мм при прокатке мягкой стали и 90 мм при прокатке твердой стали.

Максимальный угол захвата при обжатии  $H - h = 100$  мм на новых валках равен  $26^\circ 30'$ , а на изношенных — до  $28^\circ$ .

Таблица 9

Схема обжатий мягкой стали в 11 пропусков на  $240 \times 240$  мм и в 13 пропусков на  $200 \times 200$  мм

№ калибра	№ пропуска	H мм	B мм	H-h мм	Кантовка	Уширение мм	Q мм <sup>2</sup>	L мм	Продолжительность сек.		Число оборотов в мин.
									пропуска	паузы	
1	0	740	680	—	—	—	432 300	2,2	—	—	—
	1	640	680	100	—	0	405 000	2,25	2,2	3,0	40
	2	545	680	95	—	0	341 400	2,35	2,6	3,0	40
	3	455	685	90	—	5	300 000	2,88	2,3	3,0	50
	4	365	690	90	Кантовка	5	241 800	3,91	2,3	7,0	50
2	5	580	370	110	—	5	214 600	3,88	2,2	3,0	45
	6	480	375	100	—	5	180 000	4,62	2,5	3,0	45
	7	380	380	100	—	5	144 400	5,76	2,8	3,0	50
	8	280	385	100	Кантовка	5	107 800	7,71	3,4	5,0	50
	9	290	290	95	—	10	84 100	9,90	3,5	3,5	70
3	10	210	300	80	Кантовка	10	63 000	13,20	4,0	4,0	80
	11	240	240	60	—	30	57 600	14,44	4,0	4,0	100
4	12	180	250	60	Кантовка	10	45 000	18,50	4,8	4,0	100
	13	200	200	50	—	20	40 000	20,80	5,0	—	110

57

Таблица 10

Схема обжатий специальной стали в 17 пропусков на  $240 \times 240$  мм и в 19 пропусков на  $200 \times 200$  мм

№ калибра	№ пропуска	H мм	B мм	H-h мм	Кантовка	Уширение мм	Q мм <sup>2</sup>	L мм	Продолжительность сек.		Число оборотов в минуту
									пропуска	паузы	
1	0	740	680	0	—	—	432360	2,30	—	—	—
	1	650	685	90	—	5	410000	2,35	2,3	3,0	40
	2	570	690	80	Кантовка	5	362500	2,40	2,1	7,0	45
	3	600	575	90	—	5	345000	2,54	2,5	3,0	40
	4	520	580	80	—	5	301600	2,94	2,6	3,0	45
	5	440	585	80	—	5	257400	3,48	3,1	3,0	45
2	6	360	590	80	—	5	212400	4,30	3,3	5,0	50
	7	520	370	70	—	10	192400	4,75	2,5	3,0	50
	8	460	380	60	Кантовка	10	174800	5,23	2,0	7,5	60
	9	370	460	10	—	0	170200	5,37	2,2	2,0	70
3	10	360	460	10	Кантовка	0	165600	5,52	2,2	5,0	70
	11	400	370	60	—	10	148000	6,18	2,6	3,0	60
	12	340	380	60	Кантовка	10	129200	7,07	2,8	6,0	70
	13	320	350	60	—	10	112000	8,16	3,1	3,0	70
4	14	270	360	50	Кантовка	10	97200	9,40	3,1	4,5	80
	15	285	280	75	—	10	79800	11,45	4,0	3,5	70
	16	215	290	70	Кантовка	10	62350	14,66	4,5	4,0	80
5	17	240	240	56	—	25	57600	15,87	4,5	4,0	100
	18	180	250	60	Кантовка	10	45000	20,31	5,2	4,0	100
	19	200	200	50	—	20	40000	22,85	5,4	—	100

Схема обжатий твердой стали в 15 пропусков на  $240 \times 240$  мм и в 17 пропусков на  $200 \times 200$  мм

№ калибра	№ пропусков	H мм	B мм	H-h мм	Кантовка	Уширение мм	Q мм <sup>2</sup>	L мм	Продолжительность сек.		Число оборотов в минуту
									пропуска	паузы	
1	0	740	680	0	—	—	432360	2,30	2,3	3,0	—
	1	670	680	70	—	—	412000	2,35	2,0	7,0	40
	2	600	680	70	Кантовка	0	391700	2,40	2,5	3,0	50
	3	600	605	80	—	5	363000	2,50	2,5	3,0	40
	4	520	610	80	—	5	317200	2,79	2,9	3,0	45
	5	440	615	80	—	5	270600	3,31	3,0	5,0	45
2	6	370	620	70	Кантовка	5	229400	3,95	3,0	—	50
	7	550	375	70	—	5	206200	4,43	2,3	3,0	50
	8	485	380	65	—	5	184300	4,96	2,2	3,0	60
	9	420	385	65	—	5	161700	5,65	2,5	3,0	60
	10	360	390	60	Кантовка	5	140400	6,51	2,6	6,0	70
	11	325	370	65	—	10	120300	7,64	2,8	3,0	70
3	12	270	380	55	Кантовка	10	102600	8,90	2,8	4,5	80
	13	295	280	85	—	10	81000	14,28	3,9	3,5	70
4	14	215	290	80	Кантовка	10	62400	14,64	4,4	4,0	80
	15	240	240	50	—	25	57600	15,87	4,4	4,0	100
5	16	180	250	60	Кантовка	10	45000	20,31	5,2	4,0	100
	17	200	200	50	—	20	40000	22,85	5,4	—	100

Обжатия не распределяются равномерно по пропускam, а снижаются по ходу прокатки. Это вызывается тем, что по мере уменьшения толщины полосы увеличивается коэффициент вытяжки и усиливается трение в калибрах, а следовательно, возрастает и работа прокатки. Кроме того, скорость прокатки увеличивается к концу прокатки.

Уширение на 5 мм в каждом пропуске также практически не наблюдается. Так, например, уширение в третьем калибре при прокатке 7 т слитка можно принимать равным 10 мм за пропуск.

Последние калибры делают без выпуклости дна, поэтому уширение здесь возрастает. Хорошее заполнение калибра получается, если при расчете уширения брать:

$$\Delta B = 0,5(H - h) \text{ для блюмса } 240 \times 240 \text{ мм,}$$

$$\Delta B = 0,4(H - h) \text{ для блюмса } 200 \times 200 \text{ мм.}$$

В отношении кантовок Липухин отмечает, что принимаемый Зарощинским порядок кантовки не применяется на блюминге  $D = 1100$  мм.

Для мягкой стали неответственного назначения можно первую кантовку делать не через два, а через четыре пропуска. Поэтому число кантовок должно быть в соответствии с химическим составом и назначением стали.

В табл. 9—11 приводятся фактические схемы обжатий, имевшие место при прокатке слитков весом 7,0 т на блюминге  $D = 1100$  мм [39].

Следует отметить, что замечания Липухина относятся к частностям, а не к методике калибровки в целом, и не являются принципиальными.

Калибровка блюминга в значительной степени зависит от качества прокатываемого металла. Чекмарев [40], приводя обзорные данные по калибровке блюмингов, указывает на следующее различие в числе пропусков в зависимости от состава металла.

Если при прокатке мягкой углеродистой стали обычного качества дают 15—17 пропусков (иногда 11), то твердую углеродистую сталь того же размера катают в 19—23 пропуска, а некоторые сорта легированных сталей — в 27—29 и более пропусков.

Блюминги предназначаются для обжима слитков и прокатки квадратной заготовки, как правило, не менее  $200 \times 200$  мм. Для получения более мелкой заготовки применяются плоские и ромбические ручьи в более легких обжимных станах диаметром 650—450 мм, обычно трехвалковых.

## ГЛАВА 5

## КАЛИБРОВКА ОБЖИМНЫХ ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНОВ

Обжимные трехвалковые станы снабжаются маховиком и, следовательно, работают с постоянным числом оборотов. Валки трехвалковых станов во время работы не раздвигаются, поэтому каждому пропуску отвечает особый калибр.

Калибры в обжимных трехвалковых станах могут быть: плоские, как в блюмингах, стрельчатые, ромбические, в виде чередующихся ромбов и квадратов, чередующихся квадратов и овалов и, наконец, в одном и том же трехвалковом стане — комбинация всех или нескольких видов этих калибров.

Рассмотрим построение этих калибров, определение размеров их элементов и определение площадей ряда калибров.

## 1. Стрельчатые калибры

Стрельчатыми называют открытые четырехугольные калибры, ограниченные дугами круга и расположенные таким образом, что одна из диагоналей калибра вертикальна, а другая — горизонтальна.

Вычерчивание их производится следующим образом. Площадь калибра  $Q$  предполагается заданной. Выбирается одна из диагоналей — вертикальная или горизонтальная. Горизонтальная диагональ  $b_n$  определяется по формуле

$$b_n = h_{n-1} + \Delta B,$$

где  $h_{n-1}$  — вертикальная диагональ ближайшего большего калибра.

Вертикальная диагональ определяется по формуле

$$h_n = b_{n+1} - \Delta B,$$

где  $b_{n+1}$  — горизонтальная диагональ ближайшего меньшего калибра.

Остальные размеры определяются из табл. 12.

По данным  $Q$  и  $h$  или  $Q$  и  $b$  определяются значения  $\frac{Q}{h}$

или  $\frac{Q}{b}$ ; при помощи 2-й и 3-й граф таблицы можно найти отношение  $\frac{b}{h}$  в 1-й графе. Поэтому, если дано  $h$ , то находят-

Таблица 12

Таблица для вычисления стрельчатых калибров [30]

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$
1,10	0,679	0,561	1,24	0,760	0,494	1,38	0,844	0,443
1,11	0,685	0,556	1,25	0,766	0,490	1,39	0,850	0,440
1,12	0,691	0,550	1,26	0,772	0,486	1,40	0,856	0,437
1,13	0,696	0,545	1,27	0,778	0,482	1,41	0,862	0,434
1,14	0,702	0,540	1,28	0,784	0,478	1,42	0,868	0,431
1,15	0,708	0,535	1,29	0,790	0,475	1,43	0,874	0,428
1,16	0,714	0,530	1,30	0,796	0,471	1,44	0,881	0,425
1,17	0,720	0,526	1,31	0,802	0,467	1,45	0,887	0,422
1,18	0,725	0,521	1,32	0,808	0,464	1,46	0,893	0,419
1,19	0,731	0,516	1,33	0,814	0,460	1,47	0,899	0,416
1,20	0,737	0,511	1,34	0,820	0,456	1,48	0,905	0,413
1,21	0,743	0,507	1,35	0,826	0,453	1,49	0,911	0,410
1,22	0,749	0,503	1,36	0,832	0,449	1,50	0,917	0,407
1,23	0,755	0,498	1,37	0,838	0,446			

ся  $b$ , если дано  $b$  — находится  $h$ . Таблица дает возможность по изменению в натуре  $h$  или  $b$  и  $\frac{b}{h}$  находить площадь калибров.

Углы закругляются радиусом  $r = 0,2 h$  (высоты калибра).

Зазор между валками обычно берется 3—7 мм, или 0,8—1,5% от  $D$ .

## 2. Ромбические калибры

Совещание по калибровке валков для прокатки качественной стали [36] рекомендовало правила построения ромбических вытяжных калибров.

Общую ширину ромба рекомендовано определять как сумму размеров высоты предыдущего калибра и половины разницы между шириной предыдущего калибра и высотой последующего.

Радиус закругления в вершине ромба следует брать равным  $\sim 0,4$  его стороны.

При коэффициенте вытяжки 1,18—1,20 разбивку ромбов по углу у вершины лучше всего производить, руководствуясь следующими данными [36]:

Размеры квадратов, мм . .	6—8	8—10	10—14	14—22	22—30	30—50	50—75
Рекомендуемые углы ромбов . . . . .	120°	118°	116°	114°	112°	110°	108°

Характеристика ромбических калибров, применяемых на заводах качественной стали СССР

Таблица 13

Завод	Станы, на которых применяются ромбические калибры	В комбинации с канями предшествующими калибрами употребляются ромбические калибры	Основные расчетные данные о ромбических калибрах.			
			угол у вершины град.	оформление калибра у развѣса	коэфф. вытяжки (прибл.)	размер квадратной заготовки, поступающей в ромбические калибры
А	Стан 750 II клетъ	Ящичные, 9—11 пропусков	100	Без развала	1,21	160 и 140
	Стан 450 I и II клетъ	Ящичные, 4 пропуска	100	» »	1,21	130
	Обжимной 480	То же	100	» »	1,21	120
	Стан 360 I клетъ	Ящичные и ромбические в обжимной клетѣ	100	» »	1,21	80—90
	Обжимной 360	Непосредственная прокатка в ромбических калибрах	100	» »	1,28	80
Б	Стан 600	Ящичные калибры	98	» »	1,17—1,23	140
	Обжимной 450	Ящичные калибры, 4 пропуска	100	» »	1,21	75

Продолжение табл. 13

Завод	Станы, на которых применяются ромбические калибры	В комбинации с канями предшествующими калибрами употребляются ромбические калибры	Основные расчетные данные о ромбических калибрах			
			угол у вершины град.	оформление калибра у развѣса	коэфф. вытяжки (прибл.)	размер квадратной заготовки, поступающей в ромбические калибры
В	Стан 600 I клетъ	Обжим с ящичными калибрами, но после прокатки в обжиме, вторичный нагрев	96	С развалом	1,21—1,25	165
	Обжимной 600	Непосредственная прокатка нагретой заготовки	96	» »	1,25—1,25	170
	Стан 400 I клетъ	2 ящичных калибра при прокатке слитка	98	Без развала	1,21	100—90
	Стан 400 № 2 I клетъ	Непосредственная прокатка нагретой заготовки в ромбическом калибре	98	» »	1,21	90—75
	Обжимной 750 II клетъ	Предшествующие калибры в I клетѣ	94	С развалом	1,21—1,25	155
Г	Обжимной 550	Ящичные калибры, 6 пропусков	97	» »	1,19—1,23	115
Д	Стан 700 II клетъ	Ящичные в I клетѣ, 13 пропусков	96 и 94	С развалом	1,21	130
	Обжимной 600	Непосредственная прокатка в ромбических калибрах	96	» »	1,21	130

Станы, на которых применяются ромбические калибры	В комбинации с напими предшествующими калибрами употребляются ромбические калибры	Основные расчетные данные о ромбических калибрах			
		угол у вершины град.	оформление калибра у развела	коэфф. вытяжки (прибл.)	размер квадратной заготовки, поступающей в ромбические калибры
Д	Стан 450	94	С развалом	1,21	80
	Обжимной 450	94	»	1,21	90
Е	Стан 625	98	Без развала	1,28—1,30	140
	Стан 400 I клеть	95	»	1,23	140
	II клеть	95	»	1,21—1,23	55
	Стан 300	95	»	1,10—1,17	40
	Стан 270 I клеть	95	»	1,11	38
Ж	Стан 750	93	С развалом	1,17—1,21	100

При коэффициенте вытяжки 1,20—1,30 угол у вершины ромбов следует увеличивать на 2° против указанных данных.

Чистовые квадратные калибры должны иметь угол у вершины не более 90,5°. Квадратные подготовительные калибры могут иметь угол при вершине 91—93°.

В табл. 13 приведена характеристика ромбических калибров, применяемых на заводах качественных сталей [41].

Ромбические калибры, по существу, являются стрелчатыми калибрами как по назначению, так и по расположению диагоналей; разница заключается только в том, что сторонами ручья вместо дуг являются прямые линии и при той же площади калибра ромбический ручей глубже врезается в тело вала.

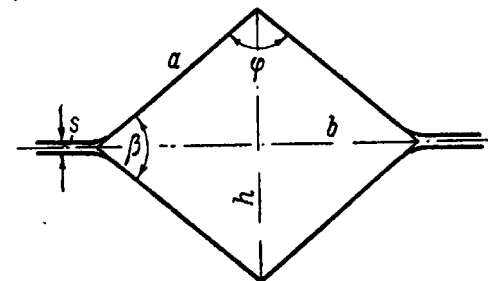


Рис. 22. Ромбический калибр

Зависимость между стороной ромба  $a$  и диагональю  $b$ , а также между  $h$  и  $b$ , определяется следующими соотношениями (рис. 22):

$$h = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2};$$

$$a = \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}.$$

Зависимость между  $Q$ ,  $h$  и  $b$ , как известно из геометрии, такова:

$$Q = \frac{hb}{2}.$$

Отсюда, если известно  $h$  или  $b$ , определяется  $b$  или  $h$  и  $Q$  и, наоборот,  $Q$  вполне определяет  $h$  и  $b$ . Радиус закругления угла ромба принимается в 0,25 диаметра круга, вписанного в ромб.

Из ромбического калибра легко получить квадратную заготовку, если ромбическую полосу пропустить еще в тот же калибр, скантовав предварительно на 90°. В результате выйдет, как видно из рис. 23, восьмиугольник, весьма близкий по форме к квадрату.

Если же принять в расчет, что при охлаждении такой заготовки, как и всякого квадрата, происходит утяжка внутрь гра-



ней, т.е. после охлаждения такого восьмиугольника получится почти совершенный квадрат.

Поэтому ромбические ручки в обжимном стане удобны для получения квадратной заготовки, предназначенной для дальнейшей прокатки. Если имеется ряд ромбов с уменьшающимися площадями, причем ширина каждого последующего калибра равна или несколько больше высоты предыдущего калибра, то надо только при прокатке поворачивать полосу перед каждым

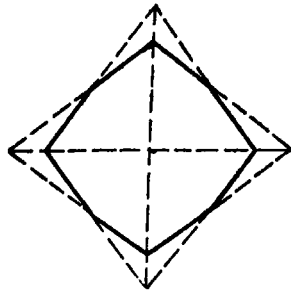


Рис. 23. Получение квадратной заготовки в ромбическом калибре

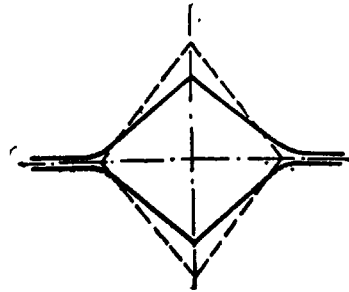


Рис. 24. Прокатка ромбической полосы в ромбическом калибре

пропуском на  $90^\circ$ , чтобы было место для уширения (рис. 24). Пунктиром изображена ромбическая полоса из предыдущего калибра, задаваемая в последующий ромбический калибр.

Если при калибровке обжимной трехвалковой клетки пользоваться переменными коэффициентами высотного обжатия по формуле Кирхберга<sup>1</sup>

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-1}^2,$$

то при подсчете уже через несколько проходов получаются обжатия, выходящие за пределы допускаемого угла захвата (тем более, что прокатываемый металл вообще плохо захватывается углами калибра, врезанными в валки, вследствие малой поверхности трения).

Например, если прокатывать заготовку  $90 \times 90$  мм в валках диаметром 600 мм, то максимальный коэффициент вытяжки будет равен 1,65 (площадь квадратной заготовки, деленная на площадь ромбической полосы, выходящей из валков, дает коэффициент вытяжки).

<sup>1</sup> При выводе этой формулы Кирхберг принимает, что пластичность металла прямо пропорциональна толщине полосы. В действительности же при прокатке толстых сечений сопротивление металла деформации и пластичность являются функцией температуры. *Ред.*

Площадь квадрата равна  $90 \times 90$  мм. Максимальное вертикальное обжатие для валков  $D=600$  мм при  $\alpha=29^\circ$  примем 50 мм, поэтому вертикальная диагональ ромба равна  $90 \cdot 1,41 - 50 = 77$  мм.

Полагая размер горизонтальной диагонали  $90 \cdot 1,41 = 127$  мм, имеем площадь ромба  $\frac{77 \times 127}{2}$  мм<sup>2</sup>.

Отсюда

$$\mu_{\max} = \frac{90 \times 90 \times 2}{77 \times 127} = 1,65.$$

С уменьшением толщины полосы при том же диаметре валков коэффициент вытяжки может возрасть.

Поэтому вполне ясным становится то, на первый взгляд ненормальное явление, что часто коэффициент вытяжки в обжимных станах от меньших ручьев к большим не только не возрастает, чего требовала бы большая пластичность металла, но даже убывает. Отсюда понятно также, что часто при калибровке обжимных станов пользуются постоянным коэффициентом вытяжки для ряда калибров. Этот коэффициент обычно находится в пределах 1,2—1,4.

Можно либо выбрать постоянный коэффициент вытяжки в указанных пределах, сообразуясь с диаметром валков и размерами слитка, и тогда определять число калибров, либо же задаться числом калибров и определить для расчета их площадей коэффициенты вытяжки.

Пусть  $Q_0$  есть площадь исходного слитка и  $\mu$  — постоянный коэффициент вытяжки; тогда, независимо от формы калибров, имеем:

$$Q_0 = \mu Q_1$$

$$Q_1 = \mu Q_2$$

$$Q_2 = \mu Q_3$$

$$\dots$$

$$Q_{n-1} = \mu Q_n.$$

Перемножив отдельно члены первого и второго столбцов и произведя сокращение одинаковых множителей, получаем

$$Q_0 = \mu^n Q_n,$$

где  $Q_n$  — площадь сечения конечной заготовки, а  $n$  — число калибров.

Отсюда, если известны  $\mu$ ,  $Q_0$  и  $Q_n$ , определяется число калибров:

$$n = \frac{\lg Q_0 - \lg Q_n}{\lg \mu}.$$

Если известны  $l$ ,  $Q_0$  и  $Q_n$ , определяется коэффициент вытяжки:

$$\mu = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}.$$

Часто построение ряда ромбов производится по правилу: высота (вертикальная диагональ) предыдущего калибра равна ширине (горизонтальной диагонали) последующего калибра.

Определим коэффициент вытяжки в этом ряде калибров.

Так как площади подобных ромбов относятся между собою как квадраты сходственных диагоналей, то

$$\mu = \frac{b^2}{b_1^2} = \frac{b^2}{h^2} = \frac{b^2}{b^2 \operatorname{tg}^2 40^\circ} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 40^\circ} = \frac{1}{0,84^2} \approx 1,41.$$

Итак, коэффициент вытяжки в этом случае равен 1,41. Из условия построения калибров видно, что в этом ряде калибров нет места уширению, поэтому при прокатке будут образовываться заусенцы в месте разъема валков. Во избежание этого

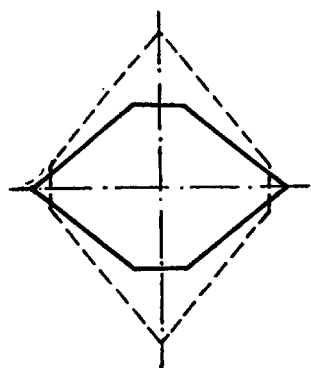


Рис. 25. Притупление вершины ромбического калибра

притупляют углы ромба при вертикальных диагоналях, как показано на рис. 25, а именно, не изменяя угла, уменьшают высоту калибра. Таким образом увеличивается вертикальное обжатие, и в следующий калибр ромбическая полоса поступает меньшей ширины, чем ширина ручья.

Подобное притупление угла в ромбических и квадратных ручьях очень распространено, однако оно не допустимо тогда, когда надо получить заготовку с острыми кромками. В таком случае нельзя пользоваться приведенным выше правилом построения ряда ромбических ручьев, но следует делать ширину последующего калибра несколько больше высоты предыдущего, пользуясь формулой

$$b_1 = h + \Delta B,$$

причем коэффициент вытяжки при  $\varphi = 100^\circ$  и  $\beta = 80^\circ$  должен быть меньше 1,41.

Стрельчатые ручьи непригодны для выпуска квадратной заготовки, поэтому в обжимном стане они могут лишь предшествовать ромбическим ручьям.

В настоящее время стрельчатые калибры применяются очень редко и только на старых станах. Недостатком их является повышенная склонность к свертыванию полосы в калибре и невозможность давать значительные вытяжки.

Остановимся на разъяснении значения радиусов закруглений углов ручья или притуплений угла в глубине калибра.

При построении ряда калибров мы исходили из правила  $h_1 = b_2$ , т. е. не оставляли места для уширения. При таком построении условия обжатия в ромбических калибрах приближаются по своему характеру к условиям обжатия в плоских калибрах, так как величина  $\frac{h_1}{b_2}$  во всех частях профиля остается постоянной; естественные вытяжки во всех частях профиля одинаковы.

Поэтому указанное построение ряда калибров следует считать рациональным. Необходимо, однако, принять меры для обеспечения возможности уширения.

Рассмотрим эти меры. Пусть исходный размер заготовки —  $100 \times 100$  мм.

Определим ширину заготовки после первого пропуска, принимая  $\Delta B = 0,3 (H - h)$ .

Диагональ исходного квадрата равна  $100 \cdot \sqrt{2} = 141$  мм.

Принимая в расчет закругление углов заготовки радиусом, равным 10% от толщины ее, имеем фактическую ширину по диагонали 133 мм. Следовательно, вертикальное обжатие в первом пропуске  $H - h = 141 - 110 = 31$  мм. Отсюда

$$\Delta B = 0,3 \cdot 31 \approx 9 \text{ мм.}$$

Таким образом, фактическая ширина заготовки после первого пропуска

$$b_1 = 133 + 9 = 142 \text{ мм.}$$

Ширина заготовки равна, следовательно, горизонтальной диагонали первого калибра

$$b_1 = b_0 \text{ (без закруглений).}$$

В случае более сильного, чем предусмотрено, уширения, в зазор вытесняется металл, и на заготовке образуются бурты, заусенцы, зарезины.

Для примера предположим, что уширение будет равно  $0,4 \cdot 30 = 12$  мм. Тогда ширина  $b_1 = 133 + 12 = 145$  мм, и на горизонтальных углах заготовки по обеим сторонам образуются заусенцы шириной по 1,5 мм и толщиной, равной толщине зазора, в данном случае 4 мм, как показано на левой стороне рис. 26. Такую форму заусенец получил бы, если бы углы реборды не были закруглены.

Образование заката из-за вдавливания заусенца показано на рис. 27 в виде складок  $aa$ . Закаты раскрываются при осевом давлении при испытании на осадку, а также частично при охлаждении.

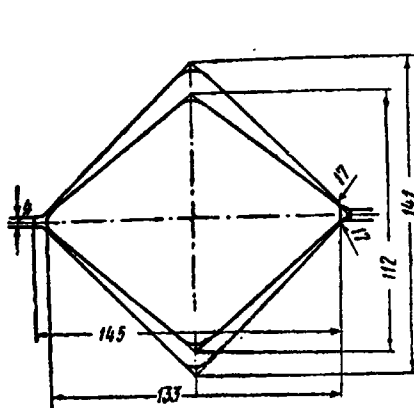


Рис. 26. Образование заусенца (левая половина калибра)

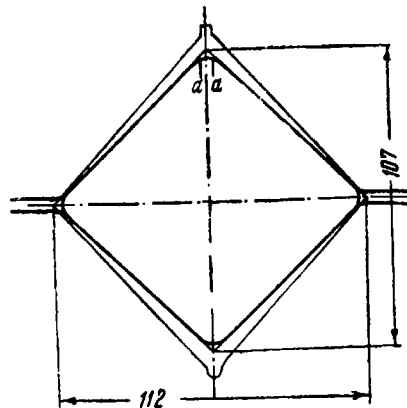


Рис. 27. Образование заката (вверху) вследствие отсутствия закругления у реборды

Чтобы устранить образование тонких заусенцев, углы реборд закругляют. Практика рекомендует в стрельчатых и в ромбических калибрах радиус закругления брать

$$r = 0,2d,$$

где  $d$  — диаметр вписанного в калибр круга. Последний равен приблизительно  $\frac{h}{1,415}$ , поэтому можно рекомендовать

$$r = 0,14h.$$

При таком закруглении заусенец становится толще и короче, как показано на правой стороне рис. 26. Благодаря значительной толщине заусенца закат не образуется.

Чтобы уменьшить действие уширения в дальнейших пропусках, притупляют углы при вершинах в предыдущих калибрах, закругляя их радиусом около 10% от толщины заготовки, или  $0,085 h$ .

Из сказанного ясно, что в случае образования закатов следует исправлять калибр увеличением радиусов закругления или в углах реборд, или в вершинах ручьев, или в обоих этих местах.

Следует, однако, иметь в виду, что когда от продукта прокатки требуются хорошо выраженные, непритупленные кромки ребер, надо избегать притупления углов и уменьшать радиусы закруглений у ближайших к выпускному калибров.

В этом случае лучше строить ряд калибров по правилу

$$b_2 = h_1 + \Delta B_2$$

и давать точную и устойчивую установку валков.

Следует также упомянуть о боковой «игре» валков или о боковой неточной установке их. Валки должны быть установлены так, чтобы вертикальные биссектрисы углов обоих ручьев калибра совпадали.

Вследствие того, что верхний валок сдвинут вправо или влево относительно нижнего, в углах может образоваться заусенец. В следующем пропуске этот заусенец может вызвать образование заката. Таким образом, и при правильной калибровке может получиться бракованный продукт, если установка валков недостаточно хороша.

При калибровке не обязательно выбирать только ромбические ручьи. Часто бывает целесообразно применять ряд смешанных калибров, включая плоские, ромбические и квадратные.

### 3. Калибровка в ромбических ручьях

Приведем пример калибровки в ромбических ручьях, не принимая в расчет уширения и не чередуя ромб с квадратом.

Блюме  $100 \times 100$  мм прокатывается в заготовку  $50 \times 50$  мм. Примем здесь  $\frac{b}{h} = 1,12$ . Будем вести расчет от последнего калибра к первому, т. е. в направлении против хода прокатки. Последний калибр должен быть квадратным, но мы сначала определим размеры его как ромба. Составим два уравнения.

$$b_6 = 1,12 h_6, \quad (16)$$

$$h_6 = \frac{2Q_6}{b_6}. \quad (17)$$

Подставляя в уравнение (17) значение  $b_6$  из уравнения (16), получаем

$$h_6 = \sqrt{\frac{2Q_6}{1,12}}.$$

Приняв  $n=6$  и  $\mu=1,26$  находим ряд площадей каждого калибра. Таким образом, нам известно

$$Q_6 = 2500 \text{ мм}^2,$$

отсюда

$$h_6 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2500}{1,12}} \approx 67 \text{ мм}$$

и

$$b_6 = 67 \cdot 1,12 \approx 74 \text{ мм.}$$

Результаты дальнейшего расчета приводим в табл. 14.

Таблица 14

## Калибровка в ромбических ручьях

№ калибра	Q мм²	2 Q мм²	h мм	b мм	H-h мм	ΔB мм	Исправленные		α град.
							h'	b'	
6	2500	5000	(67) 71	74	14	3	71	74	16,5
5	3150	6300	74	85	20	4	71	85	20,5
4	3968	7936	85	94	22	4	81	94	21,5
3	5000	10 000	94	107	24	5	89	107	22,5
2	6299	12 598	107	118	28	5	102	118	25,5
1	7936	15 872	118	135	23		113	135	23,5
0	10 000	20 000							

Так как из последнего калибра мы должны выпустить квадрат с диагоналями  $71 \times 71$  мм, то вместо высоты 67 мм поставим 71 мм и будем в этом калибре пропускать полосу дважды с поворотом на  $90^\circ$ . Определяя диаметр валка для обеспечения  $\alpha < 26^\circ$  из выведенного ранее выражения  $D = 10 (H - 0,9 h)$ , получаем  $D = 387$  мм; примем  $D = 400$  мм.

Если желаем принять в расчет уширение, то притупляем в каждом ручье угол при вершине, как показано на рис. 25, на величину, равную половине уширения.

Уширение определяем по формуле (10), а коэффициент  $a$  — по диаграмме рис. 2. Результаты вычислений приведены во второй половине табл. 14.

## 4. Калибровка по системе квадрат — ромб

Приведем пример методики расчета калибровки по системе квадрат — ромб, которую удобно применять во избежание двукратного пропуска в одном калибре.

В этом случае задаемся коэффициентом вытяжки  $\mu_0$  от квадрата к квадрату в пределах  $\mu = 1,5 \div 2$  и больше, принимая его для всех ручьев постоянным.

Пусть исходный блюме  $100 \times 100$  мм и конечная заготовка  $50 \times 50$  мм.

Определим число квадратов для предельных  $\mu = 1,5$  и 2.

$$n_{\min} = \frac{\lg 10\,000 - \lg 2500}{\lg 2} = 2$$

и

$$n_{\max} = \frac{\lg 10\,000 - \lg 2500}{\lg 1,5} = 3,5.$$

Следовательно, число квадратов может быть 2 и 3. Отсюда

$$\mu_0 = \sqrt[3]{\frac{10\,000}{2500}} = 1,587$$

и

$$\mu = \sqrt{1,587} = 1,26.$$

В данном случае ряд площадей квадратов при  $\mu = 1,26$  уже нами был определен.

Сначала ведем расчет без уширения, а затем вводим притупления углов на уширение. Результаты расчета располагаем в табл. 15.

Таблица 15

## Калибровка по системе ромб—квадрат

№ калибра	Форма калибра	Q мм²	2 Q мм²	h мм	b мм	H-h мм	ΔB мм	h' мм	b' мм	α град
6	Квадрат	2500	5000	71	71	18	3	71	71	18,5
5	Ромб	3150	6300	71	89	18	4	68	89	18,5
4	Квадрат	3980	7960	89	89	23	4	85	89	21,5
3	Ромб	5000	10 000	89	112	23	5	85	112	21,5
2	Квадрат	6300	12 600	112	112	29	5	107	112	25,5
1	Ромб	7940	15 880	112	141	29	6	107	141	25,5
Исходный квадрат		10 000	20 000	141 (135)	141 (135)			135	135	

Вычисляем диаметр валков при  $\alpha = 26^\circ$ .  $D = 10 (H - 0,9 h) = 402$  мм, примем 420 мм.

Вследствие того, что диагонали квадрата глубже врезаются в валки, чем диагонали ромба, валки необходимо делать больше, чем при калибровке в ромбах.

## 5. Смешанная калибровка

Из рассмотрения калибровки в стрельчатых и ромбических ручьях мы видим, что чем толще болванка, тем более приходится прибегать к форме ручьев, по возможности уменьшающей глубину вреза диагоналей в валок.

Так, при данной площади калибровки наиболее глубокий врез дает квадрат, менее глубокий — ромб и еще менее глубокий — стрельчатый калибр. Все же при значительной толщине слитка и стрельчатый калибр дает слишком глубокий врез для того, чтобы возможно было применять валки малого диаметра. Нет нужды без надобности увеличивать диаметр валков, наоборот, часто, когда позволяет условие прочности, следует стремиться уменьшать диаметр валков, так как при этом понижаются расходы на стоимость валков, а также расходы на энергию, на ремонт (переточку) и т. д.

Поэтому очень часто при прокатке заготовки применяют смешанную калибровку, делая первые калибры прямоугольной формы наподобие ручьев блюминга.

Приведем пример подобной калибровки. Пусть требуется прокатать блюме  $142 \times 142$  мм в заготовку  $75 \times 75$  мм. Проведем калибровку также в шесть пропусков, применяя коэффициент вытяжки  $\sqrt[6]{\left(\frac{142}{75}\right)^2} = 1,235$ . Вычислим ряд площадей.

Последний 6-й калибр сделаем квадратным, предпоследний 5-й — ромбическим, остальные сделаем плоскими. 4-й калибр должен быть квадратным и в то же время плоским, т. е. с гранями, расположенными вертикально и горизонтально. Этот калибр должен дать квадратную полосу, потому что задача плоской полосы в ромбический калибр была бы неудобна. Так как  $Q_4$  нам известно, то  $b_4 = h_4 = \sqrt{Q_4}$ .

Для определения элементов следующих калибров выведем формулы. Обозначим ширину и высоту какого-либо калибра (например в данном случае четвертого) соответственно через  $b_n$  и  $h_n$ , вертикальное обжатие в нем — через  $(H - h)_n$  и уширение — через  $\Delta B_n$ . Обозначим ширину и высоту предшествующего ему калибра (в данном случае третьего) соответственно через  $b_{n-1}$  и  $h_{n-1}$  и площадь его —  $Q_{n-1}$ . Тогда можем написать, помня, что полоса перед каждым пропуском кантуется на  $90^\circ$ :

$$Q_{n-1} = h_{n-1} b_{n-1},$$

$$h_{n-1} = b_n - \Delta B_n,$$

следовательно,

$$Q_{n-1} = (b_n - \Delta B_n) b_{n-1};$$

отсюда

$$b_{n-1} = \frac{Q_{n-1}}{b_n - \Delta B_n}.$$

Выбирая всякий раз величину  $\Delta B_n$  и имея  $Q_{n-1}$  и  $b_n$ , легко определить  $b_{n-1}$ .

Зная же  $b_{n-1}$  и  $Q_{n-1}$ , находим

$$h_{n-1} = \frac{Q_{n-1}}{b_{n-1}} \quad \text{или} \quad h_{n-1} = b_n - \Delta B_n.$$

Не зная  $H - h$  и  $D$ , примем ориентировочно  $\Delta B = 5$  мм во всех калибрах.

Располагаем вычисление в табл. 16.

Таблица 16.

Смешанная калибровка

№ калибра	Форма калибра	$Q$ мм <sup>2</sup>	$h$ мм	$b$ мм	$H-h$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.
6	Квадрат	5 625	106	106	31	5	344	25
5	Ромб	6 950	101	137	30	5	349	25
4	Плоский квадрат	8 580	93	93	35	5	357	22,5
3	Плоский	10 600	88	120	26	5	348	22
2	»	13 100	115	114	33	5	445	26
1	»	16 150	109	148	33	6	439	25,5
0	Квадратный блюме	20 000	142	142				

Вычисление начнем с четвертого ручья:

$$h_4 = b_4 = \sqrt{8580} = 93;$$

$$b_3 = \frac{10\,600}{93 - 5} = 120; \quad h_3 = 88;$$

$$b_2 = \frac{13\,100}{120 - 5} = 114; \quad h_2 = 115;$$

$$b_1 = \frac{16\,150}{114 - 5} = 148; \quad h_1 = 109.$$

Определим диаметр валков при  $\alpha = 26^\circ$  по формуле

$$D = 10(H - 0,9h).$$

Наибольшее значение получаем во втором ручье  $D = 10(148 - 0,9 \cdot 115) = 445$  мм. Примем 450 мм.

Калибры 5-й и 6-й вычисляют с вертикальными диагоналями, принимая уширение  $\Delta B \doteq 5$  мм.

## 6. Калибровка в овальных и квадратных калибрах

Приведем пример калибровки в чередующихся калибрах квадрат — овал.

В обжимных клетях овальный калибр можно строить по правилу: толщина овала  $h$  равна стороне квадрата  $c$ , в который овал поступает, т. е.  $h_{n-1} = c_n$ .

Для определения ширины овала можно пользоваться приближительной формулой для площади овала.

$$Q = \frac{2bh}{2,85}.$$

Имея площадь овала и значение  $h$ , определяем

$$b = \frac{2,85Q}{2h}.$$

После этих замечаний приведем в табл. 17 калибровку по системе квадрат—овал в шести пропусках для того же случая, который рассматривался для прочих видов калибров.

Таблица 17

Калибровка по системе квадрат—овал								
№ калибра	Форма калибра	Q мм <sup>2</sup>	c мм	h мм	b мм	H-h мм	D мм	D <sub>0</sub> мм
6	Квадрат	2500	50	71	71	18	—	349
5	Овал	3150	—	50	89	13	—	370
4	Квадрат	3969	63	89	89	23	—	331
3	Овал	5000	—	63	112	16	223	357
2	Квадрат	6240	79	112	112	29	402	308
1	Овал	7940	—	79	141	21	289	341
Исходный квадрат		10 000	100	141	141	—	420	—

Уширения в расчет можно не принимать. Иногда крупные овальные калибры удобно заменять трапециoidalными (рис. 28), потому что свертывание выходящей из такого калибра полосы удобно и просто с помощью простых проводок предотвращается при задаче в следующий калибр.

Конструкционные размеры такого калибра можно определять следующим образом (рис. 28).

Пусть известна площадь калибра  $Q$  и его  $h$  и  $b$ , вычисленные по предыдущему способу.

Обозначим сторону трапеции в глубине калибра через  $x$ . Тогда можем написать:

$$\frac{Q}{2} = \frac{b+x}{2} \cdot \frac{h}{2}$$

или

$$2Q = (b+x)h.$$

Отсюда

$$x = \frac{2Q - bh}{h}.$$

Приведем еще пример смешанной калибровки обжима с применением плоских, стрельчатых, квадратных и ромбических ручьев (табл. 18).

Таблица 18

Смешанная калибровка обжима							
№ калибра	Форма калибра	Q мм <sup>2</sup>	2Q мм <sup>2</sup>	h мм	b мм	H-h мм	D=10(H-0,9h), мм
6	Квадрат	2500	5000	71	71	18	10(107-0,9·79)=359
5	Ромб	3150	6300	71	89	18	
4	Квадрат	3970	7940	89	89	14	
3	Стрельчатый	5000	10 000	89	103	23	
2	Плоский	6240	12 480	79	79	28	
1	»	7940	15 880	74	107	26	10(100-0,9·74)=340
Исходный		10 000	20 000	100	100	—	—

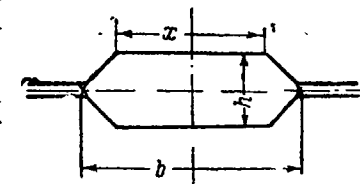


Рис. 28. Трапециoidalный калибр

Блуме  $100 \times 100$  мм прокатывается в шесть пропусков в заготовку  $50 \times 50$  мм. Коэффициент вытяжки определен был ранее:  $\mu = 1,26$ .

Вычисление элементов (табл. 18):

6-й калибр

$$h_{\text{кв}} = 1,415 \sqrt{Q} = b_{\text{кв}} = 1,415 \sqrt{2500} = 71.$$

5-й калибр

$$h_p = b_{\text{кв}} = 71;$$

$$b_p = \frac{2Q}{h_p} = \frac{6300}{71} = 89.$$

4-й калибр

$$h_{\text{кв}} = b_{\text{кв}} = b_p = 89.$$

3-й калибр

$$h_c = b_{\text{кв}} = 89;$$

$$\frac{5000}{89^2} = 0,632 \frac{b}{h} = 1,155;$$

$$b_c = 1,155 \cdot 89 = 103.$$

2-й калибр плоский, квадратный:

$$h_{\text{кв}} = \sqrt{Q_{\text{кв}}} = b_{\text{кв}} = \sqrt{6240} = 79 \text{ мм.}$$

1-й калибр плоский, прямоугольный. Элементы вычисляются из выражения

$$b_x h_x = Q_{\text{пл}}$$

или  $h_x = b_{\text{кв}} - \Delta B$ ; принимаем  $\Delta B \approx 5$  мм. Отсюда

$$b_x = \frac{Q_{\text{пл}}}{b_{\text{кв}} - \Delta B} = \frac{7940}{79 - 5} \approx 107 \text{ мм};$$

$$h_x = 79 - 5 = 74 \text{ мм} \quad \text{или} \quad h_x = \frac{7940}{107} \approx 74 \text{ мм.}$$

Для сравнительной оценки выбора формы ручьев сделаем сводку минимальных диаметров валков, необходимых при применении разной формы калибров, определенных выше:

Калибровка	Диаметр валков мм
В стрелчатых ручьях . . . . .	387
В ромбических » . . . . .	387
В системе ромб—квадрат . . . . .	420
В системе квадрат—овал . . . . .	402
В смешанных ручьях . . . . .	360

Очевидно, применение первых плоских и затем стрелчатых, ромбических и квадратных ручьев требует наименьшего диаметра валков и, следовательно, при данном диаметре валков калибровка в них дает наименьшее число пропусков или наименьшие углы захвата.

Последнее дает возможность применять большие скорости прокатки.

### 7. Пример калибровки обжимного трехвалкового стана

Приведем пример калибровки обжимного стана ( $D = 500$  мм,  $n = 100$  об/мин) в условиях завода С.

Определим при  $\alpha = 29^\circ$  максимальный размер исходной болванки.

$$H = 0,33D + 0,66D(1 - \cos 29^\circ),$$

$$H = 0,33 \cdot 500 + 0,66 \cdot 500 \cdot 0,1254 = 207 \text{ мм.}$$

При этом максимальное обжатие равно

$$H - h = 0,66 \cdot 500 \cdot 0,1254 = 41 \text{ мм.}$$

Максимальный коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{207}{207 - 41} = 1,245.$$

Ввиду того, что при  $n = 100$  об/мин ( $v = 2,6$  м/сек) угол  $\alpha = 29^\circ$  слишком велик и не обеспечивает надежного захвата, примем за максимальный размер исходной болванки  $180 \times 180$  мм<sup>1</sup>.

$Q = 32\,400$  мм<sup>2</sup>, конечное сечение заготовки  $40 \times 40$  мм и  $Q_n = 1600$  мм<sup>2</sup>.

Так как для сечений выше  $10\,000$  мм<sup>2</sup> стрелчатые и ромбические калибры дают слишком глубокий врез в валки, то до сечения  $10\,000$  мм<sup>2</sup> будем вести прокатку в плоских калибрах, в дальнейшем — в системе квадрат — овал.

Примем в первой группе калибров коэффициент  $\mu = 1,2$  и во второй —  $\mu = 1,4$ , т. е. от квадрата к квадрату  $\mu = 2$ .

Определим число пропусков.

Первая группа:

$$n = \frac{\lg 32\,400 - \lg 10\,000}{\lg 1,2} = \frac{4,50105 - 4,0}{0,07918} \approx 6,5;$$

примем  $n = 7$  пропусков.

<sup>1</sup> С увеличением скорости прокатки допустимый угол захвата уменьшается. При числе оборотов, равном 100, угол  $29^\circ$  может привести к затруднениям при задаче заготовки в валки. *Ред.*

Вторая группа:

$$n = \frac{\lg 10\,000 - \lg 1600}{\lg 1,4} = \frac{4,0 - 3,20412}{0,14613} \approx 5,5;$$

примем  $n = 6$  пропусков.

Всего число пропусков — 13. Найдем окончательно  $\mu$ .

Для первой группы

$$\mu = \sqrt[7]{\frac{32\,400}{10\,000}} = 1,18.$$

Для второй группы

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{10\,000}{1600}} = 1,36.$$

Результаты вычисления приводим в табл. 19.

Плоские калибры попарно располагаются один на другом, имея одинаковую ширину  $b_n$ .

Для каждой пары связанных калибров определяем  $b_n$  из выражения

$$b_n = h_{n-2} + \Delta B.$$

Уширение  $\Delta B$  находим из выражения

$$\Delta B = a(H - h)$$

(коэффициент  $a$  — по рис. 2).

Принимаем для первых калибров  $H - h$  близким к максимальному  $\sim 40 - 35$  мм. Так как  $h = 150$  мм, то принимаем  $a = 0,15$ . Поэтому в 1-м калибре

$$\Delta B = 0,15 \cdot 35 = 5 \text{ мм.}$$

Во 2-м калибре, где обжатие должно быть меньше, примем

$$\Delta B = 4 \text{ мм.}$$

Итак,

$$\Sigma \Delta B = 9 \text{ мм.}$$

Следовательно, ширина 1-го и 2-го калибров должна быть равна

$$B_{1,2} = 180 + 9 = 189.$$

Ширина же выходящих из калибров заготовок

$$b_1 = 180 + 5 = 185;$$

$$b_2 = 185 + 4 = 189.$$

Высота калибров и заготовок

$$h_1 = \frac{270\,000}{185} = 146 \text{ мм};$$

$$h_2 = \frac{22\,900}{189} = 121 \text{ мм (см. табл. 19).}$$

В следующей паре плоских калибров (3 и 4) принимаем уширение также 5 и 4 мм.

Ширина этой пары калибров

$$B_{3,4} = 121 + 9 = 130 \text{ мм.}$$

Ширина выходящих из калибров заготовок

$$b_3 = 121 + 5 = 126 \text{ мм};$$

$$b_4 = 126 + 4 = 130 \text{ мм.}$$

Высота калибров и заготовок

$$h_3 = \frac{19\,400}{126} = 154 \text{ мм};$$

$$h_4 = \frac{16\,400}{130} = 126 \text{ мм.}$$

В третьей паре плоских калибров (5 и 6) принимаем уширение также 5 и 4 мм. Получаем:

$$b_5 = h_4 + \Delta B_4 = 126 + 5 = 131 \text{ мм};$$

$$h_5 = \frac{13\,900}{131} = 106 \text{ мм};$$

$$b_6 = h_4 + \Sigma \Delta B = 126 + 9 = 135 \text{ мм};$$

$$h_6 = \frac{11\,800}{135} = 87 \text{ мм.}$$

Ширина этой пары калибров  $B_{5,6} = 135$  мм.

В четвертой паре калибров (7 и 8) примем уширение 5 и 6 мм ввиду того, что высота калибра меньше 100 мм и, следовательно,  $a \approx 0,2$ . Получаем:

$$b_7 = h_6 + \Delta B_6 = 87 + 5 = 92 \text{ мм};$$

$$h_7 = \frac{10\,000}{92} = 109 \text{ мм};$$

$$b_8 = 92 + 6 = 98 \text{ мм};$$

$$h_8 = \frac{7440}{98} = 76 \text{ мм.}$$



Таблица 19

Калибровка обжимного трехвалкового стана  $D = 500$  мм ( $n = 100$  об/мин)

№ калибра	Форма калибра	$Q$ мм <sup>3</sup>	$b$ мм	$h$ мм	$H-h$ мм	$\Delta B$ мм	Калибры, мм		Калибры завода С, мм		$D_0$ мм	$\alpha$ град.
							$B$	$H$	$B$	$H$		
0	Квадрат	$10\,000 \cdot 1,18^7 = 32\,400$	180	180	—	—	—	—	180	180	—	—
1	Плоский	$10\,000 \cdot 1,18^6 = 27\,000$	185	146	34	5	189	146	188	147	354	25
2	»	$10\,000 \cdot 1,18^5 = 22\,900$	189	121	25	4	189	121	188	123	379	21
3	»	$10\,000 \cdot 1,18^4 = 19\,400$	126	154	35	5	130	154	129	150	346	26
4	»	$10\,000 \cdot 1,18^3 = 16\,400$	130	126	28	4	130	126	129	125	374	22
5	»	$10\,000 \cdot 1,18^2 = 13\,900$	131	106	24	5	135	106	132	100	394	20
6	»	$10\,000 \cdot 1,18 = 11\,800$	135	87	19	4	135	87	132	78	413	18
7	»	$1600 \cdot 1,36^5 = 10\,000$	92	109	26	5	98	109	84	105	391	21
8	»	$1600 \cdot 1,36^4 = 7440$	98	76	33	6	98	76	—	—	424	23
9	Овал	$1600 \cdot 1,36^3 = 5465$	124	64	12	26	124	64	124	67	436	14
10	Квадрат	$1600 \cdot 1,36^2 = 4020$	90	90	34	26	90	90	93	93	410	23,5
		Сторона квадрата	(64)	(64)					(66)	(66)		
11	Овал	$1600 \cdot 1,36^2 = 2955$	90	45	19	26	90	45	87	45	455	47
12	Ромб	$1600 \cdot 1,36 = 2175$	76	57	33	31	76	57	73	57	433	22,5
13	Квадрат	$1600 \approx 1600$	57	57	19	—	57	57	57	57	433	17
		Сторона квадрата	(40)	(40)								

Ширина этой пары калибров  $B_{7,8} = 98$  мм.

В остальных калибрах стороны квадратов определяются из площадей их:

$$c_{10} = \sqrt{4020} = 64 \text{ мм};$$

$$c_{13} = \sqrt{1600} = 40 \text{ мм}.$$

Их диагонали

$$b_{10} = h_{10} = 64 \cdot 1,415 \approx 90 \text{ мм};$$

$$b_{13} = h_{13} = 40 \cdot 1,415 \approx 57 \text{ мм}.$$

Высота овала берется равной стороне квадрата, в который поступает овал, причем

$$b_{ов} \approx 2h_{ов}.$$

Площадь овала

$$Q_{ов} = \frac{2b_{ов}h_{ов}}{2,85},$$

поэтому

$$h_9 = 64 \text{ мм и } b_9 = \frac{2,85 \cdot 5465}{2 \cdot 64} = 124 \text{ мм};$$

$$h_{11} = 45 \text{ мм и } b_{11} = \frac{2,85 \cdot 2955}{2 \cdot 45} = 90 \text{ мм}.$$

Размеры ромба определяются из условия, что высота ромба равна ширине квадрата, в который он поступает,

$$h_{12} = b_{12} = 57 \text{ мм и } b_{12} = \frac{2 \cdot 2175}{57} = 76 \text{ мм}.$$

Из сравнения вычисленной калибровки с применяемой на заводе С видно (табл. 19), что обе калибровки сходны, но заводская проводится в 12 пропусков вместо 13.

Однако фактически дается 13 пропусков, чтобы передать заготовку на заднюю сторону стана. Следует заметить что при 100 об/мин, т. е. скорости прокатки 2,6 м/сек, угол  $\alpha = 26^\circ$  в третьем пропуске является предельным при насеченных калибрах и может вызвать задержки в работе из-за трудности захвата.

## ГЛАВА 6

## РАЗМЕЩЕНИЕ КАЛИБРОВ В СТАНАХ

Выше было упомянуто, что обжимные станы, о которых идет речь, являются по преимуществу трехвалковыми станами.

Было бы очень выгодно так калибровать ручки в трехвалковом стане, чтобы вырезы среднего вала служили для калибров нижнего и верхнего валков. Если бы расположенные в валках один над другим калибры были тождественными, это не представляло бы затруднений. Но такое дублирование калибров совершенно бесполезно, необходимо делать их различными.

В калибровке ромбов в трех валках каждый калибр среднего вала соответствует только калибру нижнего или верхнего вала, вследствие чего под каждым верхним рабочим калибром и над каждым нижним рабочим калибром получается так называемый холостой или пустой калибр, представляющий собой углубление между соседними ребрами, не предназначенное для работы.

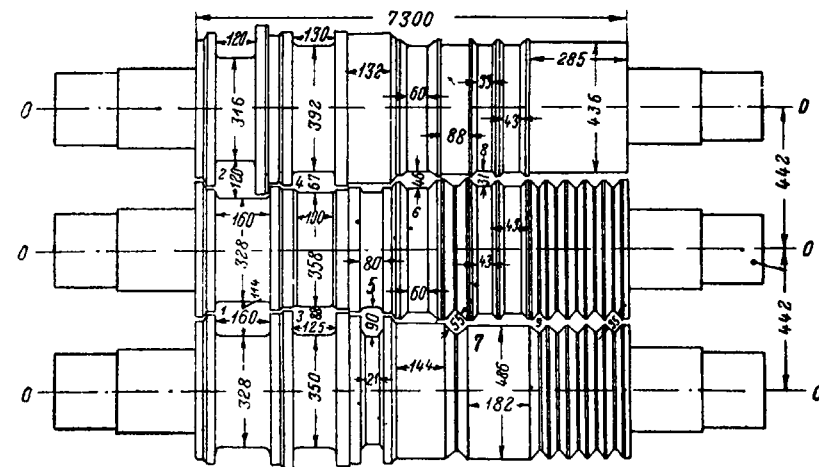
При таком устройстве калибров использование валков менее совершенно. Для одного и того же числа калибров требуется вдвое большее число валков.

Выше было упомянуто, что в обжимных валках применяются, кроме стрельчатых и ромбических, также плоские ручки. Мы уже познакомились с формой этих ручьев, когда рассматривали ручки блюминга.

Теперь рассмотрим их конструкцию для рационального использования валков трехвалковых станов.

Плоские ручки предшествуют стрельчатым или ромбическим, когда диаметр вала уже не позволяет применять последние. Иногда после плоских ручьев следуют чередующиеся ручки, овальные и квадратные, способствующие в своем чередовании, как было выяснено выше, быстрой вытяжке. На рис. 29 представлено расположение плоских, овальных и квадратных ручьев в обжимном трехвалковом стане. Калибры 1, 2, 3 и 4 представляют образец того, как могут быть использованы вырезы среднего вала для проектирования лежащих на одной вертикали калибров. Ручьи системы квадрат — овал не дают возможности использовать вырезы среднего вала для обоих калибров, поэтому

они, как видно из рис. 29, располагаются в шахматном порядке. Валки заключаются рядом тождественных квадратных калибров, являющихся выпускными для стана, а потому, как требующие сохранения строгих размеров, представлены на случай



№ калибра	Размеры, мм	№ калибра	Размеры, мм
1	160×114	6	111×(40×53)
2	120×120	7	55×55
3	125×88	8	75×31
4	130×67	9	35×35
5	71×90		

Рис. 29. Расположение и размеры калибров в обжимном трехвалковом стане

выработки их в нескольких экземплярах. Часто здесь ставят несколько ромбов в шахматном порядке, чтобы можно было выпускать несколько размеров. Калибровка обжимных станов, описанная выше, применима в одинаковой мере к обжимным станам двухвалковым с постоянным направлением валков, например непрерывным, зигзагообразным и др.

### 1. Средняя линия прокатки и линия валков

Следует сказать несколько слов о положении калибров в валках.

Средним диаметром стана  $D_m$  будем называть расстояние между осями соседней пары валков. Горизонтальную линию, делящую это расстояние пополам, будем называть средней линией валков  $AB$  (рис. 30). Горизонтальную



Под теоретической глубиной ручья  $h$  понимается глубина ручья от линии прокатки. Фактическая глубина ручья определяется глубиной ручьевого выреза в теле вала или высотой реборд.

Если калибр представляет собой фигуру, центр тяжести которой помещается на пересечении осей симметрии его, как, например, в квадрате, ромбе, прямоугольнике или круге, то линия прокатки проходит через центр тяжести калибра (верхнего и нижнего ручья), находящийся на одинаковом расстоянии от линии прокатки. В этом случае  $h_v = h_n$ , ручьи нижнего и верхнего валков совершенно тождественны, если реборды их имеют одинаковую высоту (рис. 30).

Рис. 31. Калибр с верхним ручьем без реборды (верхний ручей отсутствует)

При  $h_v = h_n$  и равенстве высоты реборд теоретическая глубина ручьев равна действительной плюс половина зазора  $\frac{s}{2}$ .

Независимо от того, имеет или не имеет место равенство  $h_v = h_n$ , высота реборд может быть одинакова или неодинакова.

Реборды одного ручья при этом могут быть равны нулю (рис. 31) или быть отрицательными.

#### 4. Правила вычерчивания калибров и ручьев в валках

Вычерчивание калибров в валках трехвалковых станков должно производиться в следующем порядке:

1) при заданных  $D_m$ ,  $h$  и  $m$ <sup>1</sup> наносится средняя линия валков  $AB$  (рис. 30);

2) наносится линия прокатки  $CD$  в расстоянии  $\frac{1}{4} m$  от линии  $AB$ ;

3) находится нейтральная линия калибра (линия центра тяжести), которая совмещается с линией прокатки, и в отношении к ней строится калибр;

4) на основании сделанного определяются рабочие диаметры верхнего и нижнего валков  $D_{ов}$  и  $D_{он}$  и проверяется равенство

$$\frac{D_{ов}}{2} + \frac{D_{он}}{2} + h = D_m;$$

5) наносятся реборды, т. е. фактическая глубина ручьев.

**Пример 1** (рис. 30). Дано  $D_m = 700$  мм,  $h = 120$  мм и  $m = +10$  мм.

<sup>1</sup> Для разных ручьев  $m$  может быть разное даже в одном и том же стане.

Наносим линию прокатки  $CD$  ниже  $AB$  на  $\frac{10}{4} = 2,5$  мм.

Нейтральная линия совпадает с центром тяжести прямоугольного калибра в точке  $O$  и с линией прокатки  $CD$ .

Находим

$$D_v = D_m + \frac{10}{2} = 705 \text{ мм}; \quad R_v = 352,5 \text{ мм}$$

и

$$D_n = D_m - \frac{10}{2} = 700 - \frac{10}{2} = 695 \text{ мм}; \quad R_n = 347,5 \text{ мм}.$$

Наносим положение осей верхнего и нижнего валков на расстоянии  $R_v$  и  $R_n$  от линии прокатки.

Вычерчиваем реборды, выбирая зазор  $s = 10$  мм.

Находим

$$D_{ов} = D_v - h = 705 - 120 = 585 \text{ мм},$$

$$D_{он} = D_n - h = 695 - 120 = 575 \text{ мм}.$$

**Пример 2.** Дано  $D_{ов} = 605$  мм,  $D_{он} = 595$  мм,  $h = 100$  мм. Определяем  $m$ ,  $D_v$ ,  $D_n$ ,  $D_m$ .

$$m = 605 - 595 = 10 \text{ мм};$$

$$D_v = D_{ов} + h = 605 + 100 = 705 \text{ мм};$$

$$D_n = D_{он} + h = 595 + 100 = 695 \text{ мм};$$

$$D_m = (D_{ов} + D_{он}) \cdot \frac{1}{2} + h = \frac{605 + 595}{2} + 100 = 700 \text{ мм}$$

или

$$\frac{D_v + D_n}{2} = \frac{705 + 695}{2} = 700 \text{ мм}.$$

Вычерчивание валков трехвалковых станков должно удовлетворять следующим условиям. Наносятся диаметры валков  $D_v$ ,  $D_c$  и  $D_n$ , определяющие положение линий прокатки (рис. 32) и величину верхнего (нижнего) давления, если действующие калибры располагаются в шахматном порядке (например  $h_1, h_2$ ), т. е. вертикально расположенные калибры не связаны друг с другом и тождественны. Если же расположенные один над другим калибры используются как действующие, т. е. связанные, то центр тяжести одного из этих двух калибров не может совпасть с намеченной линией прокатки.

Обычно в трехвалковых станах с несвязанными калибрами верхний валок по отношению к среднему имеет верхнее давление, которое обозначим через  $m$ , и средний по отношению к ниж-

жнему также имеет верхнее давление той же величины  $m$ , а иногда иной величины —  $n$ .

Обозначим для верхней пары валков средний диаметр через  $\frac{D_n + D_c}{2} = D_m$ , а для нижней пары — через  $\frac{D_c + D_n}{2} = D_n$ , тогда

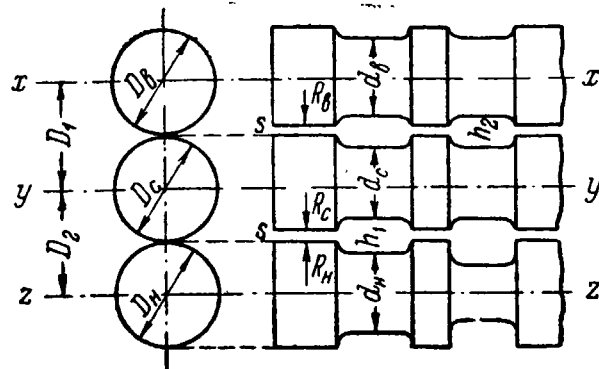


Рис. 32. Порядок вычерчивания валков трехвалкового стана

диаметры верхнего, среднего и нижнего валков выразятся следующим образом:

$$D_v = D_1 + \frac{m}{2}; \quad (20)$$

$$D_c = D_1 - \frac{m}{2}; \quad (21)$$

$$D_n = D_2 - \frac{m}{2} \quad \text{или} \quad D_n = D_2 - \frac{n}{2}. \quad (22)$$

Обозначив рабочие диаметры соответственно через  $d_v$ ,  $d_c$  и  $d_n$ , можем написать для каждого вертикального ряда тождественных калибров следующие выражения:

$$\begin{aligned} \text{1-й ряд} \begin{cases} d_v = D_v - h_1 \\ d_c = D_c - h_1 \\ d_n = D_n - h_1 \end{cases} \quad \text{2-й ряд} \begin{cases} d_v = D_v - h_2 \\ d_c = D_c - h_2 \\ d_n = D_n - h_2 \end{cases} \end{aligned}$$

Иначе обстоит дело в том случае, когда вертикально расположенные калибры не тождественны, но являются действующими, и, следовательно, по конструкции связанными друг с другом.

Расположение действующих калибров одного над другим (сопряженные калибры) выгоднее с точки зрения использования полотна валков, но неизбежно влечет за собой большие неправильности в отношении верхнего (нижнего) давления

в калибрах и, следовательно, может вызывать значительные напряжения при чрезмерных давлениях.

Определим верхнее давление в сопряженных калибрах трехвалковой клетки 490/500/510, т. е.  $D_n = 490$  мм,  $D_c = 500$  мм,  $D_v = 510$  мм.

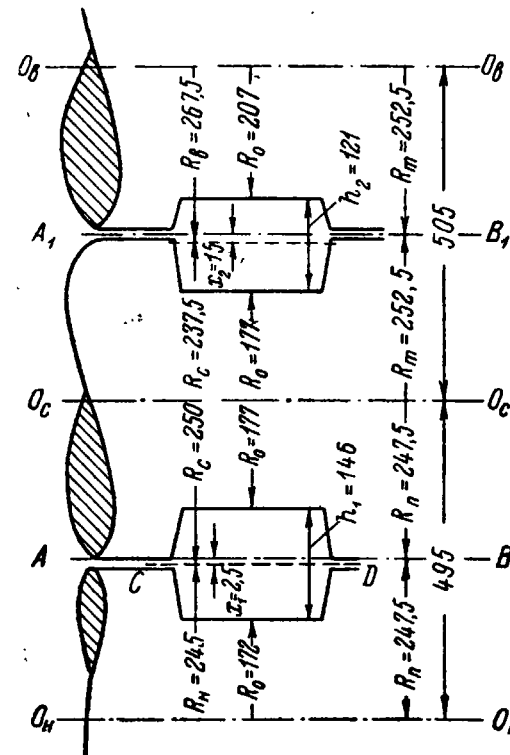


Рис. 33. Определение верхнего давления в сопряженных калибрах трехвалкового стана

Рассмотрим случай проделанной выше калибровки:  $180 \times 180$  мм на  $40 \times 40$  мм (табл. 19). Будем вести расчет в общем виде и на примере. В установке валков основным является расстояние между осями валков  $D_n$  и  $D_m$ .

Расстояние между осями нижнего и среднего валков

$$D_n = \frac{D_n + D_c}{2} = \frac{490 + 500}{2} = 495 \text{ мм (рис. 33).}$$

Расстояние между осями среднего и верхнего валков

$$D_m = \frac{D_c + D_v}{2} = \frac{500 + 510}{2} = 505 \text{ мм.}$$

Соответствующие средние радиусы

$$R_n = 247,5 \text{ мм};$$

$$R_m = 252,5 \text{ мм}.$$

Эти радиусы определяют положение средних линий валков  $CD$ , т. е. линий, отвечающих одинаковым скоростям на паре валков.

Выберем в нижнем калибре 1 верхнее давление  $n = 10 \text{ мм}$ .

Линия прокатки, т. е. центр тяжести калибра, помещается ниже средней линии валков на

$$x_1 = \frac{n}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ мм}.$$

Отсюда радиус нижнего и среднего валков

$$R_n = R_n - x_1 = 247,5 - 2,5 = 245 \text{ мм};$$

$$R_c = R_n + x_1 = 247,5 + 2,5 = 250 \text{ мм}.$$

Рабочий или катающий радиус нижнего валка

$$R_{он} = R_n - \frac{h_1}{2} = 245 - 73 = 172 \text{ мм}.$$

Рабочий или катающий радиус среднего валка

$$R_{ос} = R_c - \frac{h_1}{2} = 250 - 73 = 177 \text{ мм}.$$

Проверяем:

$$m = 2(R_c - R_n) = 2(250 - 245) = 10 \text{ мм};$$

$$m = 2(R_{ос} - R_{он}) = 2(177 - 172) = 10 \text{ мм};$$

$$D_n = R_{он} + h_1 + R_{ос} = 172 + 146 + 177 = 495 \text{ мм}.$$

В верхнем калибре верхнее давление определяется положением центра тяжести калибра, обусловливаемым уже готовым ручьем среднего валка.

$$R_c = R_{ос} + \frac{h_2}{2} = 177 + 60,5 = 237,5 \text{ мм};$$

$$R_b = D_m - R_c = 505 - 237,5 = 267,5 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$m = 2(R_b - R_c) = 2(267,5 - 237,5) = 60 \text{ мм},$$

а так как

$$R_b = R_m + x_2,$$

то

$$x_2 = R_b - R_m = 267,5 - 252,5 = 15 \text{ мм};$$

$$m = 4 \cdot 15 = 60 \text{ мм}.$$

Итак, во 2-м калибре верхнее давление равно 60 мм, в то время как в 1-м калибре оно равно 10 мм.

При данной установке валков, т. е.  $D_m = 505 \text{ мм}$  и  $D_n = 495 \text{ мм}$ , изменить верхнее давление в верхнем (2) калибре можно только за счет изменения верхнего давления в нижнем (1) калибре, так как положение средних линий валков не изменяется.

Насколько увеличим верхнее давление в нижнем калибре, настолько уменьшится верхнее давление в верхнем калибре.

Перемещение центра тяжести калибров изменяет  $x_1$  и  $x_2$  (рис. 33), но сумма  $x_1$  и  $x_2$  остается постоянной

$$x_1 + x_2 = \text{const}.$$

В данном случае

$$x_1 + x_2 = 2,5 + 15 = 17,5 \text{ мм}.$$

Очевидно, если поместить центр тяжести 1-го калибра ниже средней линии валков на  $\frac{17,5}{2} = 8,75 \text{ мм} = x_1$ , то  $x_2$  тоже будет 8,75 мм.

Следовательно, верхнее давление в общих калибрах будет одинаково и равно  $m = 4 \cdot 8,75 = 35 \text{ мм}$ . Действительно, для 1-го калибра

$$R_{ос} = 177 + (8,75 - 2,5) = 183,25 \text{ мм};$$

$$R_{он} = 172 - (8,75 - 2,5) = 165,75 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$m = 2(183,25 - 165,75) = 35 \text{ мм}.$$

Для 2-го калибра

$$R_{ов} = 207 - (8,75 - 2,5) = 200,75 \text{ мм};$$

$$R_{ос} = 177 + (8,75 - 2,5) = 183,25 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$m = 2(200,75 - 183,25) = 35 \text{ мм}.$$

Выведем формулу для определения верхнего давления в сопряженных калибрах трехвалкового стана в зависимости от разности высот калибров  $\Delta H$  при условии одинаковой разности диаметров:

$$D_b - D_c = D_c - D_n.$$

Если  $h_1 = h_2$ , то

$$x_1 = x_2 \text{ и } m_1 = m_2.$$

Если же  $h_1 > h_2$ , то

$$h_1 - h_2 = \Delta H;$$

тогда

$$x_2 = x_1 + \frac{\Delta H}{2}.$$

При этом центр тяжести смещается на

$$\frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} = \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{\Delta H}{2}.$$

Итак, выбирая  $x_1$  или  $m_1 = 4 x_1$ , находим  $x_2$  или  $m_2 = 4 x_2$ .

Найдем  $m_1$  и  $m_2$  для всех сопряженных калибров рассматриваемого стана (табл. 20).

Таблица 20

Определение «давления» в сопряженных калибрах.

№ калибра	$m_1$ мм	$x_1$ мм	$\Delta H$ мм	$x_2$ мм	$m_2$ мм	Выравненные, мм	
						$m$	$x$
1	10	2,5	—	—	—	35	8,75
2	10	2,5	25	15	60	35	8,75
3	10	2,5	—	—	—	37	9,25
4	10	2,5	28	16	64	37	9,25
5	10	2,5	—	—	—	29	7,25
6	10	2,5	10	12	48	29	7,25
7	10	2,5	—	—	—	43	10,75
8	10	2,5	33	19	76	43	10,75

Калибровка трехвалковых станов в сопряженных калибрах обычно сопровождается верхним давлением. Для того чтобы уменьшить напряжения и трение металла о стенки калибров, следует стремиться к равномерному распределению верхнего давления между верхним и нижним калибрами.

Что касается несвязанных калибров, то верхнее давление в них может выбираться произвольно. Можно, например, принять во всех этих калибрах в данной клетке  $m = 10$  мм. Следовательно, линия прокатки для всех калибров пройдет ниже средней линии валков на  $x = 2,5$  мм.

Для примера найдем верхнее давление в калибрах трехвалковой клетки (рис. 29). На рисунке имеем  $D_m = 442$  мм и  $D_n = 442$  мм.

Проверим правильность чертежа для первых четырех калибров, связанных друг с другом в вертикальных рядах.

Первый вертикальный ряд:  $D_{ов} = 316$  мм,  $D_{ос} = 328$  мм,  $D_{он} = 328$  мм,  $h_1 = 114$  мм,  $h_2 = 120$  мм. Тогда имеем тождества:

$$\frac{D_{ов}}{2} + \frac{D_{ос}}{2} + h_2 = D_m; \quad \frac{316}{2} + \frac{328}{2} + 120 = 442 \text{ мм};$$

$$\frac{D_{ос}}{2} + \frac{D_{он}}{2} + h_1 = D_n; \quad \frac{328}{2} + \frac{328}{2} + 114 = 442 \text{ мм}.$$

Следовательно, чертеж первого ряда верен.

Второй вертикальный ряд также даст тождество:

$$\frac{392}{2} + \frac{358}{2} + 67 = 442 \text{ мм};$$

$$\frac{358}{2} + \frac{350}{2} + 88 = 442 \text{ мм}.$$

Следовательно, и второй вертикальный ряд вычерчен верно.

Определим давление для верхних и нижних калибров этих рядов.

Линии прокатки проходят через центры тяжести калибров, т. е. через середины их высот. Поэтому для 1-го калибра:

$$D_c = D_{ос} + h_1 = 328 + 114 = 442 \text{ мм};$$

$$D_n = D_{он} + h_1 = 328 + 114 = 442 \text{ мм},$$

т. е. нижнее давление отсутствует.

Для 2-го калибра имеем:

$$D_b = 316 + 120 = 436 \text{ мм};$$

$$D_c = 328 + 120 = 448 \text{ мм}.$$

Отсюда  $m = 436 - 448 = -12$  мм, т. е. нижнее давление

Для 3-го калибра имеем:

$$D_c = 358 + 88 = 446 \text{ мм};$$

$$D_b = 350 + 88 = 438 \text{ мм}.$$

Отсюда  $n = 446 - 438 = 8$  мм, т. е. верхнее давление.

Для 4-го калибра имеем:

$$D_b = 392 + 67 = 459 \text{ мм};$$

$$D_c = 358 + 67 = 425 \text{ мм}.$$

Отсюда  $m = 459 - 425 = 34$  мм, т. е. верхнее давление.

Этот пример показывает, как неравномерно распределяется давление в связанных калибрах.

В том же чертеже (рис. 29) в несвязанных калибрах (5—9) можно выдержать произвольное давление. Например, выберем всюду верхнее давление, равное 4 мм. Тогда имеем: в 5-м калибре

$$D_c = D_m + \frac{m}{2} = 442 + 2 = 444 \text{ мм};$$

$$D_n = D_m - \frac{m}{2} = 442 - 2 = 440 \text{ мм}$$

и

$$D_{oc} = D_c - h_5 = 444 - 90 = 354 \text{ мм};$$

$$D_{on} = D_n - h_5 = 440 - 90 = 350 \text{ мм};$$

в 6-м калибре

$$D_v = D_m + \frac{m}{2} = 442 + 2 = 444 \text{ мм};$$

$$D_c = D_m - \frac{m}{2} = 442 - 2 = 440 \text{ мм};$$

$$D_{ov} = D_v - h_6 = 444 - 46 = 398 \text{ мм};$$

$$D_{oc} = D_c - h_6 = 444 - 46 = 398 \text{ и т. д.}$$

Как указывает В. А. Писанко [42], опытом работы валков с минимальными величинами верхнего давления доказано, что разность диаметров порядка 10—15 мм вполне достаточна для хорошей работы обжимного трехвалкового стана. Большие величины верхнего давления вредно отражаются на работе стана.

Писанко предложил следующий способ определения расстояний между валками обжимного трехвалкового стана:

$$k = H - h - \frac{m}{2},$$

где  $k$  — разность между расстояниями осей верхней пары ( $a$ ) и нижней пары ( $b$ ),

$m$  — величина верхнего давления.

Выбор абсолютных значений  $a$  и  $b$  имеет большое значение в смысле влияния на величину перекаса шпинделей.

Величина  $a$  никогда не должна быть меньше расстояния между осями шестерен  $D_{ш}$ , так как при переточках валков расстояние будет уменьшаться, а перекасы шпинделей увеличиваться.

Для того, чтобы создать верхнему и нижнему трем одинаковые условия работы, надо, чтобы наклон нижнего шпинделя при новых валках был равен наклону верхнего шпинделя после последней переточки изношенных валков.

Исходя из этого условия, Писанко вывел формулы для определения величин  $a$  и  $b$ :

$$a = D + \frac{n - k}{2}; \quad (23)$$

$$b = D + \frac{n + k}{2}, \quad (24)$$

где  $n$  — максимальное уменьшение диаметра валков в результате всех переточек. С помощью этих уравнений весьма просто определить оптимальные расстояния между осями верхнего и среднего валков ( $a$ ) и между осями среднего и нижнего валков ( $b$ ), в соответствии с принятой величиной верхнего давления.

Согласно решению совещания по калибровке [36], при прокатке качественных сталей разница в рабочих диаметрах валков в ящичных калибрах по возможности должна быть не более 2—3% от среднего диаметра валка, а разница в диаметрах валков в вытяжных калибрах не должна превышать 1% от среднего диаметра валка.

Чтобы лучше использовать всю тройку валков, глубина вреза калибров в нижнем валке должна быть не менее  $\frac{2}{3}$  общей высоты калибра, вследствие чего глубина врезов среднего валка будет меньше не только нижнего, но и верхнего валков.

Наклон боковых стенок калибров (выпуск) в нижнем валке следует брать в 10—15% от глубины вреза.

Ширину калибра у основания нижнего валка следует брать равной высоте предыдущего калибра верхнего валка.

Ширину ручья у основания среднего валка для облегчения настройки следует брать на 2—3 мм большей, чем у нижнего валка.

Ширину ручья у основания верхнего валка следует брать на 2—3 мм больше ширины ручья среднего валка.

Абсолютная величина выпуска должна быть одинаковой для ручьев нижнего, среднего и верхнего калибров.

Выпуклое основание калибра следует применять при коэффициентах вытяжки более 1,13. При меньшей величине вытяжки, а также в выпускающих заготовку ящичных калибрах основание должно быть плоским.

Радиусы закруглений буртов рекомендуется брать на 5 мм меньше, чем радиусы закругления углов калибра [36].

Помимо указанной выше роли сопряжения калибров в трехвалковых станах, имеет значение также и расположение калибров по длине бочки валка.

М. С. Юдович [43] приводит данные, показывающие, что производительность стана может быть повышена, если вместо



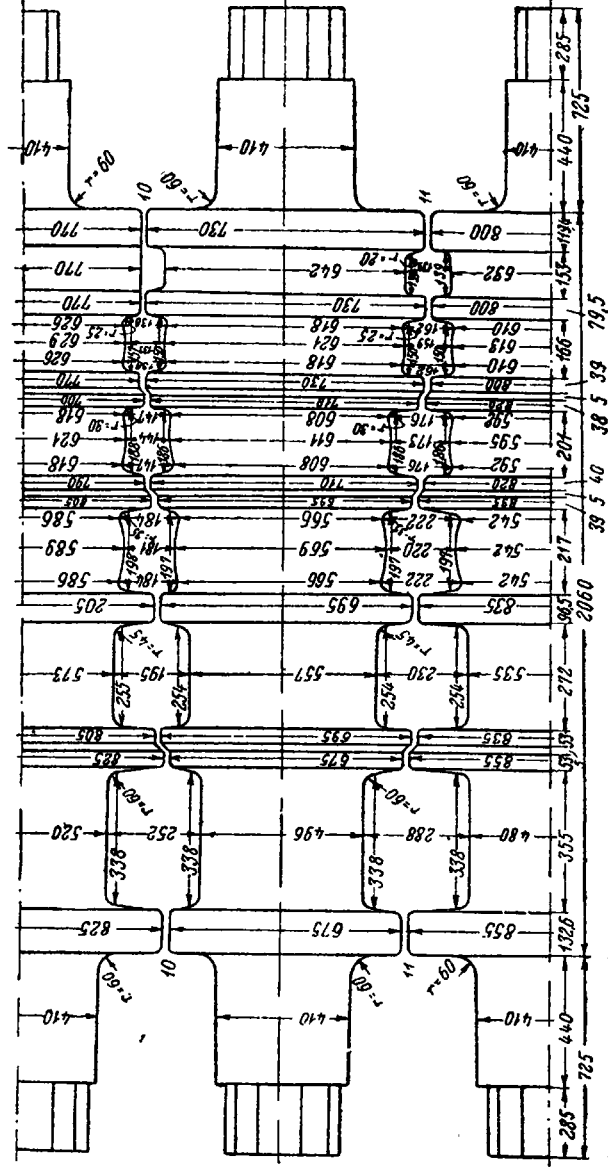


Рис. 34. Старая калибровка стана  $D = 750$  мм

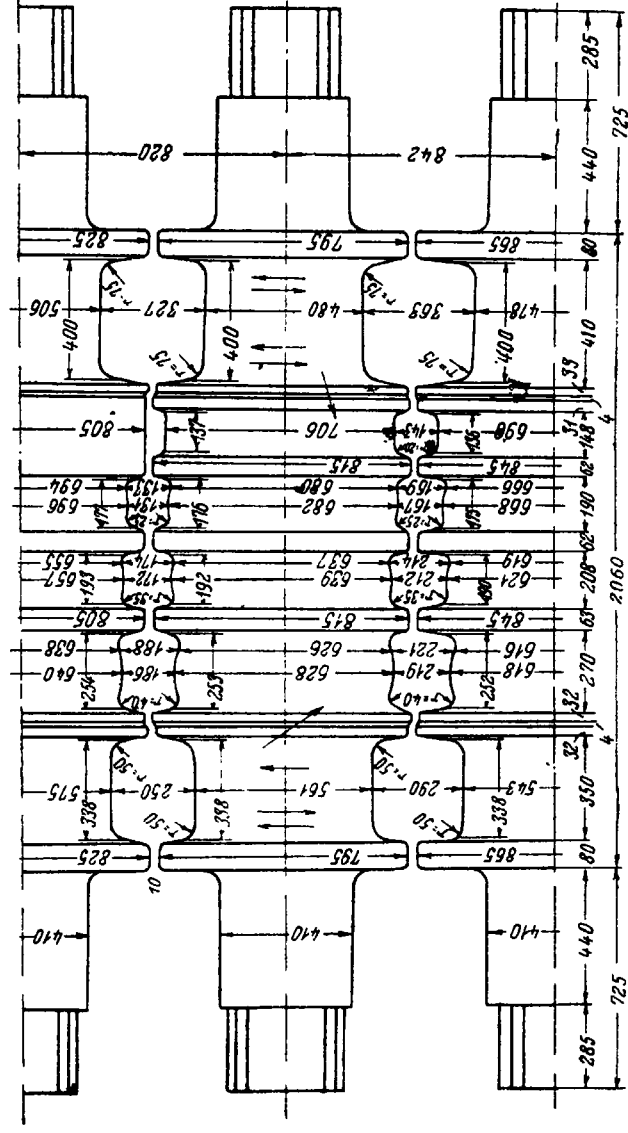


Рис. 35. Новая калибровка стана  $D = 750$  мм

Таблица 21

Расчет старой калибровки валков первой клетки стана  $D = 750$  мм  
(вес слитка — 850 кг,  $n = 45$  об/мин)

№ калибра	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Поперечное сечение раската $Q$ мм × мм	$H-h$ мм	$\frac{H-h}{H} 100$ %	$\mu$	$D_0$ мм	$\alpha$	Длина раската $L$ , м	Время, сек.	
									пропуска	паузы
									$\tau$	$\tau_0$
0	—	340×340	—	—	—	—	—	1,35	—	6,0
1	97 100	340×288	52	15,3	1,04	488	26°45'	1,38	1,19	4,5
2	85 800	343×252	36	12,5	1,05	508	21°40'	1,45	1,22	3,0
3	73 200	288×267	55	15,8	1,07	488	27°37'	1,64	1,43	4,5
4	65 100	252×232	36	12,5	1,10	508	21°40'	1,81	1,52	3,0
5	58 300	257×230	32	11,9	1,12	546	19°45'	2,02	1,57	4,5
6	50 200	232×195	35	15,2	1,15	565	20°15'	2,33	1,75	3,0
7	43 600	221×200	41	15,4	1,16	555	20°10'	2,70	2,06	4,5
8	36 700	182×204	39	17,6	1,18	578	21°15'	3,18	2,34	3,0
9	32 000	186×174	30	14,3	1,14	602	17°52'	3,62	2,54	4,5
10	27 200	190×145	29	16,7	1,17	615	17°40'	4,43	3,08	3,0
11	23 700	160×150	30	15,7	1,14	616	18°00'	4,82	3,33	4,5
12	20 700	137×153	23	16,8	1,14	623	15°50'	5,50	3,72	3,0
13	19 200	140×139	14	9,5	1,06	637	12°00'	5,82	3,90	—

Таблица 22

Расчет новой калибровки валков первой клетки стана  $D = 750$  мм  
(вес слитка — 1390 кг,  $n = 45$  об/мин)

№ пропуска	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Поперечное сечение раската $Q$ мм × мм	$H-h$ мм	$\frac{H-h}{H} 100$ %	$\mu$	$D_0$ мм	$\alpha$	Длина раската $L$ , м	Время, сек.	
									пропуска	паузы
									$\tau$	$\tau_0$
0	—	400×400	—	—	—	—	—	1,40	—	5,0
1	141 560	400×363	37	9,0	1,025	480	22°36'	1,43	1,27	3,0
2	127 860	400×327	36	10,1	1,045	493	22°05'	1,49	1,28	4,5
3	118 900	330×363	37	9,0	1,040	480	22°36'	1,55	1,38	3,0
4	107 500	333×327	36	10,1	1,070	493	22°05'	1,66	1,43	10,0
5	95 230	331×292	41	12,3	1,128	550	22°15'	1,87	1,44	3,0
6	83 000	335×252	40	13,7	1,147	568	21°40'	2,15	1,62	4,5
7	74 100	256×292	43	12,8	1,119	550	22°48'	2,40	1,85	3,0
8	64 800	260×252	40	13,7	1,141	568	21°40'	2,74	1,98	4,0
9	55 700	255×224	36	13,8	1,163	618	19°40'	3,19	2,25	3,0
10	47 600	258×190	34	15,2	1,167	630	18°55'	3,72	2,52	4,0
11	40 300	194×213	45	17,4	1,180	629	21°48'	4,39	3,12	3,0
12	33 800	198×173	40	18,7	1,208	647	20°14'	5,32	3,55	4,0
13	28 000	176×163	35	17,6	1,207	679	17°56'	6,40	4,02	3,0
14	23 200	178×133	30	18,1	1,205	687	17°00'	7,70	4,70	4,0
15	19 200	136×146	32	19,1	1,205	696	17°56'	9,26	5,55	3,0

расположения калибров в порядке уменьшения их размеров в одном направлении (рис. 34) расположить наибольшие калибры по краям (рис. 35).

Показанное на рис. 35 изменение расположения калибров дает следующие преимущества:

1) изгибающий момент, возникающий при прокатке в третьем калибре, понижается, так как плечо действия силы давления металла на валок значительно уменьшается вследствие переноса калибра к шейке валка;

2) вследствие размещения двух первых калибров на краю бочки валков величина напряжений в опасных сечениях этих калибров не зависит от изгибающих моментов при прокатке в третьем и четвертом калибрах и определяется только обжатием, принятым в первых пропусках;

3) путем подбора величины катающих диаметров первых двух калибров в соответствии с эпюрой изгибающих моментов и регулированием обжатия в первых двух калибрах оказывается возможным увеличить сечение и вес прокатываемого слитка;

4) напряжения в опасных сечениях валков уменьшаются;

5) в связи с существенным увеличением сечения слитка оказывается возможным улучшить и структуру слитка за счет изменения отношения высоты к толщине и конусности.

Некоторая потеря времени на передвижение раската манипулятором от второго калибра к третьему, расположенному на противоположном конце бочки, оказывается несущественной.

Задача следующего слитка в первый калибр после выхода раската из валков не встречает затруднений, так как линейки манипулятора могут быть передвинуты немедленно вслед за последним пропуском, выпускающим полосу на заднюю сторону стана.

Калибровка валков при старом и новом расположении калибров приведена в табл. 21 и 22.

Необходимо отметить, что при переводе стана на прокатку слитков увеличенного веса следует тщательно проверять прочность не только валков, но и станин, нажимных винтов и других основных узлов стана, а также пропускную способность и взаимодействие вспомогательного оборудования.

## ГЛАВА 7

## КАЛИБРОВКА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ

Мы рассмотрели производство заготовки в двухвалковых станах реверсивных (блюмингах) и в трехвалковых станах обжимных. Остается рассмотреть производство заготовки в непрерывных двухвалковых станах, так называемых непрерывных заготовочных. Непрерывные заготовочные станы устанавливаются или непосредственно за блюмингом или непосредственно перед сортовым или проволочным станом.

В первом случае выходящий из блюминга блюмс еще достаточно горяч, поэтому можно вести дальнейшую прокатку его в непрерывном стане без подогрева. Во втором случае перед станом устанавливается печь для нагрева слитков или холодных блюмсов, причем выходящая из непрерывного стана полоса достаточно горяча, чтобы прокатываться в сортовом стане без подогрева. Наконец, в третьем случае непрерывный стан устанавливается непосредственно за блюмингом для получения заготовки; для дальнейшей прокатки заготовки перед сортовым станом устанавливается еще один обжимной стан.

Установка непрерывного заготовочного стана непосредственно за блюмингом позволяет повысить производительность блюминга до максимума и выпускать из него блюмс большего сечения, например  $200 \times 200$  мм, предоставляя дальнейшую деформацию (вплоть до сечения  $100 \times 100$  мм и даже  $38 \times 38$  мм) непрерывному заготовочному стану.

Непрерывный заготовочный стан должен успеть пропустить без подогрева весь прокатанный в блюминге металл, иногда за исключением некоторой его части, непосредственно из блюминга направляемой на склад крупной заготовки.

Непрерывный заготовочный стан обыкновенно состоит или из одной группы в 6 клетей, или из одной группы в 8—10 клетей, или, наконец, из двух групп в общей сложности в 10—12 клетей (6 + 6 или 6 + 4 клетей).

Выбор системы непрерывного заготовочного стана зависит от программы прокатки заготовки, т. е. от выпускаемых сечений заготовки и требуемой производительности блюминга.

Непрерывные станы могут быть разделены на два основных класса:

1) станы с жесткой кинематической связью валков отдельных клетей, обслуживаемых одним общим двигателем, в частности

именно такие, в которых прокатываемая полоса находится одновременно в нескольких клетях;

2) все прочие станы непрерывной прокатки, т. е. станы, в которых полоса или не находится одновременно в нескольких клетях или если и находится, то число оборотов валков каждой клетки регулируется путем установки индивидуальных регулируемых двигателей.

Первый класс станов требует установления точной зависимости калибровки от числа оборотов и катающего диаметра валков каждой клетки.

Второй класс станов позволяет ограничиться приближенной зависимостью отмеченных выше факторов. Если полоса находится в нескольких клетях с регулируемым числом оборотов валков, то петли или растяжение металла между клетями уничтожаются соответствующим регулированием числа оборотов валков. Если же полоса не находится одновременно в нескольких клетях, то ни петля, ни растяжения нет — поэтому определение скоростей валков отдельных клетей сводится к устранению узких мест процесса прокатки. Следовательно, необходимо заняться изучением основ расчета главным образом первого класса непрерывных станов.

Литература по этому вопросу крайне бедна, поэтому нами<sup>1</sup> разработан метод калибровки в зависимости от угловых скоростей валков непрерывных станов.

Основное правило непрерывности всякого прокатного процесса заключается в том, что количество металла, проходящего в каждый данный момент через любую точку пути металла, должно быть одно и то же от начала и до конца прокатки. Несоблюдение этого правила в процессе периодической прокатки создает узкие места, что заставляет искусственно укорачивать или удлинять паузы между пропусками, и влечет за собой образование петли или растяжение металла, поскольку полоса находится одновременно в нескольких клетях. Образование петли между клетями в непрерывных станах с жестким соотношением угловых скоростей в них расстраивает, а иногда и вовсе делает работу невозможной. При натяжении полосы возникают большие дополнительные напряжения в механизмах стана и, кроме того, искажается профиль прокатываемого металла. Поэтому в процессе непрерывной прокатки особенно важно точно соблюдать рассматриваемое правило.

Правило постоянства секундных объемов металла во всех точках его пути в каждый данный момент представляется следующим общим выражением:

$$q_c = \text{const}; \quad (25)$$

<sup>1</sup> А. П. Виноградовым.

здесь  $q$  — сечение полосы в данной точке пути металла и  $c$  — скорость ее в той же точке.

Обозначая сечение полосы в разных точках пути в один и тот же момент времени через  $q_1, q_2, \dots, q_n$  и скорости металла в тех же точках соответственно через  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ , очевидно, можем написать из выражения (25):

$$q_1 c_1 = q_2 c_2 = q_3 c_3 = \dots q_n c_n. \quad (26)$$

Порядок обозначений будем располагать от конца к началу прокатки.

Скорость  $c_1$  металла, выходящего из выпускной клетки, определяет собою теоретическую производительность стана, поэтому ее обычно задаются.

Будем различать скорость металла  $c$  и окружную скорость валков  $v$  в калибре.

Из теории прокатки известно, что скорость металла, выходящего из валков, несколько больше окружной скорости этих валков, определяемой по катающему диаметру их, и что скорость

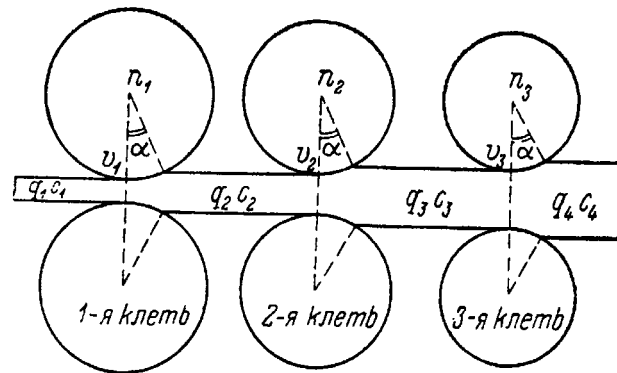


Рис. 36. Схема непрерывной прокатки

металла, входящего в те же валки, меньше их окружной скорости.

В применении к непрерывному стану (рис. 36) можно написать:

$$c_1 > v_1 > c_2 > v_2 > c_3 > v_3 > c_4 > \dots c_n > v_n.$$

Разница в этих скоростях определяется наличием опережения и скольжения металла в валках. Если обозначить коэффициент опережения  $\frac{c_n}{v_n}$  через  $S_n$  и коэффициент скольжения  $\frac{c_{n+1}}{v_n}$  через  $S'_n$ ,

то можно написать следующий ряд для непрерывного стана:

$$\begin{aligned} c_1 &= v_1 S_1, \\ c_2 &= v_2 S_2 = v_1 S'_1, \\ c_3 &= v_3 S_3 = v_2 S'_2 \text{ и т. д.} \\ &\dots \\ c_n &= v_n S_n = v_{n-1} S'_{n-1}, \\ c_{n+1} &= v_{n+1} S_{n+1} = v_n S'_n, \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} \frac{c_2}{c_1} &= \frac{q_1}{q_2} = \frac{v_2 S_2}{v_1 S_1}, \\ \frac{c_3}{c_2} &= \frac{q_2}{q_3} = \frac{v_3 S_3}{v_2 S_2}, \\ &\dots \\ \frac{c_n}{c_{n-1}} &= \frac{q_{n-1}}{q_n} = \frac{v_n S_n}{v_{n-1} S_{n-1}}, \end{aligned}$$

где  $q$  — площадь калибров.

Отсюда получаем для окружных скоростей в калибрах ряд:

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{S_1}{S_2}, \\ v_3 &= v_2 \frac{q_2}{q_3} \cdot \frac{S_2}{S_3} = v_1 \frac{q_1}{q_3} \cdot \frac{S_1}{S_3}, \\ v_4 &= v_3 \frac{q_3}{q_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} = v_1 \frac{q_1}{q_4} \cdot \frac{S_1}{S_4}, \\ &\dots \\ v_n &= v_1 \frac{q_1}{q_n} \cdot \frac{S_1}{S_n}. \end{aligned} \quad (27)$$

Формула (27) устанавливает искомую связь между калибровкой и окружной скоростью валков в калибрах через коэффициент опережения.

Вопрос опережения до сих пор изучен мало. Еще не накоплено достаточно экспериментального материала, чтобы можно было создать бесспорную теорию опережения. На основании анализа процесса деформации металла в валках, учитывая лишь главнейшие факторы, влияющие на опережение, а именно обжатие, уширение, диаметр валков и критический угол, можно применять формулу для вычисления опережения [44], [45].

Формула для определения коэффициента опережения имеет следующий вид:

$$S = \frac{\left( B + \Delta B \frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha} \right) [h + D_0 (1 - \cos \gamma) \cos \gamma]}{(B + \Delta B) h} \quad (28)$$

Здесь  $B$  — ширина полосы до пропуска,  
 $\Delta B$  — полное уширение за пропуск,  
 $\alpha$  — угол захвата,  
 $\gamma$  — критический угол,  
 $h$  — высота полосы после пропуска,  
 $D_0$  — катающий диаметр валков.

В дальнейшем для определения опережения будем пользоваться приведенной здесь формулой при  $\gamma = 10^\circ$ . Для расчета необходимо знать катающий диаметр валков и размеры последовательных калибров.

По формуле

$$v = \frac{\pi D_0 n}{60}$$

устанавливается зависимость между окружной скоростью в данном калибре и числом оборотов валков в минуту

$$n = 19,1 \frac{v}{D} \quad (29)$$

Итак, формулы (27) и (29) исчерпывают вопрос об установлении зависимости между калибровкой непрерывного стана и числом оборотов валков в каждой клетке.

Воспользуемся этими формулами для решения конкретной задачи.

Если бы в непрерывном стане прокатывалась только одна заготовка определенного сечения, то установить ряд угловых скоростей стана по последним формулам было бы просто. Но обычно в одном непрерывном стане может прокатываться из одного и того же или из разных слитков несколько различных профилей. При этом коэффициенты вытяжки в разных случаях могут быть различны, т. е. могут иметь не вполне тождественные ряды. Поэтому целесообразно прежде всего сделать калибровку одного наиболее ходового профиля и установить для него ряд коэффициентов вытяжки, чтобы при калибровке остальных профилей пользоваться им как нормальным (но не обязательным) рядом для данного стана.

При определении угловых скоростей и опережения весьма важно точно найти величину катающего диаметра в каждом калибре.

Нормальное число оборотов валков каждой клетки определяем по избранной калибровке наиболее ходового профиля. Обозначим нормальное число оборотов валков каждой клетки через  $n$ .

Затем проводим предварительную калибровку для всякого другого профиля, катаемого в данном стане, пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки. При помощи формул (27) и (29) по этой предварительной калибровке определяем число оборотов валков в каждой клетке  $n'$ , которые, вообще говоря, не совпадают с избранным ранее нормальным числом оборотов  $n$ . Поэтому для получения нормального числа оборотов валков в каждой клетке необходимо применять предварительную калибровку.

Это исправление легко проводится при помощи следующего приема. Из формулы (29)

$$n' = 19,1 \frac{v'}{D_0} = 19,1 \frac{v_1 q_1 S_1}{D_0 q'_n S_n}$$

видно, что увеличение (уменьшение)  $n'$  до  $n$  влечет за собой при данном  $D_0$  увеличение (уменьшение)  $v'$  в отношении  $\frac{n}{n'}$ .

Но из формулы

$$v' = \frac{v_1 q_1 S_1}{q'_n S_n},$$

где  $q'_n$  — сечение калибра по предварительной калибровке, видно, что для увеличения (уменьшения)  $v'$  в отношении  $\frac{n}{n'}$  необходимо уменьшить (увеличить)  $q'_n$  в отношении  $\frac{n'}{n}$ .

Таким образом исправленная площадь калибра равна

$$q_n = q'_n \frac{n'}{n}, \quad (30)$$

т. е. по площадям предварительной калибровки  $q'_n$  и по предварительному числу оборотов  $n'$  легко находится исправленная площадь калибра  $q_n$ , отвечающая заданному числу оборотов  $n$ . Если при этом изменится  $D_0$ , то пересчет следует повторить для нового  $D_0$ .

### 1. Примеры калибровки непрерывного стана

Рассмотрим применение изложенной теории расчета калибровки и угловых скоростей валков на примере расчета действующего непрерывного заготовочного стана.

Возьмем для расчета первую группу в шесть клеток непрерывного заготовочного стана с диаметром 610 мм. Пусть из блюминга в стан поступает блюмс  $200 \times 200$  мм. Из стана выпуск-

каются заготовки  $100 \times 100$ ,  $130 \times 130$ ,  $152 \times 152$ ,  $89 \times 124$ ,  $162 \times 109$ ,  $79 \times 203$  и  $114 \times 184$  мм.

Примем за наиболее ходовую заготовку  $100 \times 100$  мм, так как она поступает во вторую непрерывную группу. Поэтому нормальный ряд коэффициентов вытяжки определим по этому профилю.

Средний коэффициент вытяжки равен:

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[6]{\frac{200 \cdot 200}{100 \cdot 100}} = 1,26.$$

Написав ряд произведений шести средних вытяжек (первая строка), исправляем его во второй строке, чтобы получить постепенное возрастание коэффициентов вытяжки в направлении прокатки; задаемся в первом пропуске (шестая клетка) коэффициентом вытяжки 1,2, при угле захвата около  $26^\circ$  (табл. 23).

Первый ряд . . . . . 1,26 1,26 1,26 1,26 1,26 1,26

Второй ряд . . . . . 1,2 1,23 1,25 1,27 1,29 1,32

Калибры . . . . . 6 5 4 3 2 1

Произведения коэффициентов обоих рядов равны между собою. Пользуясь коэффициентами вытяжки второго ряда, находим площади всех калибров для заготовки  $100 \times 100$  мм.

Вычисления располагаем в табл. 23. Схема калибровки представлена на рис. 37. При вычислении катающего диаметра не принимаем в расчет ни верхнего, ни нижнего давления.

Таблица 23

Калибровка заготовки  $100 \times 100$  мм

№ клетки или калибра	$\mu$	$q$ мм <sup>2</sup>	Калибры мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ м/сек	$n$ об/мин	$qvS$
			B	H									
1	1,32	10 000	142	142	54	7	539	26	1,030	1,00	0,760	27,0	7,83
2	1,29	13 230	196	135	48	13	542	24	1,020	1,01	0,580	20,42	7,83
3	1,27	17 050	130	130	50	10	480	28	2,010	1,02	0,455	18,1	7,83
4	1,25	21 700	180	120	45	15	490	25	1,008	1,02	0,357	13,93	7,82
5	1,23	27 100	165	165	50	10	445	28	1,008	1,02	0,286	12,3	7,81
6	1,2	33 300	215	155	45	15	455	26	1,001	1,03	0,235	9,87	7,83
Исходный		40 000	200	200									

Вычисление коэффициента опережения сделано по формуле (28), причем критический угол  $\gamma$  во всех случаях принят  $10^\circ$ .

$$S_1 = \frac{(135 + 3) \cdot 148}{142 \cdot 142} = 1,03;$$

$$S_2 = \frac{(183 + 7,5) \cdot 142}{196 \cdot 135} = 1,02;$$

$$S_3 = \frac{(120 + 6,3) \cdot 135}{180 \cdot 130} = 1,01;$$

$$S_4 = \frac{(165 + 8,4) \cdot 125,5}{180 \cdot 120} = 1,008;$$

$$S_5 = \frac{(155 + 6,3) \cdot 170}{165 \cdot 165} = 1,008;$$

$$S_6 = \frac{(200 + 9) \cdot 159,5}{215 \cdot 155} = 1,001.$$

Для облегчения расчетов приводим табл. 24.

Таблица 24

Значения  $\frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha}$  при  $\gamma = 10^\circ$

$\alpha$ , град.	$\frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha}$	$\alpha$ , град.	$\frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha}$	$\alpha$ , град.	$\frac{\sin \alpha - \sin \gamma}{\sin \alpha}$
14	0,282	21	0,516	27	0,613
15	0,320	22	0,536	28	0,630
16	0,370	23	0,556	29	0,642
17	0,406	24	0,573	30	0,658
18	0,438	25	0,588	31	0,668
19	0,466	26	0,604	32	0,673
20	0,490				

Примем число оборотов валков выпускной клетки  $n_1 = 27$  об/мин. Отсюда определяем окружную скорость валков выпускной клетки:

$$v_1 = \frac{\pi D n_1}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,539 \cdot 27}{60} = 0,760 \text{ м/сек.}$$

Число оборотов валков каждой клетки определено по формуле

$$n = 19,1 \frac{v_1}{D_n} \cdot \frac{q_1}{q_n} \cdot \frac{S_1}{S_n}.$$

Результаты вычислений приведены в предпоследней графе табл. 23. Скорости  $v_2, \dots, v_n$  определены по формуле (27). В последней графе контролируется постоянство  $qvS$ .

Рассмотрим калибровку полосы  $89 \times 124$  мм. Сечение  $q_1 = 89 \cdot 124 = 11030$  мм<sup>2</sup>.

Данное сечение почти равно сечению заготовки  $100 \times 100$  мм, калибровка которой только что изложена, поэтому можно изменить лишь 1-й и 2-й калибры, оставив остальные без изменения (рис. 37).

Сечение 3-го калибра  $q_3 = 17050$  мм<sup>2</sup>. Полная вытяжка в 1-м и 2-м калибрах равна  $\frac{17050}{11030} = 1,545$ .

Сохранив прежний коэффициент вытяжки во 2-м калибре, а именно 1,29, находим коэффициент вытяжки в 1-м калибре

$$\mu_1 = \frac{1,545}{1,29} = 1,2.$$

Следовательно,

$$q_2 = 11030 \cdot 1,2 = 13230 \text{ мм}^2.$$

Таблица 25

Калибровка заготовки  $89 \times 124$  мм

№ калибра	$\mu$	$q, \text{мм}^2$	Калибры мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ м/сек	$n'$ об/мин	$qvS$
			$B$	$H$									
1	1,2	11030	89	124	32	4	486	21	1,025	1,000	0,687	27	—
2	1,29	13230	156	85	45	26	525	24	1,000	1,015	0,587	21,3	—
3	1,27	17050	130	130	50	10	480	28	1,010	1,018	0,451	17,95	—
4	1,25	21700	180	120	45	15	490	25	1,007	1,023	0,356	13,86	7,78
5	1,23	27100	165	165	50	10	445	28	1,002	1,025	0,286	12,30	7,77
6	1,20	33300	215	155	45	15	445	26	1,000	—	0,233	10,02	7,76
Исправлено:													
1	1,245	11030	89	124	62	1	—	—	—	—	0,687	27	7,77
2	1,24	13780	156	88	—	—	—	—	—	—	0,564	20,42	7,77
3	1,23	16930	130	130	—	—	—	—	—	—	0,454	18,1	7,76

Принимая уширение в 1-м калибре 4 мм, получаем

$$H_2 = 89 - 4 = 85 \text{ мм},$$

отсюда

$$B_2 = \frac{13230}{85} = 156 \text{ мм}.$$

В табл. 25 приведены все расчеты калибровки.

В расчете угловых скоростей исходим из установленного уже числа оборотов валков выпускной клетки — 27 об/мин. Отсюда окружная скорость валков выпускного калибра равна

$$v = 3,14 \cdot \frac{0,486 \cdot 27}{60} = 0,687 \text{ м/сек}.$$

По формулам (27) и (29) находим  $n'$ , помещенные в предпоследней графе табл. 25.

Сравнивая полученный ряд  $n'$  (табл. 25) с нормальным рядом  $n$  (табл. 23), видим, что заметное отступление имеет место только во второй клетке. В остальных клетках отступления ничтожны малы.

Поэтому подлежат исправлению лишь размеры калибра во второй клетке по формуле

$$q_2 = q'_2 \frac{n'}{n},$$

$$q_2 = 13230 \frac{21,3}{20,42} \approx 13780 \text{ мм}^2.$$

Результаты исправления приведены в табл. 25.

Рассмотрим теперь калибровку заготовки  $162 \times 109$  мм и  $152 \times 152$  мм. Для предварительной калибровки воспользуемся установленным выше нормальным рядом коэффициентов вытяжки. Рассмотрим, прежде всего, в скольких и каких именно калибрах следует вести прокатку.

Площади выпускных калибров равны  $162 \times 109 = 17700$  мм<sup>2</sup> и  $152 \times 152 = 23000$  мм<sup>2</sup>.

Сравнивая эти площади с площадями калибров табл. 23, мы видим, что выпускной калибр для полосы  $162 \times 109$  мм можно поместить во 2-й или 3-й клетки.

Коэффициент полной вытяжки равен  $\frac{40000}{17700} = 2,26$ .

Пользуясь коэффициентами вытяжки 2, 3 и 4-й клеток, имеем для 5-й клетки

$$\mu_5 = \frac{2,26}{1,29 \cdot 1,27 \cdot 1,25} = 1,1.$$

Пользуясь коэффициентами вытяжки 3, 4 и 5-й клеток, имеем для 6-й клетки

$$\mu_6 = \frac{2,26}{1,27 \cdot 1,25 \cdot 1,23} = 1,16.$$

И в том и в другом случае прокатка должна вестись в четырех калибрах.

Так как отношение площадей  $\frac{23\ 000}{17\ 700} = 1,3$  близко к нормальному коэффициенту вытяжки во 2-й клетки, то целесообразно воспользоваться первым вариантом, чтобы выпустить из второй от конца клетки полосу  $162 \times 109$  мм и из третьей -- квадрат  $152 \times 152$  мм.

Таким образом, для расчета калибровки принимаем ряд коэффициентов вытяжки, приведенный в расчетной табл. 26.

Таблица 26

Калибровка заготовок  $162 \times 109$  и  $152 \times 152$  мм

№ калибра	$\mu$	$q$ , мм <sup>2</sup>	Калибры мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ м/сек.	$n'$ об/мин	$qvS$
			B	H									
2	1,3	17 700	162	109	43	10	501	24	1,025	—	0,538	20,5	9,77
3	1,27	23 000	152	152	158	13	458	29	1,000	1,025	0,425	17,70	9,78
4	1,25	29 200	200	146	59	22	464	29	1,000	1,025	0,334	13,76	9,75
5	1,10	36 500	205	178	22	5	432	19	1,008	1,016	0,265	11,72	—
Исходный		40 000	200	200									
Исправленный 5		35 000	200	175	—	—	435	—	—	1,016	0,278	12,3	9,80

При расчете скоростей исходим из 20,5 об/мин во 2-й клетки. При этом условии имеем окружную скорость в выпускном калибре 2-й клетки

$$v_2 = \frac{3,14 \cdot 0,501 \cdot 20,5}{60} = 0,538 \text{ м/сек.}$$

По формулам (27) и (29) находим  $n'$ .

Сравнивая ряд  $n'$  с нормальным рядом  $n$  (табл. 23), видим, что оба ряда, за исключением 5-го калибра, совпадают достаточно точно, чтобы не прибегать к исправлению принятой калибровки. Исправленная площадь  $q_5 = 36\ 500 \frac{11,72}{12,3} = 35\ 000$  (табл. 26).

Возможное образование небольших петель или растяжений можно устранить настройкой валков.

Рассмотрим калибровку заготовки  $203 \times 79 = 16\ 040$  мм<sup>2</sup>. Площадь подходит для выпуска из второй от конца клетки.

Коэффициент полной вытяжки равен:

$$\mu_n = \frac{40\ 000}{16\ 040} = 2,49.$$

Как и в предыдущем случае, пользуемся нормальным рядом коэффициентов вытяжки, начиная со 2-го калибра.

$$\mu_2 = \frac{2,49}{1,29 \cdot 1,27 \cdot 1,25} = 1,22.$$

Итак, прокатка намечается с рядом коэффициентов — 1,29, 1,27, 1,25, 1,22.

Отсюда определяем предварительную площадь сечений и линейные размеры калибров.

Примем  $n_2 = 20,5$  об/мин. Подсчеты приведены в табл. 27, откуда видно, что ряд  $n'$  несколько отличается от принятого нормального ряда  $n$  (табл. 23).

Таблица 27

Калибровка заготовки  $203 \times 79$  мм

№ калибра	$\mu$	$q$ , мм <sup>2</sup>	Калибры, мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ , м/сек.	$n'$ об/мин
			B	H								
2	1,29	16 040	203	79	31	15	531	19	1,000	—	0,570	20,5
3	1,27	20 700	110	188	57	3	422	30	1,009	0,99	0,438	19,8
4	1,25	26 800	245	107	38	20	503	22	1,000	1,0	0,348	13,2
5	1,22	32 700	225	145	55	25	465	28	1,000	1,0	0,280	11,5

Произведенная поправка площадей калибров по формуле

$$q_n = q_n' \frac{n'}{n}$$

приведена в табл. 28

Таблица 28

Поправка калибровки заготовки  $203 \times 79$  мм

№ калибра	$\mu$	$q$ , мм <sup>2</sup>	Калибры мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ , м/сек.	$n$ об/мин	$qvS$
			B	H									
2	1,41	16 040	203	79	42	15	531	19	1,000	—	0,570	20,5	9,15
3	1,11	22 600	120	188	45	13	422	30	1,009	0,99	0,400	18,1	9,12
4	1,22	25 000	233	107	38	23	503	22	1,000	1,0	0,366	13,9	9,15
5	1,30	30 600	210	145	45	10	465	28	1,000	1,0	0,299	12,3	9,15



Рассмотрим прокатку заготовки  $114 \times 184$  мм. Площадь сечения этой заготовки равна  $21\,000$  мм<sup>2</sup>. По размеру сечения выпускной калибр следует поместить в 3-й клетки. Расчет дан в табл. 29.

Таблица 29

Калибровка заготовки  $114 \times 184$  мм

№ калибра	$\mu$	$q$ , мм <sup>2</sup>	Калибры мм		$\Delta H$ мм	$\Delta B$ мм	$D_0$ мм	$\alpha$ град.	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ , м/сек	$n$ , об/мин	$q v S$
			$B$	$H$									
3	1,11	21 000	114	184	36	8	426	24	1,00	—	0,402	18,00	8,44
4	1,20	23 300	220	106	26	9	491	19	1,03	0,97	0,352	13,65	8,42
5	1,43	27 960	211	132	68	11	455	32	1,02	0,98	0,296	12,40	8,24

Примем уширение равным 8 мм (около 0,2  $\Delta H$ ). Получаем

$H_4 = 114 - 8 = 106$  мм и  $q_4 = 106 \cdot 220 = 23\,300$  мм<sup>2</sup>,  
отсюда

$$\mu_3 = \frac{23\,300}{21\,000} = 1,11.$$

В 4-й клетки принимаем нормальный коэффициент вытяжки

$$\mu = 1,20,$$

отсюда

$$q_5 = 23\,300 \cdot 1,20 = 27\,960 \text{ мм}^2;$$

$$H_5 = 27\,960 : 211 = 132 \text{ мм}.$$

4-й и 5-й калибры отличаются от имеющихся только высотой: высота 4-го калибра меньше на 13 мм. Следовательно, требуется опустить верхний валок 4-й клетки на 13 мм, не меняя размера имеющегося калибра. Высота 5-го калибра меньше на 23 мм. Значит, в 5-й клетки требуется опустить верхний валок на 23 мм. Если в 5-й калибр задавать из блюминга заготовку  $200 \times 200$  мм, то в 5-й клетки коэффициент вытяжки будет

$$\mu_5 = 40\,000 : 27\,960 = 1,43$$

и угол захвата  $32^\circ$ .

Желая снизить угол захвата, мы можем без всяких затруднений задавать в 5-й калибр заготовку меньшей высоты, например  $200 \times 175$  мм, так как коэффициент вытяжки в шестом (первом по порядку прокатки) пропуске может быть какой угодно. В этом случае угол захвата будет не больше  $26^\circ$ .

Вычисление  $B$ ,  $H$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta B$ ,  $D$  и  $\alpha$  не требует пояснений. Приведем результаты расчета коэффициента опережения:

$$S_3 = 0,99 \approx 1;$$

$$S_4 = 1,03;$$

$$S_5 = 1,02.$$

Приведем расчет окружных и угловых скоростей:

$$v_3 = \frac{3,14 \cdot 0,426 \cdot 18}{60} = 0,402; \quad n_3 = 19,1 \frac{402}{426} = 18,00;$$

$$v_4 = \frac{0,402 \cdot 21\,000 \cdot 0,97}{23\,300} = 0,352; \quad n_4 = 19,1 \frac{352}{491} = 13,65;$$

$$v_5 = \frac{0,402 \cdot 21\,000 \cdot 0,98}{27\,960} = 0,296; \quad n_5 = 19,1 \frac{296}{455} = 12,40.$$

В результате получены числа оборотов, достаточно хорошо согласующиеся с принятыми нормальными в этих клетях угловыми скоростями.

Сделаем сводку угловых скоростей, рассчитанных по выработанной калибровке всех семи заготовок (табл. 30).

Таблица 30

Сводная таблица угловых скоростей

№ калибра или клетки	Сечения заготовок, мм×мм						
	100×100	130×130	89×124	162×109	152×152	79×203	114×184
1	27	—	27	—	—	—	—
2	20,42	—	20,42	20,7	—	20,5	—
3	18,1	18,1	18,1	17,7	17,7	18,1	18,0
4	13,9	13,9	13,86	13,76	13,76	13,9	13,65
5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,35	12,3	12,4
6	9,87	9,87	10,02	—	—	—	—

Из табл. 30 видно, что выработанный при калибровке заготовки  $100 \times 100$  мм ряд угловых скоростей довольно хорошо выдержан для всех семи заготовок.

Приведенный здесь расчет калибровки первой группы непрерывного заготовочного стана почти точно совпадает с действующей калибровкой.

## 2. Калибровка второй группы непрерывного заготовочного стана

Приступая к изложению примера калибровки второй группы непрерывного заготовочного стана, принимаем программу прокатки этого стана того же завода, чтобы иметь критерий практической предложенного метода.

Вторая группа стана в шесть клетей имеет диаметр валков  $D = 457$  мм. В эту группу поступает заготовка  $100 \times 100$  мм из первой непрерывной группы.

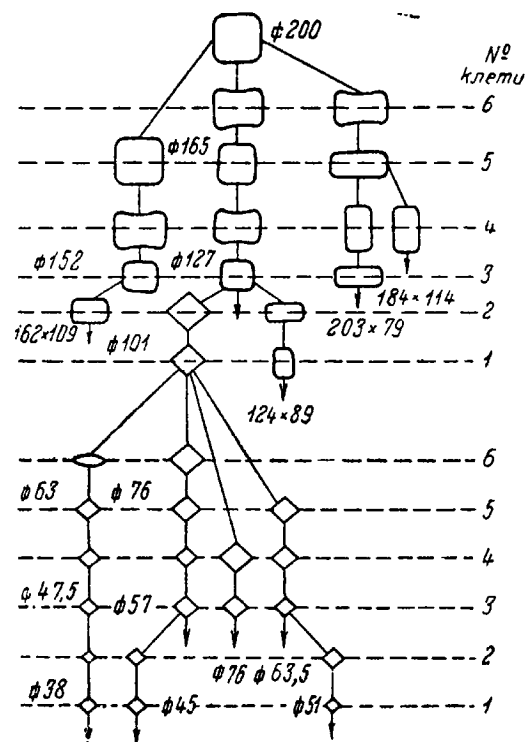


Рис. 37. Схема калибровки непрерывного заготовочного стана

Для заготовки  $45 \times 45$  мм средний коэффициент вытяжки от квадрата к квадрату равен

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 100}{45 \cdot 45}} = 1,705.$$

Заменим ряд постоянных коэффициентов вытяжки от квадрата к квадрату  $\mu_{\text{ср}} = 1,705$  рядом убывающих коэффициентов

Вторая группа стана выпускает заготовки  $38 \times 38$ ,  $45 \times 45$ ,  $51 \times 51$ ,  $57 \times 57$ ,  $63 \times 63$  и  $76 \times 76$  мм (рис. 37).

Как и в предыдущем примере, устанавливаем по наиболее ходовому из мелких профилей нормальный ряд коэффициентов вытяжки. В данном случае определяем его по калибровке квадрата  $45 \times 45$  мм.

В клетке 457 заготовка  $100 \times 100$  мм может прокатываться по системе квадрат—ромб или квадрат—овал, причем коэффициент вытяжки целесообразно уменьшать в направлении прокатки.

Как обычно, в таких случаях следует определять ряд квадратов и затем вставить между ними ромбы или овалы (рис. 37).

вытяжки от квадрата к квадрату, произведение которых равно  $1,705^3$ :

$$\mu_5 \quad \mu_3 \quad \mu_1 \\ 1,83 \quad 1,71 \quad 1,58$$

Все вычисления калибровки  $45 \times 45$  мм даем в табл. 31. Номера клетей располагаются обратного хода прокатки (графа 1). В графе 2 указаны коэффициенты вытяжки от квадрата к квадрату.

В графе 3 помещены площади квадратов, полученные из этих коэффициентов. В графах 4—6 помещены линейные размеры квадратов, а также определяемые из них линейные размеры ромбов, вставленных между квадратами. Для этого задаемся в данном случае уширением  $\Delta B = 7$  мм. Тогда

$$b_2 = h_3 + \Delta B_1; \quad h_2 = b_1 - \Delta B_1;$$

$$b_4 = h_5 + \Delta B_3 \text{ и т. д.}; \quad h_4 = b_3 - \Delta B_3 \text{ и т. д.}$$

В графе 8 помещены полученные вертикальные обжатия.

В графе 9—площади ромбов, определяемые по их линейным размерам.

В графе 10 указаны полученные из площадей коэффициенты вытяжки. Будем называть в дальнейшем этот ряд нормальным рядом коэффициентов вытяжки второй группы стана.

В графе 11 помещены катающие диаметры, определяемые по формуле

$$D = D_0 - 0,5h.$$

В графе 12 даны углы захвата, определенные с точностью до  $1^\circ$ .

В графе 13 помещены коэффициенты опережения.

Задаемся числом оборотов в минуту выпускаемых валков  $n_1 = 156$  (графа 16). Отсюда определяем выпускную окружную скорость

$$v_1 = \frac{n_1 D}{19,1} = \frac{156 \cdot 0,425}{19,1} = 3,46 \text{ м/сек.}$$

Далее определяем окружные скорости по формуле:

$$v_n = \frac{v_1 q \cdot S_1}{q_n S_n}.$$

Приведем вычисление этих скоростей в м/сек:

$$v_2 = \frac{3,46 \cdot 2025}{2440} \cdot 0,975 = 2,8;$$

Таблица 31

## Калибровка заготовки 45 × 45 мм

№ клетки или калибра	μ	q <sub>к</sub> мм <sup>2</sup>	c мм	b мм	h мм	ΔB мм	Δh мм	q <sub>p</sub> мм <sup>2</sup>	μ	D мм	α град.	S	$\frac{S_1}{S_n}$	v м/сек	n об/мин	qvS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,58	2025	45	63	63	7	24	—	1,205	425	19	1,025	—	3,46	156	718
2	—	—	—	87	56	7	24	2440	1,31	429	19	1,05	0,975	2,8	124,7	718
3	1,71	3200	56,6	80	80	7	32	—	1,28	417	23	1,02	1,005	2,2	100,6	718
4	—	—	—	112	73	7	32	4086	1,34	421	23	1,04	0,983	1,688	76,6	718
5	1,83	5480	74,0	105	105	7	44	—	1,33	405	27	1,015	1,009	1,29	60,8	718
6	—	—	—	149	98	7	44	7300	1,37	408	27	1,028	0,995	0,954	44,8	718
Исходный		10 000	100	142	142											

Таблица 32

## Калибровка заготовки 38 × 38 мм

№ клетки или калибра	μ	q мм. <sup>2</sup>	c мм	b мм	h мм	Δh мм	ΔB мм	D мм	α град.	S		S <sub>1</sub> S <sub>n</sub>	v м/сек	qvS	n' об/мин	n об/мин	q' мм. <sup>2</sup>	μ'	b' мм	h' мм	c' мм
										11	12										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	1,205	1 444	38	54	54	17	5	430	17	1,035	—	3,51	523	156	156	1444	1,185	54	54	38	
2	1,31	1 740	—	71	49	18	4	432	17	1,090	0,951	2,77	525	122,5	124,7	1710	1,31	70	49	—	
3	1,28	2 280	47,5	67	67	27	5	423	20	1,038	0,997	2,21	527	99,7	100,6	2240	1,31	67	67	47,5	
4	1,34	2 920	—	94	62	26	6	426	20	1,503	0,982	1,705	524	77,6	76,6	2960	1,34	95	62	—	
5	1,33	3 910	62,5	88	88	36	25	413	24	1,000	1,035	1,340	524	60,0	60,8	3960	1,315	88	88	63	
6	1,925	5 200	—	124	63	37	24	415	25	1,000	1,035	1,005	—	44,7	44,8	5200	1,925	124	63	—	
Исходный		10 000	100															100	100		

$$v_3 = \frac{3,46 \cdot 2025}{3200} \cdot 1,005 = 2,2;$$

$$v_4 = \frac{3,46 \cdot 2025}{4086} \cdot 0,985 = 1,688;$$

$$v_5 = \frac{3,46 \cdot 2025}{5480} \cdot 1,009 = 1,29;$$

$$v_6 = \frac{3,46 \cdot 2025}{7300} \cdot 0,995 = 0,954.$$

Для контроля правильности произведенных вычислений в графе 17 приведено произведение  $qvS$ , которое, как и следует, оказалось постоянным. В графе 16 указано число оборотов валков, удовлетворяющее принятой калибровке. Оно определяется по формуле

$$n = 19,1 \frac{v}{D}.$$

Помещенный в графе 16 ряд угловых скоростей  $n$  будем считать нормальным рядом данной группы клеток стана. Этому ряду скоростей должна удовлетворять калибровка всех остальных заготовок, прокатываемых в стане.

Переходим теперь к вычислению калибров для получения квадратов 38 × 38 мм и др. по установленному нами методу.

Пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки, находим предварительно площади калибров  $q_n$  и угловые скорости, отвечающие этой предварительной калибровке  $n'$ .

После этого для получения нормальных угловых скоростей  $n$ , установленных нами выше для клеток стана, определяем окончательно площади калибров  $q_n$  по формуле

$$q_n = q'_n \frac{n'}{n}$$

и, наконец, окончательно рассчитываем линейные размеры калибров, отвечающие полученным площадям их.

Определение ряда калибров по второму методу для заготовки 38 × 38 мм приведено в табл. 32. В графе 2 указан нормальный ряд коэффициентов вытяжки за исключением  $\mu_6$ , который определен из следующего:

$$\mu_6 = \frac{100 \cdot 100}{38 \cdot 38} \cdot \frac{1}{1,205 \cdot 1,31 \cdot 1,28 \cdot 1,34 \cdot 1,33} = 1,925.$$

Таблица 33

Калибровка заготовки 51 × 51 мм и 64 × 64 мм

№ калибра	$\mu$	$q$ мм <sup>2</sup>	$c$ мм	$b$ мм	$h$ мм	$\Delta h$ мм	$\Delta B$ мм	$D$ мм	$\alpha$ град	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ м/сек	$qvS$	$n'$ об/мин	$n$ об/мин	$q'$ мм <sup>2</sup>	$\mu'$	$b'$ мм	$h'$ мм
1	1,205	2600	51	72	72	23	6	421	19	1,015	—	3,44	907	156	156	2600	1,2	72	72
2	1,31	3130	—	95	66	24	5	424	19	1,050	0,965	2,76	906	124,3	124,7	3120	1,305	95	66
3	1,28	4100	64	90	90	34	5	412	23	1,028	0,987	2,15	905	99,8	100,6	4070	1,373	90	90
4	1,34	5250	—	85	124	21	—	395	19	1,025	0,990	1,685	906	81,5	76,6	5385	1,23	123	87
5	1,422	7035	—	165	85	56	24	414	30	1,001	1,015	1,29	907	59,5	60,8	6880	1,45	162	85
Исходный		10 000	100	141	141														

Таблица 34

Калибровка заготовки 76 × 76 мм

№ клетки или калибра	$\mu$	$q$ мм <sup>2</sup>	$c$ мм	$b$ мм	$h$ мм	$\Delta h$ мм	$\Delta B$ мм	$D$ мм	$\alpha$ град	$S$	$\frac{S_1}{S_n}$	$v$ м/сек	$qvS$	$n'$ об/мин	$n$ об/мин	$q'$ мм <sup>2</sup>	$\mu'$	$b'$ мм	$h'$ мм
3	1,28	6774	76	108	108	35	5	403	24	1,020	—	2,12	1248	100,0	100,0	5574	1,314	108	105
4	1,34	7390	—	143	103	41	10	405	26	1,013	1,007	1,666	1248	78,6	76,6	7580	1,275	147	103
5	1,01	9900	—	144	133	9	2	390	13	1,042	0,979	1,21	1248	59,3	60,8	9660	1,026	145	133
Исходный		10 000		142	142													142	142

Для уменьшения угла захвата 6-й калибр должен быть овальным (рис. 37). Площадь овала

$$q_6 = \frac{2bh}{3},$$

отсюда

$$b_6 = \frac{3 \cdot 5200}{2 \cdot 63} \approx 124 \text{ мм.}$$

Катающий диаметр в квадратах и ромбах  $D = D_0 - 0,5 h$ ; в овале  $D = D_0 - \frac{2}{3} h$ .

Вычисления, приведенные в табл. 32, не требуют дальнейших пояснений.

Сравнивая полученный из предварительной калибровки ряд угловых скоростей  $n'$  с нормальным рядом  $n$ , видим, что калибровка подлежит весьма незначительному исправлению только во 2-м и 4-м калибрах, что и сделано в табл. 32 в графах 17—21.

Сравнивая полученную калибровку для заготовок 45 × 45 и 38 × 38 мм с данными завода, мы видим почти полное совпадение в сторонах квадратов (мм):

Заводская . . . . .	45	57	76	100
Вычисленная . . . . .	45	56,5	74	100
Заводская . . . . .	38	47,5	63,5	100
Вычисленная . . . . .	38	47,5	63	100

Вычисление калибровки для заготовки 51 × 51 и 64 × 64 мм помещено в табл. 33. Чтобы из одного ряда калибров можно было получить обе заготовки, калибровку следует разместить в 1—5 клетях. Пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки, определяем:

$$\mu_5 = \frac{100 \cdot 100}{51 \cdot 51} = 1,422.$$

Вычисления, приведенные в табл. 33, не требуют пояснений. Из таблицы видно, что в предварительной калибровке весьма незначительному исправлению подвергались 4-й и 5-й калибры. Расчет калибровки заготовки 76 × 76 мм приведен в табл. 34, не требующей пояснений.

В табл. 35 приведена сводка калибров второй группы непрерывного заготовочного стана, отвечающих нормальному ряду угловых скоростей.

Схема калибровки представлена на рис. 37. Она вполне совпадает со схемой завода.

Таблица 35

Сводка калибров второй группы непрерывного  
заготовочного стана

№ клетей или калибра	n	38×38 мм			45×45; 57×57 мм			51×51; 64×64 мм			76×76 мм		
		c	b	h	c	b	h	c	b	h	c	b	h
1	156	38	54	54	45	63	63	51	72	72	—	—	—
2	124,7	—	70	49	—	87	56	—	95	66	—	—	—
3	100,6	47,5	67	67	56,6	80	80	64	90	90	76	108	108
4	76,6	—	95	62	—	112	73	—	123	87	—	147	103
5	60,8	63	88	86	74	105	105	—	162	85	—	145	133
			о вал										
6	44,8	—	124	63	—	149	98	—	—	—	—	—	—

Итак, установлен метод калибровки непрерывных станов при разнообразной программе прокатки путем определения нормального ряда числа оборотов валков в непрерывной группе клеток. Неизменный нормальный ряд угловых скоростей установлен жесткой шестеренной передачей от одного двигателя и положен в основу калибровки всех профилей, катаемых в стане.

Задача разрешается совершенно просто, если каждая клетка обслуживается отдельным регулируемым двигателем. В этом случае нет необходимости с такой точностью придерживаться определенного нормального ряда угловых скоростей в стане. Тем не менее, поскольку равенство

$$qvS = \text{const},$$

лежащее в основе данного метода, является важным организационным фактором, обеспечивающим отсутствие узких мест в процессе прокатки, — предложенный метод применим также и ко всем прочим родам непрерывных станов.

При очень широкой программе прокатки и при необходимости достигнуть точности профилей в различных клетях предложенный метод дает возможность обосновывать ту или иную комбинацию жестко связанных между собой клеток в отдельных группах стана.

На рис. 37 представлена схема калибровки непрерывного заготовочного стана с двумя группами клеток по 6 пар валков в каждом. Диаметр валков первой группы — 610 мм, второй — 457 мм. Стан может выпускать следующие сечения без смены валков: диагональ квадрата 127, 101, 152, и 184×114, 203×79, 89×124 и 162×109 мм из первой группы и диагональ квадрата 76, 63,5, 57, 51, 47,5, 45 и 38 из второй группы.

Исходным является блюмс квадратного сечения от 190,5 до 200 мм. В первой по ходу прокатки паре валков помещаются два калибра, во второй — три, в третьей — четыре. Последний калибр третьей пары (184×114) является выпускным для сутуночного непрерывного стана. В четвертой паре валков помещаются три калибра; последний из них является выпускным также для полос или ленточной заготовки, а два другие (152 и 127 мм) выпускают заготовку, подлежащую разрезке, или полосу для пятой пары валков. В пятой паре валков помещаются три калибра, один из которых выпускной (162×109); в шестой — два выпускных калибра (101×101 и 124×89 мм).

Калибр 101×101 мм дает также полосу для питания следующей группы, выпускающей шесть указанных ранее сечений заготовки.

## ГЛАВА 8

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ИЛИ ВЫТЯЖНЫЕ ОВАЛЬНЫЕ  
И КВАДРАТНЫЕ КАЛИБРЫ

Выше было выяснено, что система чередующихся овалов и квадратов способствует энергичной вытяжке и ускоряет прокатку. Поэтому эта система преимущественно и применяется в обжимных и подготовительных клетях мелкосортных и среднесортных станов, в которых необходима быстрая прокатка вследствие быстрого охлаждения тонких прутков. Если калибровка стрельчатыми ручьями и ромбами валков для прокатки круглого железа толщиной 38 мм из квадратной заготовки 101×101 мм состоит из 19 калибров, то калибровка по системе овал — квадрат для прокатки того же размера из такой же заготовки имеет всего 10 калибров.

Для подготовительных или вытяжных калибров размеры овала (рис. 38) определяются по табл. 36, причем предварительно определяется толщина овала  $h$  по стороне квадрата, следующего за овалом в порядке прокатки.

Толщину овала лучше всего брать равной стороне квадрата, в который овал задается, минус 2—4 мм, в зависимости от величины квадрата.

Например, для проволочного стана рекомендуется уменьшать ее на 2,0—2,5 мм, для мелкосортного стана —

на 2,5—3,0 мм и для средне- и крупносортного стана — на 3,5—4,0 мм.

При определении ширины овала можно пользоваться правилом: чем больше вытяжка, тем шире должен быть овал. Коэффициент вытяжки от квадрата к овалу при прокатке качествен-

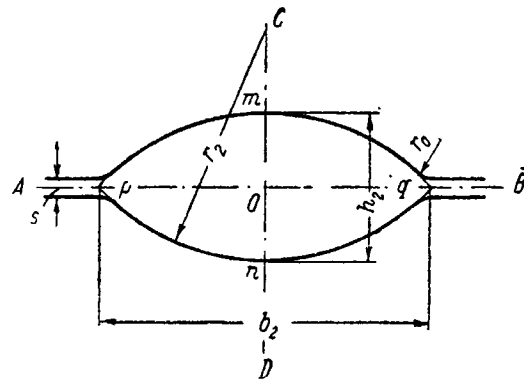


Рис. 38. Построение овального калибра

ной стали можно брать в пределах 1,3—1,6, а от овала к квадрату — 1,2—1,5 [36].

Основное достоинство системы овал — квадрат — возможность работы с большими вытяжками.

Большое значение имеет отношение  $\frac{b}{h}$ . Чем больше  $\frac{b}{h}$ , тем энергичнее происходит вытяжка металла в валках. На практике обычно отношение  $\frac{b}{h}$  находится в пределах [36]: в нормальных овалах — 2,1—3,2, в срезанных и трапециoidalных овалах — 2,8—3,9.

Для овала определяем толщину по формуле

$$h_n = c_{n-1} - \Delta B,$$

где  $c$  — сторона квадрата;

зная  $h_n$  и  $Q_n$  (см. ниже), по табл. 36 находим  $t_n$  и  $r_n$ , которые вполне определяют построение калибра.

Определение площадей овалов и квадратов производится следующим образом.

Коэффициент приращения вытяжки  $\delta_n$  при переходе от квадрата к ближайшему овалу можно брать [30]:

$$\delta_n = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{Q_n}},$$

где  $Q_n$  — площадь квадрата.

Поэтому коэффициент вытяжки овала в квадратном калибре

$$\mu = 1 + \frac{\delta_n}{100}$$

и площадь овала

$$Q_{n+1} = \left(1 + \frac{\delta_n}{100}\right) Q_n.$$

Имея площадь овала, по табл. 36 легко определить все его конструктивные элементы.

Площадь овала  $S_{n+1}$  дает возможность определить приращение вытяжки при переходе от овала к ближайшему большему квадрату:

$$\delta_{n+1} = \sqrt{160 \sqrt{Q_{n+1}}},$$

а следовательно, коэффициент вытяжки квадрата в овальном калибре и площадь квадрата

$$Q_{n+2} = \left(1 + \frac{\delta_{n+1}}{100}\right) \cdot Q_{n+1}.$$

Таблица 36

Таблица для определения размеров овалов

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$
1,10	0,843	0,5525	1,57	1,127	0,8662	2,04	1,423	1,2904
1,11	0,849	0,5580	1,58	1,133	0,8741	2,05	1,430	1,3006
1,12	0,855	0,5636	1,59	1,140	0,8820	2,06	1,436	1,3109
1,13	0,861	0,5692	1,60	1,146	0,8900	2,07	1,442	1,3213
1,14	0,867	0,5749	1,61	1,152	0,8980	2,08	1,449	1,3316
1,15	0,873	0,5806	1,62	1,158	0,9061	2,09	1,455	1,3421
1,16	0,878	0,5864	1,63	1,164	0,9142	2,10	1,462	1,3525
1,17	0,884	0,5922	1,64	1,171	0,9224	2,11	1,468	1,3630
1,18	0,890	0,5981	1,65	1,177	0,9306	2,12	1,474	1,3736
1,19	0,896	0,6040	1,66	1,183	0,9389	2,13	1,481	1,3848
1,20	0,902	0,6100	1,67	1,189	0,9472	2,14	1,487	1,3949
1,21	0,908	0,6160	1,68	1,196	0,9566	2,15	1,493	1,4051
1,22	0,914	0,6221	1,69	1,202	0,9640	2,16	1,500	1,4164
1,23	0,920	0,6282	1,70	1,208	0,9725	2,17	1,506	1,4277
1,24	0,926	0,6344	1,71	1,215	0,9810	2,18	1,513	1,4381
1,25	0,932	0,6406	1,72	1,221	0,9896	2,19	1,519	1,4490
1,26	0,938	0,6466	1,73	1,227	0,9982	2,20	1,526	1,4600
1,27	0,944	0,6532	1,74	1,233	1,0069	2,21	1,532	1,4710
1,28	0,950	0,6596	1,75	1,240	1,0156	2,22	1,538	1,4821
1,29	0,956	0,6660	1,76	1,246	1,0244	2,23	1,545	1,4932
1,30	0,962	0,6725	1,77	1,252	1,0332	2,24	1,551	1,5044
1,31	0,968	0,6790	1,78	1,258	1,0421	2,25	1,558	1,5156
1,32	0,974	0,6856	1,79	1,265	1,0510	2,26	1,564	1,5269
1,33	0,980	0,6922	1,80	1,271	1,0600	2,27	1,570	1,5382
1,34	0,986	0,6989	1,81	1,277	1,0690	2,28	1,577	1,5496
1,35	0,992	0,7056	1,82	1,284	1,0781	2,29	1,583	1,5611
1,36	0,998	0,7124	1,83	1,290	1,0872	2,30	1,590	1,5725
1,37	1,004	0,7192	1,84	1,296	1,0964	2,31	1,596	1,5840
1,38	1,010	0,7261	1,85	1,308	1,1056	2,32	1,602	1,5956
1,39	1,017	0,7330	1,86	1,309	1,1149	2,33	1,609	1,6072
1,40	1,023	0,7400	1,87	1,315	1,1242	2,34	1,615	1,6189
1,41	1,029	0,7470	1,88	1,322	1,1336	2,35	1,622	1,6306
1,42	1,035	0,7541	1,89	1,328	1,1430	2,36	1,628	1,6424
1,43	1,041	0,7612	1,90	1,334	1,1525	2,37	1,635	1,6542
1,44	1,047	0,7684	1,91	1,341	1,1621	2,38	1,641	1,6661
1,45	1,053	0,7756	1,92	1,347	1,1716	2,39	1,648	1,6780
1,46	1,059	0,7829	1,93	1,353	1,1812	2,40	1,654	1,6900
1,47	1,065	0,7902	1,94	1,360	1,1909	2,41	1,661	1,7020
1,48	1,071	0,7976	1,95	1,366	1,2006	2,42	1,667	1,7141
1,49	1,078	0,8050	1,96	1,372	1,2104	2,43	1,674	1,7262
1,50	1,084	0,8125	1,97	1,379	1,2202	2,44	1,680	1,7384
1,51	1,090	0,8200	1,98	1,385	1,2301	2,45	1,686	1,7500
1,52	1,096	0,8276	1,99	1,391	1,2400	2,46	1,693	1,7629
1,53	1,102	0,8352	2,00	1,398	1,2500	2,47	1,700	1,7752
1,54	1,108	0,8429	2,01	1,404	1,2600	2,48	1,706	1,7876
1,55	1,115	0,8506	2,02	1,411	1,2701	2,49	1,712	1,8000
1,56	1,121	0,8584	2,03	1,417	1,2803	2,50	1,719	1,8125

Продолжение табл. 36

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$
2,51	1,725	1,8250	2,84	1,940	2,2664	3,17	2,155	2,7622
2,52	1,732	1,8376	2,85	1,946	2,2806	3,18	2,161	2,7781
2,53	1,738	1,8502	2,86	1,953	2,2949	3,19	2,168	2,7940
2,54	1,745	1,8629	2,87	1,959	2,3092	3,20	2,175	2,8100
2,55	1,751	1,8756	2,88	1,966	2,3236	3,21	2,181	2,8260
2,56	1,758	1,8884	2,89	1,972	2,3380	3,22	2,188	2,8421
2,57	1,764	1,9012	2,90	1,979	2,3525	3,23	2,194	2,8582
2,58	1,770	1,9141	2,91	1,985	2,3670	3,24	2,201	2,8744
2,59	1,777	1,9270	2,92	1,992	2,3816	3,25	2,207	2,8902
2,60	1,784	1,9400	2,93	1,998	2,3962	3,26	2,214	2,9069
2,61	1,790	1,9530	2,94	2,005	2,4109	3,27	2,220	2,9232
2,62	1,797	1,9661	2,95	2,011	2,4256	3,28	2,227	2,9396
2,63	1,803	1,9792	2,96	2,018	2,4404	3,29	2,233	2,9560
2,64	1,809	1,9924	2,97	2,024	2,4552	3,30	2,240	2,9725
2,65	1,816	2,0056	2,98	2,031	2,4701	3,31	2,247	2,9890
2,66	1,822	2,0189	2,99	2,037	2,4850	3,32	2,253	2,0056
2,67	1,829	2,0232	3,00	2,044	2,5000	3,33	2,260	3,0222
2,68	1,835	2,0456	3,01	2,050	2,5150	3,34	2,286	3,0389
2,69	1,842	2,0590	3,02	2,057	2,5301	3,35	2,273	3,0556
2,70	1,848	2,0725	3,03	2,063	2,5452	3,36	2,280	3,0724
2,71	1,855	2,0880	3,04	2,070	2,5604	3,37	2,286	3,0892
2,72	1,861	2,0996	3,05	2,076	2,5756	3,38	2,292	3,1061
2,73	1,868	2,1132	3,06	2,083	2,5909	3,39	2,299	3,1230
2,74	1,874	2,1269	3,07	2,089	2,6062	3,40	2,306	3,1400
2,75	1,881	2,1406	3,08	2,096	2,6216	3,41	2,312	3,1570
2,76	1,888	2,1544	3,09	2,103	2,6370	3,42	2,319	3,1741
2,77	1,894	2,1682	3,10	2,109	2,6525	3,43	2,325	3,1912
2,78	1,900	2,1821	3,11	2,116	2,6680	3,44	2,332	3,2084
2,79	1,907	2,1960	3,12	2,122	2,6836	3,45	2,339	3,2256
2,80	1,913	2,2100	3,13	2,129	2,6992	3,46	2,345	3,2426
2,81	1,920	2,2240	3,14	2,135	2,7149	3,47	2,352	3,2602
2,82	1,927	2,2381	3,15	2,142	2,7306	3,48	2,358	3,2776
2,83	1,933	2,2522	3,16	2,148	2,7464	3,49	2,365	3,2950
						3,50	2,371	3,3125

По площади квадрата легко определяются конструктивные элементы квадратного калибра. Сторона квадрата

$$c = \sqrt{Q},$$

диагонали квадрата, являющиеся высотой и шириной калибра  $h$  и  $b$ , равны

$$h = b = 1,41c.$$

### 1. Определение ряда овальных и квадратных калибров

Определим ряд овальных и квадратных калибров, исходя из выпускного квадрата  $c_1 = 11,35$  мм.

Площадь квадрата

$$Q_1 = 11,35^2 = 129,5 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент приращения вытяжки при переходе к овалу

$$\delta_1 = 0,7 \sqrt{160 \cdot 11,35} = 29,4\%$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_1 = 1,294.$$

Площадь овала

$$Q_2 = 1,294 \cdot 129,5 \approx 167,6 \text{ мм}^2.$$

Толщина овала

$$h_2 = 11,35 - 0,05 \cdot 29,4 = 9,88 \text{ мм}.$$

Находим

$$\frac{Q_2}{h_2^2} = 1,72.$$

По табл. 36 находим соответственно 1,72 значение отношений:

$$\frac{b_2}{h_2} = 2,5 \quad \text{и} \quad \frac{r_2}{h_2} = 1,81.$$

Отсюда

$$b_2 = 2,5 \cdot 9,88 = 24,7 \text{ мм};$$

$$r_2 = 1,81 \cdot 9,88 = 17,9 \text{ мм}.$$

Вычерчивание полученного овала можно произвести следующим образом (рис. 38).

Проведя взаимно перпендикулярные конструктивные оси  $AB$  и  $CD$ , откладываем от  $O$  вверх и вниз по  $\frac{1}{2} h_2$  и влево и вправо по  $\frac{1}{2} b_2$ . Через точки  $p, m, q$  и  $p, n, q$  радиусом равным  $r_2$ , проводим дуги  $pmq$  и  $pnq$ .

Между валками делается зазор  $s = 2 \div 3$  мм. Закругления радиусом  $r_0 = 0,1 b_2$  заканчивают профиль калибра.

Площадь овального калибра, вычерченного при помощи указанного приема, отвечает площади овала, определяемой по табл. 36.

Расчет следующего квадрата дает приращение коэффициента вытяжки

$$\delta_2 = \sqrt{160 \sqrt{167,6}} \approx 46\%.$$

Коэффициент вытяжки квадрата в овальном калибре принимаем

$$\mu = 1,46.$$

Площадь квадрата

$$Q_3 = 1,46 \cdot 167,6 \approx 244,7 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата

$$c_3 = \sqrt{244,7} \approx 15,7 \text{ мм}.$$

Диагонали квадрата

$$h_3 = b_3 = 1,41 \cdot 15,7 \approx 22 \text{ мм}.$$

Вычерчивание квадратного калибра можно произвести следующим образом (рис. 39).

На взаимно перпендикулярных конструктивных осях  $AB$  и  $CD$  откладываются  $h_3$  и  $b_3$ ; полученные точки  $m, p, n$  и  $q$  соединяются прямыми линиями. Между валками делается зазор  $s = 2 \div 3$  мм. Закругления радиусом  $r_0 = 0,1 h_3$  заканчивают профиль калибра.

Приведенный расчет в дальнейшем даст следующий овал, затем квадрат, и т. д., но требует контроля угол захвата, который не должен быть больше  $30^\circ$ . Если угол превышает  $30^\circ$ , то необходимо в дальнейшем прекратить калибровку по системе овал — квадрат и обратиться к ромбическим или к плоским ручьям или увеличить диаметр валков.

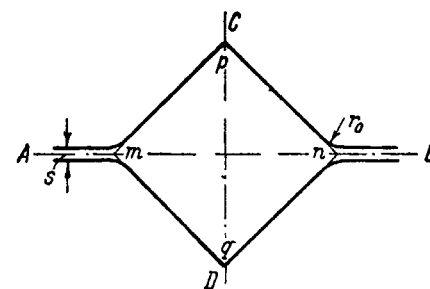


Рис. 39. Построение квадратного калибра

Определим для примера угол захвата в случае только что сделанных определений размеров овального и квадратного калибров, предполагая, что калибровка производится в валках диаметром  $D = 300$  мм.

Овальный калибр имеет диаметр валка в глубине ручья  $D_0 = 300 - 9,88 \approx 290$  мм.



В него поступает квадрат со стороной  $c = 15,7$  мм, следовательно, вертикальное обжатие

$$H - h = 15,7 - 9,88 = 5,82 \text{ мм.}$$

Отсюда при помощи формулы

$$(H - h) = D_0 (1 - \cos \alpha)$$

определяем  $\alpha$ .

Определение удобно производить следующим образом. Находим

$$\cos \alpha = 1 - \frac{H - h}{D_0} = 1 - \frac{5,82}{290} = 0,88.$$

По найденному значению  $\cos \alpha$  в табл. 1 находим значение  $\alpha$ .  $\cos 30^\circ = 0,866$ ; если  $1 - \frac{H - h}{D_0}$  окажется меньше этой величины, то  $\alpha > 30^\circ$ ; в данном случае.

$$\cos \alpha = 0,88 \text{ и } \alpha < 30^\circ.$$

Так же определяем значение  $\alpha$  для квадратного калибра. Диаметр вала в глубине квадратного ручья равен

$$D_0 = 300 - 1,41 \cdot 11,35 = 284 \text{ мм.}$$

В калибр поступает овал ребром  $b_2 = 24,7$  мм.

Вертикальная диагональ квадратного калибра  $h_1 = 1,41 \cdot 11,35 = 16$  мм, поэтому вертикальное обжатие  $H - h = 24,7 - 16 = 8,7$  мм. Отсюда

$$\cos \alpha = 1 - \frac{8,7}{284} = 0,694 \text{ и } \alpha < 30^\circ.$$

В обоих случаях предельный угол захвата не достигнут и, следовательно, можно продолжать далее калибровку по системе овал — квадрат.

Если путем только что изложенного приема вычисления ряда калибров по системе овал — квадрат получаются предельные углы захвата, то дальнейший расчет можно вести по примеру системы квадрат — ромб, т. е. вычисляя ряд квадратов и вставляя между ними ряд овалов с постоянным коэффициентом вытяжки, какой позволяют применять диаметры валков или углы захвата.

## 2. Система калибровки круг — овал

Первые опыты по изучению системы калибровки круг — овал и внедрению ее на заводах описал П. А. Александров [46].

Эта система находит все большее применение, главным образом при прокатке круглых профилей из качественной стали.

Большим преимуществом системы калибровки круг — овал является плавное формоизменение без образования острых углов и резких переходов. Отсутствие острых углов на прокатываемых полосах приводит к равномерному остыванию металла.

В смысле равномерности распределения элементарных вытяжек по сечению системы круг — овал имеет значительное преимущество перед системой овал — квадрат. Наконец, при прокатке в системе круг — овал почти вовсе устраняются складки и складочные трещины в местах свободного уширения металла.

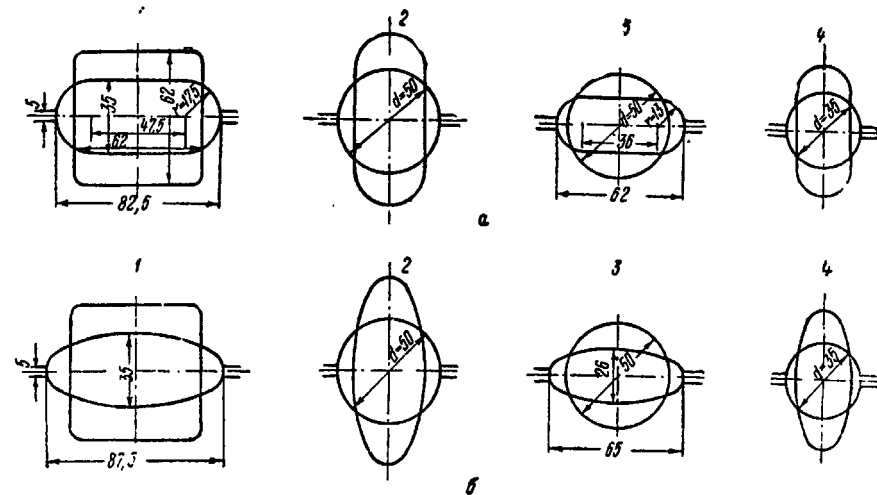


Рис. 40. Калибровка овал—круг:

а — калибровка с плоскими овалами; б — калибровка с обычными овалами

Два варианта калибровки по системе круг — овал показаны на рис. 40, а также в табл. 37.

Основным различием калибровок является форма овалов (в одной обычные эллиптические овалы, а в другой плоские).

На рис. 41 показана калибровка круглого профиля диаметром 24—33 мм на стане  $D = 300$  мм. Здесь обращает на себя внимание оригинальная форма овалов, имеющих уже не плоские боковые поверхности, а вогнутые.

П. А. Александров [35] приводит также пример калибровки круглого профиля диаметром 24—25 и 30 мм по системе круг — овал (табл. 38).

Особенностью последней является применение в третьем пропуске чернового калибра в виде неправильного круга, что вовсе не обязательно и вызвано местными условиями.

Таблица 37

Фактические величины обжатий и коэффициентов вытяжки при прокатке с калибровкой круг—овал

Форма калибра	Размеры сечения полосы мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Линейное обжатие, мм	Линейное уширение, мм	Коэффициент деформации			Угол захвата
					обжатия	уширения	вытяжки	

## Первый вариант

Квадрат . . .	64,8×66,4	4015	—	—	—	—	—	—
Плоский овал .	81,3×33,6	2500	31,2	14,9	0,52	1,22	1,61	24°00'
Круг . . . .	47,0×46,6	1760	34,3	13,1	0,58	1,18	1,42	25°40'
Плоский овал .	59,0×26,1	1220	24,5	12,0	0,47	1,25	1,44	21°00'
Круг . . . . .	35,1×34,8	940	23,9	12,7	0,59	1,57	1,30	21°15'

## Второй вариант

Квадрат . . .	64,3×63,7	3870	—	—	—	—	—	—
Эллипс . . .	77,0×39,6	2610	24,1	12,7	0,62	1,20	1,48	21°10'
Круг . . . . .	49,7×48,4	1950	27,3	8,8	0,64	1,22	1,34	20°20'
Эллипс . . . .	60,9×26,3	1400	22,1	11,0	0,54	1,22	1,36	20°00'
Круг . . . . .	36,5×36,2	1030	24,4	9,9	0,60	1,38	1,39	21°25'

Завод «Электросталь» производил прокатку готового мелко-сортного круглого профиля, пользуясь системой калибровки круг—овал [47]. Г. А. Виноградов и А. Г. Петин [48] также успешно опробовали калибровку по системе круг—овал на чистовой линии стана  $D=300$  мм.

Г. А. Виноградов предложил методику расчета калибровки круглого профиля по системе круг—овал и дал следующую формулу для определения площади плоского овала [49]:

$$Q = bh - 0,215h^2. \quad (31)$$

Плоский овал конструкции, предложенной П. А. Александровым [46], имеет большие преимущества перед обычным эллиптическим, так как устраняет затруднения в осуществлении правильного и легкого захвата овальной полосы круглым калибром.

Плоский овал хорошо идет в проводках и дает наиболее равномерное распределение элементарных вытяжек по сечению при прокатке в круглом калибре.

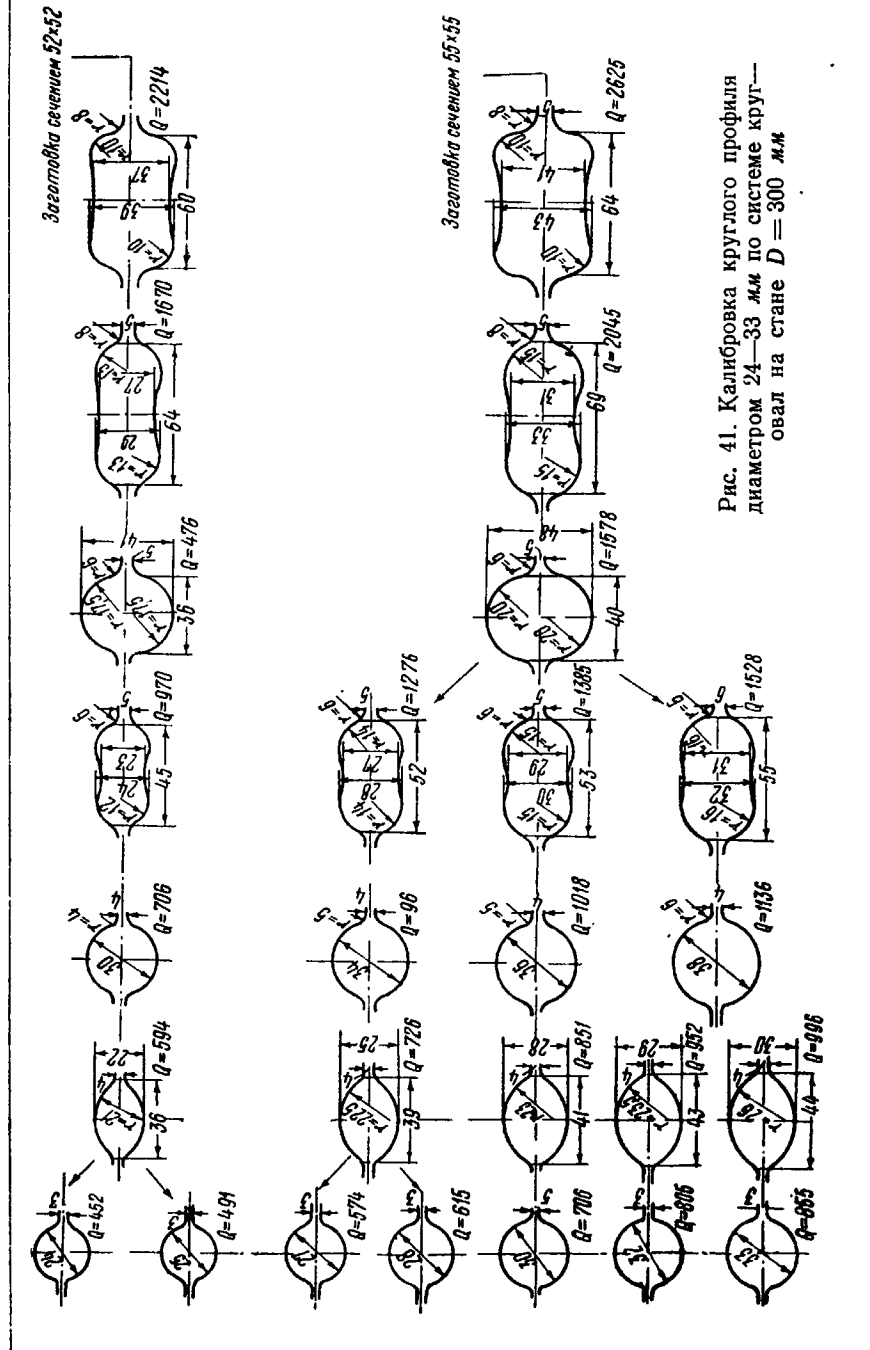


Рис. 41. Калибровка круглого профиля диаметром 24—33 мм по системе круг—овал на стане  $D=300$  мм

Таблица 38

## Калибровка круглого профиля по системе круг—овал

Форма калибра	Размеры калибра			Обжатие, мм	Уширение, мм	Коэф. деформации			Угол захвата
	высота, мм	ширина, мм	площадь, мм <sup>2</sup>			обжатия	уширения	вытяжки	

## Круглый профиль диаметром 24—25 мм

Ящичный	52	52	2700	—	—	—	—	—	—
Овал	37	60	2214	15	8	0,711	1,15	1,22	18°45'
Круг	27	64	1670	10	4	0,730	1,07	1,33	15°00'
Овал	41	36	1176	23	9	0,641	1,33	1,42	23°55'
Круг	23	46	970	13	5	0,639	1,12	1,21	17°00'
Овал	30	30	706	16	7	0,652	1,30	1,37	19°10'
Круг	22	36	594	8	6	0,733	1,20	1,19	13°15'
Овал	24	24	452	12	2	0,667	1,09	1,31	16°20'
Круг	25	25	491	11	3	0,695	1,14	1,21	15°35'

## Круглый профиль диаметром 30 мм

Ящичный	55	55	3025	—	—	—	—	—	—
Овал	41	64	2625	14	9	0,745	1,16	1,15	18°20'
Круг	31	69	2045	10	5	0,756	1,08	1,28	15°00'
Овал	48	40	1578	21	9	0,696	1,29	1,30	22°55'
Круг	29	53	1385	11	5	0,725	1,10	1,14	15°45'
Овал	36	36	1018	7	7	0,679	1,24	1,36	20°00'
Круг	28	41	854	8	5	0,758	1,14	1,19	13°30'
Овал	30	30	706	11	2	0,732	1,07	1,21	16°00'

В табл. 39 приведены калибровки круглого профиля диаметром 32 и 25 мм из стали 1035, рассчитанные нами и давшие положительные результаты при применении на чистовой линии стана  $D=300$  мм [48].

В этих калибровках все овалы, за исключением предчистовых, были плоскими. Прокатка проходила легко, гладко, несмотря на то, что количество пропусков было сокращено на два по сравнению со старой калибровкой по системе ромб—квадрат.

Таким образом, показана возможность применения системы круг—овал не только для черновых, но и для чистовых линий при прокатке круглого профиля.

Таблица 39

## Калибровка по системе круг—овал

№ пропуска	Форма калибра	H, мм	B, мм	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	$\mu$	$\Delta H-h$ , мм	$\Delta B$ , мм	$\alpha$	№ клети	Линия
------------	---------------	-------	-------	----------------------------------	-------	-------------------	-----------------	----------	---------	-------

## Круглый профиль диаметром 32 мм

0	Овал	64,4	39,0	2185	—	—	—	—	Обжимная I	Обжимная Чистовая
1	Круг	46,0	46,0	1761	1,24	18,4	7,0	17°20'	I	»
2	Овал	31,2	53,0	1444	1,22	14,8	7,0	19°00'	IV	»
3	Круг	38,0	38,0	1134	1,27	15,0	6,8	19°00'	V	»
4	Овал	28,5	48,0	960	1,18	9,5	10,0	15°00'	VI	»
5	Круг	32,5	32,5	834	1,15	10,4	3,6	15°30'		»

## Круглый профиль диаметром 25 мм

0	Овал	35,0	61,0	1870	—	—	—	—	Обжимная I	Обжимная Чистовая
1	Круг	41,3	41,3	1343	1,39	17,7	8,8	21°00'	I	»
2	Овал	22,0	49,5	995	1,35	18,2	9,3	20°30'	IV	»
3	Круг	30,0	30,0	732	1,36	19,5	8,0	21°30'	V	»
4	Овал	22,2	35,2	576	1,27	8,0	5,2	14°00'	VI	»
5	Круг	25,4	25,4	507	1,14	9,8	3,2	15°00'		»

## 3. Система калибровки квадрат—ступенька—ребро—овал—круг

Основное преимущество системы калибровки квадрат—ступенька—ребро—овал—круг заключается в получении чистой поверхности благодаря хорошему удалению окалины в ребровых калибрах. Кроме того, при этой системе устранена возможность образования складок, так как полоса, идущая из ребрового калибра в овал, обжимается меньше, чем предчистовой квадрат в системе овал—квадрат. Поэтому описываемая система нашла применение при прокатке высококачественной легированной и инструментальной стали.

На рис. 42 приведена схема прокатки круглого профиля диаметром 42—60 мм на стане  $D=360$  мм по системе квадрат—ступенька—ребро—овал—круг, а в табл. 40—данные по калибровке круглого профиля диаметром 42—60 мм [35].

Таблица 40

Калибровка круглого профиля диаметром 42—60 мм по системе  
квадрат—ступенька—ребро—овал—круг [35]

1 клеть						2 клеть		3 клеть		4 клеть	5 клеть
ромбы с углом 100°						ромб с углом 110°	квадрат с углом 91,5°	ступенька	ребро	овал	круг
Размеры сторон, мм						Размеры, мм					
95	87	79	—	—	—	—	62,0×81,5	62,7×71,0	55,75		60
95	87	79	—	—	72	70	58,0×76,5	58,5×66,0	51,3×70,0		56
95	87	79	—	—	72	66	54,5×70,0	54,0×62,0	57,7×65,0		52
95	87	79	—	—	70	62	62,0×68,0	52,5×59,6	46,0×63,0		50
95	87	79	72	72	66	60	50,0×65,0	50,0×57,0	44,0×60,0		48
95	87	79	72	66	60	55	46,0×61,0	47,3×52,5	41,5×56,0		45
95	87	79	72	66	58	53	49,0×56,0	44,0×55,6	58,8×38,5		42

Построение ребровых калибров, предназначенных для удаления окалины (рис. 42, 3), следует производить с учетом всего сортамента круглых профилей (для одной половины сортамента берется один ребровой калибр, для другой половины сорта-

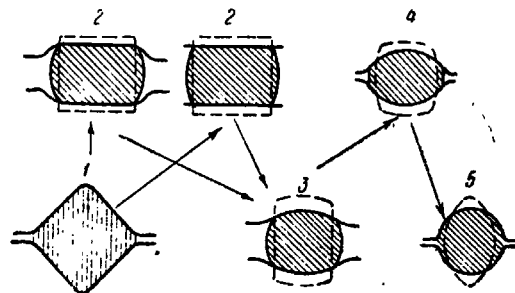


Рис. 42.  
Система квадрат —  
ступенька — ребро —  
овал — круг

мента — второй калибр). Стрела вогнутости калибра берется от 2,5 до 7,0 мм в зависимости от размера круга. Ширину калибра следует определять по формуле

$$B = 1,15d + 5 \text{ мм},$$

где  $d$  — максимальный диаметр круга той группы, для которой предназначен ребровой калибр.

Коэффициент вытяжки в ребровом калибре следует принимать в пределах 1,18—1,24 [36].

## ГЛАВА 9

### КАЛИБРОВКА КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПРОСТЫХ ПРОФИЛЕЙ

#### 1. Чистовые или отделочные калибры для круглого и квадратного профилей

Форма чистовых калибров зависит от профиля продукта прокатки и представляет почти точную копию последнего.

Так как прокатка заканчивается при температуре около 700—800°, то продукт прокатки при охлаждении до комнатной температуры сокращается в своих размерах на некоторую величину в зависимости от коэффициента расширения металла и температуры конца прокатки. Можно обеспечить точные размеры профиля проката, если линейные размеры холодного профиля умножить на 1,015—1,013, причем погрешность не превышает десятых долей процента.

Кроме этого отступления от профиля продукта, профиль ручья имеет еще некоторые другие отступления, связанные с формой профиля и влиянием на его деформацию термических условий прокатки и охлаждения.

Такого рода отступления приходится рассматривать индивидуально на каждом профиле. Рассмотрим простейшие профили.

**Круглый чистовой калибр.** Для круглого профиля рекомендуют придавать чистовому калибру форму, отступающую от окружности так, что вертикальный диаметр делается равным  $d_1 = 1,01 d$ , а горизонтальный  $b_1 = 1,02 d$ , где  $d$  — размер профиля в холодном состоянии. Основанием для этого является увеличение фактической высоты выходящей полосы вследствие упругих деформаций валков и других деталей стана в момент пропуска.

Для очень малых размеров круглого профиля, как, например, для проволоки, разница в диаметрах столь ничтожна, что ее можно не принимать в расчет при конструировании калибра. Для круглого профиля толще 10 мм можно пользоваться при вычерчивании калибра следующими приемами (рис. 43).

1. Для круглого профиля, прокатываемого в проводках, калибр вычерчивается таким образом. На взаимно перпендикулярных осях наносят вертикально  $d_1 = 1,01 d$  и горизонтально  $b_1 = 1,02 d$ ; соединяя точки  $a$  и  $b$  прямой линией, восстанавли-

вают в середине этого отрезка перпендикуляр до пересечения с линией  $bd$  в точке  $o_1$ , которая служит центром окружности, очерчивающей верхнюю половину калибра; поступая так же

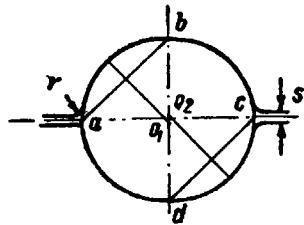


Рис. 43. Построение чистового круглого калибра

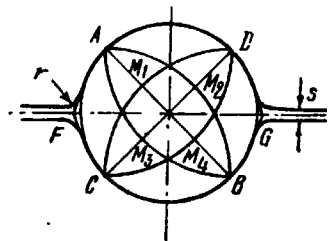


Рис. 44. Построение калибра крупного круглого профиля (способ 1)

с линией  $cd$ , находят центр  $o_2$  нижней половины окружности калибра.

Зазор  $s$  между валками делается 1—2 мм в зависимости от размера калибра. Радиус закругления  $r$  делается равным  $0,1d$ .

2. Для более крупных круглых профилей, прокатываемых без проводок, калибр вычерчивается следующим образом. Проводят круг диаметром, увеличенным на коэффициент усадки 1,015 (рис. 44), и в нем — два диаметра  $AB$  и  $CD$  под углом  $45^\circ$  к горизонтальной оси. Из концов этих диаметров, как из центров, проводят дуги  $CM_1D$  ( $CM_4D$ ) и  $AM_2B$  ( $AM_3B$ ). Из точек  $M$ ,

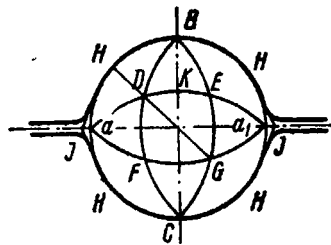


Рис. 45. Построение калибра крупного круглого профиля (способ 2)

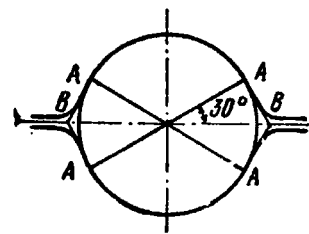


Рис. 46. Построение чистового круглого калибра

как из центров, радиусами  $M_2C$ ,  $M_1B$ ,  $M_3D$  и  $M_4A$  проводят соответственно дуги  $CF$ ,  $BG$ ,  $DG$  и  $AF$ .

Зазор  $s$  между валками делается 2—5 мм, смотря по величине калибра. Закругления радиусом  $r = 0,1d$  заканчивают профиль калибра.

3. Применяется также следующий прием вычерчивания. Чертят круг требуемого размера (рис. 45), затем из точек  $a$

и  $a_1$  радиусом  $aB$  чертят дуги  $BC$  и тем же радиусом из точек  $B$  и  $C$  — дуги, пересекающие первые в точках  $D$ ,  $E$ ,  $F$  и  $G$ ; из этих точек радиусом  $GH$  чертят кривые  $HI$ . Радиусы закруглений при  $I$  равны половине отрезка  $BK$ . В результате получается построение, тождественное с предыдущим.

4. Встречается также следующее построение. Проводят в данном круге два диаметра под углом  $30^\circ$  к горизонтальной оси (рис. 46) и через концы диаметра — касательные  $AB$  или дуги, очерченные радиусом  $AA$  из точек  $A$ . Радиус закруглений при  $B = 0,1d$ .

Предотделочный овальный калибр для круглого профиля от 25 до 50 мм при  $\mu_n = 1,02—1,03$  можно вычертить следующим образом. Чертят круг (рис. 47, а), для которого назначен овал. Делят диаметр его на три равные части. Радиусом, равным двум таким частям, чертят другой круг (рис. 47, б). Вертикальный диаметр этого круга также делят на три равные части, через  $C$  и  $D$  проводят линии, параллельные горизонтальному диаметру  $AB$ . Сегменты  $CeFf$  и  $DhEg$ , сложенные вместе, образуют

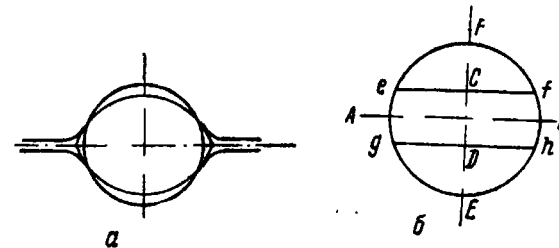


Рис. 47. Построение предотделочного овального калибра

искомый овал (рис. 47, а), который снабжается соответствующим зазором и радиусом закругления, как у овальных калибров вообще.

Квадратный чистовой калибр. Крупные сорта квадратного профиля катаются без проводок и проходят дважды отделочный калибр, причем при вторичном проходе полоса поворачивается на  $90^\circ$ .

Мелкие сорта квадратного профиля катаются в проводках, и в этом случае отделочному калибру предшествует ромбический калибр.

При крупных сортах квадратного профиля углы при вершине ручья, т. е.  $A$  и  $B$  (рис. 48) делают больше  $90^\circ$ , и чем меньше требуемый профиль, тем больше угол, величина которого колеблется между  $91,5^\circ$  и  $90,5^\circ$ . Практически это достигается тем, что горизонтальная диагональ уширяется по сравнению с верти-

кальной на 1 мм, вертикальная же определяется расчетом, как диагональ квадрата, т. е. равна 1,41 с.

В дальнейшем поступают следующим образом. На сторонах полученного ромба откладывают от вершин горизонтальных углов  $D$  и  $C$  отрезки  $ED$  и  $EC$ , равные  $\frac{1}{3}$  стороны ромба, и из

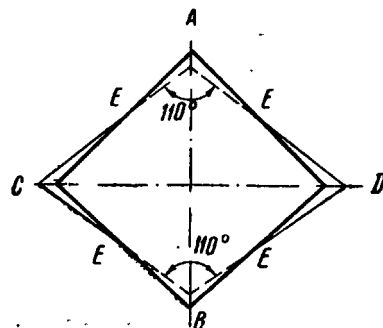


Рис. 48. Построение чистового квадратного калибра

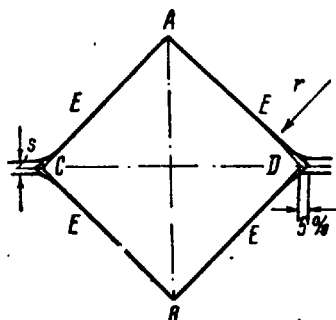


Рис. 49. Построение квадратного калибра (способ 1)

точек  $E$  уширяют калибр приблизительно на 5% в каждую сторону посредством прямой или дуги окружности радиуса  $r = 0,5 AB - 0,5 s$  (рис. 49). Зазор между валками  $s = 2-3$  мм.

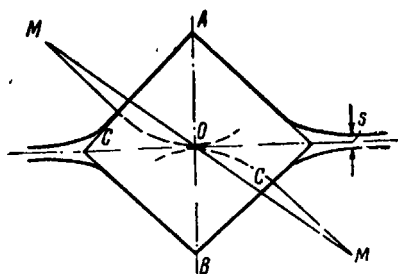


Рис. 50. Построение квадратного калибра (способ 2)

Другой способ определения упомянутых уширений состоит в том, что через точки  $E$  (рис. 48) проводят линии, пересекающиеся под углом  $110^\circ$ .

Применяется также следующий прием (рис. 50). При точках  $A$  и  $B$  строится угол  $90,5-91,5^\circ$ . Из точек  $A$  и  $B$ , как из центров, радиусом, равным  $AO$  и  $BO$ , описываются дуги  $OC$ . В точках  $C$  восстанавливаются перпендикуляры к сторонам ромба и из точек  $M$

радиусом, равным стороне квадрата, вычерчиваются дуги, проходящие через точку  $C$ , которые и завершают построение калибра после нанесения зазора между валками.

При мелких сортах квадратного железа (25 мм и меньше), которые катают в проводках, углы делают  $90^\circ$  и калибр не уширяют. Зазор между валками в этом случае равен 1 мм.

## 2. Подготовительные калибры для круглого и квадратного профилей

Подготовительными калибрами для круглого и квадратного профиля обычно служат калибры по системе овал — квадрат, с построением которых мы уже познакомились выше.

Чистовому калибру круглого профиля предшествует один, а иногда два овала — чистовой овал и «предовал». Чистовому овалу или «предовалу» предшествует предчистовой квадрат с притупленными углами. После этого следует обычная калибровка, описанная выше для подготовительных станков, большей частью по системе квадрат — овал.

Чистовому калибру квадратного профиля предшествует один или два ромба и затем квадрат с непритупленными углами. Далее, как и для круглого профиля, большей частью следует калибровка по системе квадрат — овал.

Ниже приводятся табл. 41 и 42 для построения трех последних калибров круглого и квадратного профиля. Эти таблицы основаны на практических данных, собранных разными авторами.

Для каждого размера круглого (квадратного) профиля по табл. 41 должен быть выточен специальный предотделочный овальный (ромбический) калибр, пригодный только для данного размера круглого (квадратного) профиля; иногда также бывает необходимо построить еще следующий калибр определенных размеров. Остальные калибры обычно являются общими для нескольких размеров круглого (квадратного) профиля.

Таким образом, при прокатке того или другого размера обязательно приходится вновь устанавливать или сменять только последние 2—3 валка, прочие же валки остаются несменяемыми для ряда профилей.

Чем, больше профилей могут обслуживать одни и те же калибры подготовительных и обжимных клетей, тем лучше, так как при этом сокращается парк валков, уменьшается время на смену и установку их и повышается, следовательно, коэффициент использования стана.

Калибровщики заводов выработали формулы для определения размеров предчистового овала.

Так, например, на заводе им. Петровского

$$b = 1,25d + 2,5 \text{ мм};$$

$$h = 0,94d - 1,0 \text{ мм}.$$

На заводе им. Дзержинского

$$b = 1,25(d - 8) + 14 \text{ мм};$$

$$h = 0,94(d - 8) + 6,2 \text{ мм}.$$

Если преобразовать последние выражения, то получим

$$b = 1,25d + 4 \text{ мм}; h = 0,94d - 1,32 \text{ мм}.$$

На основании этого П. А. Александров [35] предлагает

$$b = 1,3d + 2 \text{ мм}; h = 0,99d - 1,6 \text{ мм}.$$

Способ, предложенный Д. И. Осикиным [50], заключается в использовании формулы

$$h = xd,$$

где  $x$  — коэффициент, меняющийся в зависимости от диаметра катаемого профиля  $d$ . Площадь овала определяется исходя из вытяжки в круге, равной 14%. Определение  $b$  производится по  $Q$  и  $h$  с помощью табл. 36.

Для определения размеров предчистового квадрата при прокатке круглого профиля наиболее приемлемой является формула М. П. Галемина [51]

$$c = 1,1d - 1,0 \text{ мм}.$$

При построении предчистовых овалов ширину следует брать равной ширине чистового овала, а толщину — равной толщине чистового овала плюс половина абсолютного обжатия от предчистового квадрата к чистовому овалу.

Основание предчистового овала должно представлять собой дугу, описанную радиусом, равным вертикальной оси предчистового овала. В качестве предчистового овала могут применяться и чистовые овалы.

### 3. Чистовые овалы

Чистовые овалы для круглого профиля диаметром до 50 мм рекомендуется строить одним радиусом, так как овалы, построенные двумя радиусами, дают профиль с тупыми вершинами, вследствие чего полосы, задаваемые в них из предчистового квадрата или овала, не освобождаются от окалина.

При прокатке круглого профиля диаметром более 50 мм овальные калибры можно строить и одним и двумя радиусами. Ширину овала при  $\mu = 1,12—1,14$  рекомендуется брать равной  $1,35—1,70 d$ , в зависимости от размера круга и требуемой точности прокатки [36].

### 4. Калибровка круглого профиля и проволоки

При выточке чистовых калибров для прокатки круглого профиля, который именуют «круглое», руководствуются описанными выше правилами.

Круглое диаметром 4—12 мм называется проволокой<sup>1</sup>, если поставляется в виде бунтов. Чаще, однако, проволоку катают диаметром 5—8 мм. Круглое выше 8 мм поставляется главным образом в виде прутков.

Толщина проволоки обычно имеет переходы в 0,5 мм.

Размеры предотделочного овала и квадрата определяются табл. 42 для проволоки и круглого профиля, где  $d$  — диаметр готового продукта в холодном состоянии,  $h$  — высота овала в калибре,  $b$  — ширина овала в калибре.

Для проволоки небольшие отклонения от приведенных соотношений в высоте овалов и квадратов не имеют существенного значения, так как компенсируются установкой (настройкой) валков. Поэтому можно применять следующие формулы для элементов предотделочных овалов:

$$h = 0,99d - 1,6 \text{ мм},$$

$$b = 1,3d + 2 \text{ мм};$$

причем считается, что ширина выходящего из калибра прутка  $b_p = 1,18 d + 2 \text{ мм}$ , так как овальный калибр не заполняется вполне. Для придания овалу точной высоты между валками оставляется зазор  $s$ , величина которого должна превышать «игру» валков. «Игра» валков получается вследствие зазоров у подушек, а также вследствие упругой деформации деталей клетки стана.

Для круглого принимают зазор:

Для проволоки . . . . .	$s = 0,5 - 1 \text{ мм}$
Диаметром 40 мм . . . . .	$s = \text{до } 4,5 \text{ мм}$
» до 200 мм . . . . .	$s = \text{до } 13 \text{ мм}$

Приведенные зазоры рассчитаны также на возможность установки валков при прокатке в данном калибре более тонких размеров круглого.

При пропуске в чистовом калибре овал, поставленный на ребро при помощи проводки, имеет высоту большего диаметра круглого калибра, но уже его на величину уширения.

Уширение для проволоки принимается 1,5—2 мм, сообразно чему и выбирается толщина овала. Если при прокатке в чистовом калибре получается заусенец, то толщину овала уменьшают путем соответствующей установки валков в предотделочной клетке, и наоборот, — если чистовой калибр полностью не заполняется и проволока получается овальной, то соответственно увеличивают толщину овала также установкой валков.

<sup>1</sup> На ряде заводов горячекатаную проволоку называют катанкой, в отличие от протянутой в холодном состоянии, именуемой проволокой. Ред.

Имея в виду сказанное, иногда для всех размеров круглого от 10 до 16 мм дают уширение, равное 2 мм.

Форма овала имеет значение не только в смысле получения требуемого коэффициента вытяжки, но и обеспечения хорошего удерживания его проводкой и облегчения вальцовщику задачи полосы в валки.

Чем более овал сплюснут, тем легче работа вальцовщика, тем лучше предотвращается свертывание полосы в ручье, но зато тем больше отступление от точного размера продукта прокатки.

Приведенные обстоятельства объясняют выработанные практикой отношения  $\frac{b}{h}$  в овальном калибре, указанные в табл. 41.

Таблица 41

Отношение  $\frac{b}{h}$  в овальных калибрах

d, мм	Овал		Сторона квадрата c, мм
	$\frac{h}{d}$	$\frac{b}{h}$	
5—7	0,69—0,78	2,35—2,5	d
7—9	0,75—0,85	1,75—2,10	d
9—11	0,80—0,85	1,67—1,80	d + (0,25 ÷ 0,5 мм)
12—15	0,80—0,87	1,6—1,7	d + 1 мм
16—20	0,87—0,90	1,5—1,6	d + 2 мм
21—25	0,90—0,92	1,47—1,5	d + 3 мм
26—35	0,90—0,94	1,47—1,5	d + 3 мм
36—40	0,90	1,4—1,5	d + (4 ÷ 7 мм)
42—50	0,91	1,4	d + (8 ÷ 12 мм)
52—60	0,92	1,4	d + (12 ÷ 15 мм)
65—80	0,92	1,4	d + (12 ÷ 15 мм)

Размеры предотделочного квадрата должны быть определены более точно, чем размеры овала, так как они обеспечивают требуемую площадь сечения металла в овале, несмотря на регулировку толщины последнего настройкой валков.

При пропуске квадрата в утолщенном установкой валков овале полоса уширяется меньше, и наоборот, пропуск квадрата в сжатом овале сопровождается большим уширением. Принимая в себя определенного размера квадрат, овальный калибр независимо от установки валков выпускает равновеликое ему по площади круглое сечение.

Таким образом, точность предотделочного квадрата обеспечивает точность круглого профиля. В табл. 42 приведены размеры

предотделочного квадрата, которых рекомендуется придерживаться.

В отношении проволоки сказанное подтверждается действующими примерами калибровки трех последних ручьев для проволоки, собранными различными авторами и сведенными в табл. 42.

Таблица 42

Размеры трех последних калибров для проволоки

Авторы	Квадрат	Овал	Круг
	c, мм	b + h, мм	d, мм
Фейлянд . . . . .	5	8,66×3,4	5
Брово . . . . .	5,25	8,7×3,5	5
» . . . . .	5	8,0×3,75	5
Вюст и Бауэр . . . . .	5	8,0×3,5	5
» . . . . .	5	8,2×3,5	5
» . . . . .	5	8,0×3,0	5
» . . . . .	5	8,5×3,5	5
» . . . . .	5	8,75×3	5
«Хютте» металлургический . . . . .	5	8,5×3,8	5
» . . . . .	5,5	9,5×4,0	5,5
» . . . . .	6	10,5×4,3	6
» . . . . .	6,5	11,0×4,5	6,5
» . . . . .	7	12,0×5,0	7
» . . . . .	8	13,0×6,0	8
» . . . . .	9,5	14,0×6,75	9
» . . . . .	10,5	16,0×7,5	10

Из табл. 42 видно, что в то время, как для одного и того же размера проволоки (5 мм) размеры овала различны, — размеры квадрата вполне постоянны (за исключением одного случая).

Точность профиля проволоки зависит от установки овала, от длины проволоки и от температуры заготовки. Колебание температуры заготовки влечет за собой большую игру валков, большее уширение, а следовательно, и большее выполнение чистового калибра. Чем длиннее проволока, тем больше разница температуры переднего и заднего конца ее, а следовательно, и разница в форме сечения ее по длине; горячий конец проволоки не будет выполнен, она будет овальна; задний конец может иметь заусенец вследствие переполнения калибра. Для прокатчика выгоднее производить овальную проволоку во избежание безусловного брака из-за заусенцев, но это противоречит интересам заказчика. Это обстоятельство ставит предел длине прокатываемой проволоки и затрудняет повышение производительности стана. Возможно большая скорость прокатки обеспе-



чивает высокую или более равномерную температуру проволоки по длине и способствует понижению брака и овальности.

Калибровка следующих, так называемых вытяжных, ручьев производится по знакомой нам системе квадрат — овал. Однако вытяжки здесь рекомендуется брать несколько меньшие, чем при прокатке более толстых профилей, во избежание быстрого износа калибров и, следовательно, частой смены валков.

При вычислении площадей вытяжных калибров можно пользоваться приведенными ранее формулами для коэффициента приращения вытяжки от квадрата к овалу

$$\delta_n = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{Q_n}}$$

и от овала к квадрату

$$\delta_n = \sqrt{160 \sqrt{Q_n}}$$

Для определения линейных размеров овальных калибров проволочного стана составлена табл. 43.

Таблица 43

Определение размеров овальных калибров проволочного стана

$\frac{b}{h}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$
1,67	0,9445	1,1870	2,35	1,6300	1,6230
1,70	0,9730	1,2083	2,40	1,6900	1,6553
1,75	1,0156	1,2400	2,41	1,7069	1,6625
1,80	1,0600	1,2700	2,44	1,7425	1,6792
2,08	1,3333	1,4512	2,50	1,8125	1,7185
2,18	1,4375	1,5146	2,75	2,1400	1,8800
2,25	1,5156	1,5585	2,85	2,2800	1,9400
2,30	1,5725	1,5967	3,00	2,5000	2,0356

Кроме указанных выше приемов расчета ряда калибров приходится решать задачу сведения к минимуму числа калибров, а следовательно, и парка валков, способных обслуживать прокатку возможно более широкого сортамента на данном стане. Поэтому следует вырабатывать не калибровку отдельных профилей, а калибровку валков данного стана. Это в особенности относится к проволочным, мелкосортным и среднесортным станам.

Для пояснения сказанного приведем калибровку проволочного стана, при этом мы остановимся и на ряде других факторов, определяющих калибровку.

## 5. Калибровка проволочного стана

Проволока прокатывается обычно: 1) из заготовки сечением от  $150 \times 150$  до  $80 \times 80$  мм при длине от 900 до 1700 мм, иногда 2500 мм; 2) из заготовки, получаемой в непрерывных станах, сечением от  $65 \times 65$  до  $35 \times 35$  мм, большей частью  $50 \times 50$  мм, при длине преимущественно от 3,5 до 9 м, но также (реже) при длинах от 1,7 до 3,2 м.

Сказанное подтверждается табл. 44, где приведены размеры заготовок действующих проволочных станов.

Таблица 44

Размеры заготовок действующих проволочных станов

Сечение мм	Длина мм	Приблизит. вес, кг	Сечение мм	Длина мм	Приблизит. вес, кг
150×150	850	140	63×63	2500	75
125×125	1400	165	63×63	9000	280 <sup>a</sup>
125×125	1500	180	55×55	2600	50
120×120	1700	180 <sup>1</sup>	50×50	3200	60
120×120	450	51	50×50	4200	80
100×100	1000	79	50×50	9000	170
100×100	900	72	50×50	8200	160
100×100	1700	134	50×50	4450	105
100×100	1250	100	47×47	3400	60
95×95	2550	190	47×47	8500	145
90×90	1200	85	44×44	9000	135
65×65	9000	300	35×35	9000	86
65×65	1700	58			

<sup>1</sup> Из заготовки получаются три мотка проволоки весом по 60 кг.

<sup>a</sup> Для толстой проволоки диаметром около 10 мм.

Разнообразие размеров исходного материала зависит от системы стана и принятого веса бунта проволоки.

Наибольшее распространение при прокатке проволоки имеют ступенчатые, полунепрерывные и непрерывные станы.

Расчет калибровки проволочного стана. Приведем расчет калибровки валков для прокатки проволоки диаметром от 5 до 9,5 мм из заготовки  $50 \times 50$  мм. Результаты расчета поместим в табл. 45.

Прежде всего определяем площадь  $Q$  горячего чистового профиля, принимая коэффициент 1,015, и помещаем ее в графе 2.

Калибровка проволоки

№ калибра	Форма калибра	Ø 5 мм		Ø 5,25 мм		Ø 5,5 мм		Ø 6 мм		Ø 6,25 мм	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²
1	Круг . . .	1,08	20,22	1,08	22,3	1,08	24,36	1,08	28,13	1,08	31,55
2	Овал . . .	1,14	21,94	1,18	24,08	1,15	27,11	1,2	30,38	1,18	34,08
3	Квадрат . .	1,2	25,0	1,2	27,60	1,21	30,5	1,22	36,00	1,22	40,0
4	Овал . . .	1,3	30,0	1,31	34,08	1,31	37,68	1,29	44,73	1,33	49,04
5	Квадрат . .	1,22	39,0	1,22	44,64	1,23	49,36	1,24	57,7	1,25	65,22
6	Овал . . .	1,33	49,02	1,34	54,46	1,35	60,71	1,37	71,55	1,38	81,55
7	Квадрат . .	1,25	65,2	1,25	72,98	1,27	81,96	1,28	98,02	—	112,5
8	Овал . . .	1,38	81,5	1,39	91,23	1,4	104,09	1,42	125,46	—	—
9	Квадрат . .	—	112,5	—	126,81	—	145,73	—	178,15	—	—
	Среднее . .	1,24	—	1,24	—	1,25	—	1,26	—	1,237	—

Так, например, горячий профиль для проволоки толщиной 5 мм определяется из диаметра  $5 \cdot 1,015$  по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14(5 \cdot 1,015)^2}{4} = 20,22 \text{ мм}^2.$$

Для нахождения площади предотделочного овала надо брать коэффициент вытяжки в чистовом калибре.

Вытяжка в чистовом калибре, как уже было выяснено выше, должна быть очень небольшой. Обычно коэффициент вытяжки  $\mu$  колеблется в пределах от 1,07 до 1,15. Чем больше толщина проволоки, тем больше можно брать  $\mu$ .

Выберем, например, в данном случае  $\mu = 1,08$ .

Отсюда находим  $Q_2$  для овала:

$$Q_2 = 1,08 \cdot 20,22 = 21,94 \text{ мм}^2,$$

что и ставим в графе 2.

Площадь 3-го квадратного калибра определяется по стороне квадрата, равной диаметру проволоки, т. е.

$$Q_3 = d^2 = 5^2 = 25 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки квадрата в овале

$$\mu = \frac{Q_3}{Q_2} = 1,14,$$

что и помещаем в графе 1.

Таблица 45

диаметром 5,0 ÷ 9,5 мм

Ø 6,5 мм		Ø 7 мм		Ø 7,5 мм		Ø 8 мм		Ø 8,5 мм		Ø 9 мм		Ø 9,5 мм	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²	±	Q, мм²
1,10	34,2	1,10	39,63	1,10	45,46	1,10	51,76	1,12	58,43	1,12	65,5	1,12	72,01
1,16	37,62	1,16	43,59	1,16	50,0	1,16	56,94	1,14	65,94	1,16	73,37	1,16	81,66
1,23	43,56	1,24	50,48	1,24	57,91	1,25	65,94	1,26	76,04	1,27	85,2	1,28	94,67
1,34	53,58	1,36	62,6	1,37	71,98	1,38	82,72	1,40	95,81	1,41	108,2	1,42	121,2
1,26	71,8	1,27	85,12	1,28	98,60	—	113,74	—	134,14	—	152,55	—	172,1
1,39	90,47	1,41	108,1	1,42	126,2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	125,74	—	152,5	—	179,5	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,24	—	1,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

В дальнейшем для вычисления  $\mu$  применяем формулу приращения коэффициентов вытяжки овала в квадрате

$$\delta = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{Q_{\text{ов}}}}$$

и

$$\mu = 1 + \frac{\delta}{100}.$$

Так,

$$\delta_3 = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{25}} = 19,9$$

и

$$\mu = 1,199 \text{ или } 1,2 \text{ (графа 1).}$$

Отсюда площадь овала

$$Q_4 = 25 \cdot 1,2 = 30,0 \text{ мм}^2 \text{ (графа 2).}$$

Площадь квадрата  $Q_5$  определяем по  $\mu_4$  из формулы приращения

$$\delta_4 = \sqrt{160 \sqrt{Q_4}} = 29,85\%;$$

$$\mu = 1,3 \text{ (графа 1),}$$

откуда

$$Q_6 = 30,0 \cdot 1,3 = 39 \text{ мм}^2 \text{ (графа 2).}$$

Аналогично изложенному, находим по  $\delta_5$ 

$$\mu_5 = 1,22.$$

Продолжая указанный расчет, заполняем табл. 45 и для проволоки диаметром 5,25; 5,5; 6; 6,25; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9 и 9,5 мм.

Ограничиваем пока вычисление восемью калибрами, так как чистовая линия обычно не содержит более восьми пропусков.

Поступающий в 8-й калибр квадрат имеет площадь 112,5 мм, т. е. сторону около 10,6 мм, поэтому для остальных диаметров проволоки ведем расчет лишь до получения квадрата, ближайшего к 10,6 мм.

Рассматривая табл. 45, видим, что исходные квадраты можно разбить на группы по равенству площадей, указанные в табл. 46.

Таблица 46

Размеры исходных квадратов

Число пропусков, п	Диаметр, мм	Q, мм <sup>2</sup>	c, мм	Диаметр, мм	Q, мм <sup>2</sup>	c, мм	Диаметр, мм	Q, мм <sup>2</sup>	c, мм	Диаметр, мм	Q, мм <sup>2</sup>	c, мм
8	5	112,5	10,6	5,25	126,81	11,26	5,5	145,73	12,07	6	178,15	13,4
6	6,25	112,5	10,6	6,5	125,74	11,21	7	152,5	12,35	7,5	179,5	13,4
4	8	113,74	10,7	8,5	134,14	11,68	9	152,55	12,36	9,5	172,1	13,12

Из табл. 46 видно, что исходные квадраты для всех случаев весьма близки друг к другу, а именно 10,6—13,4; можно принять в среднем для всех один исходный квадрат 12 мм.

Далее мы видим, что по числу пропусков прокат распределяется на три группы: Ø5—6 мм — в 8 пропусков; Ø6,25—7,5 мм — в 6 пропусков; Ø8—9,5 мм — в 4 пропуска.

Последние три пропуска для каждого размера проволоки должны иметь отдельные калибры; но остальные калибры можно иметь общие для всех размеров проволоки, так как исходный квадрат может быть один общий для всех с сечением 144 мм<sup>2</sup> или 12×12 мм.

Для определения площадей калибров перенесем найденные в табл. 46 сечения калибров в табл. 47.

Таблица 47

Площадь сечения калибров (мм<sup>2</sup>)

Диаметр, мм	№ калибра								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	квадрат	овал	квадрат	овал	квадрат	овал	квадрат	овал	круг
5,0	113	82	65	49	40	31	25,00	21,94	20,22
5,25	127	91	73	54	45	34	27,62	24,08	22,30
5,5	145	104	82	61	49	38	30,50	27,11	24,36
6,0	178	125	98	72	58	45	36,00	30,38	28,13
6,25	113	82	65	49	—	—	40,00	34,08	31,55
6,5	126	90	72	54	—	—	43,56	37,62	34,20
7,0	152	108	85	63	—	—	50,48	43,59	39,63
7,5	179,2	126	99	72	—	—	57,91	50,00	45,46
8,0	114	82	—	—	—	—	65,94	56,94	51,76
8,5	134	96	—	—	—	—	76,04	65,94	58,43
9,0	153	108	—	—	—	—	85,20	73,37	65,50
9,5	172	121	—	—	—	—	94,67	81,66	72,91
Среднее	144	100	81	60	48	37	—	—	—

Найдя средние арифметические значения площадей в каждом вертикальном столбце, можно принять найденные площади за площади общих калибров.

Остается определить линейные размеры найденных калибров, что мы и делаем в табл. 48.

Стороны квадратов определяются по формуле  $c = \sqrt{Q}$ , за исключением предотделочного квадрата, для которого принимаем  $c = d$ .

Элементы овалов  $h$  и  $b$  определяются при помощи табл. 43, за исключением предотделочного калибра, элементы которого определяют по табл. 41, выбирая для более тонких профилей по табл. 49 низшие пределы отношения  $\frac{h}{d}$  и высшие  $\frac{b}{h}$ .

Зная  $d$ , легко находим по отношению  $\frac{h}{d}$  высоту  $h$ ; получив  $h$ , находим по отношению  $\frac{b}{h}$  ширину  $b$ . Найденные значения  $b$  и  $h$ , а также и  $c$  для предотделочных калибров занесем в табл. 48.

Контроль на уширение  $\Delta B$  показывает, что оно получилось в пределах, данных выше для проволоки.

Таблица 48

Линейные размеры калибров (мм)

Диаметр, мм	№ калибра									ΔВ, мм
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
	квадрат	овал	квадрат	овал	квадрат	овал	квадрат	овал	круг	
5,00	12	7,15×23	9	5,9×15	7	4×12	5,00	3,5×8,75	5,08	1,58
5,25	12	7,15×23	9	5,9×15	7	4×12	5,25	3,70×9,1	5,33	1,63
5,50	12	7,15×23	9	5,9×15	7	4×12	5,50	4,00×9,6	5,58	1,58
6,00	12	7,15×23	9	5,9×15	7	4×12	6,00	4,40×10,2	6,09	1,69
6,25	12	7,15×23	9	5,9×15	—	—	6,25	4,10×10,6	6,34	1,64
6,50	12	7,15×23	9	5,9×15	—	—	6,50	5,00×11,0	6,60	1,60
7,00	12	7,15×23	9	5,9×15	—	—	7,00	5,50×11,6	7,11	1,61
7,50	12	7,15×23	—	—	—	—	7,50	6,01×12,0	7,61	1,60
8,00	12	7,15×23	—	—	—	—	8,00	6,60×12,6	8,12	1,2
8,50	12	7,15×23	—	—	—	—	8,50	7,2×13,0	8,63	1,43
9,00	12	7,15×23	—	—	—	—	9,25	7,8×13,7	9,14	1,33
9,50	12	7,15×23	—	—	—	—	10,00	8,2×14,0	9,64	1,44

Таблица 49

Таблица элементов овалов

Диаметр	$\frac{h}{d}$	$\frac{b}{h}$	Диаметр	$\frac{h}{d}$	$\frac{b}{h}$
5	0,69	2,5	7	0,77	2,1
5,25	0,70	2,45	7,5	0,79	2,0
5,5	0,71	2,40	8	0,81	1,9
6	0,73	2,3	8,5	0,83	1,8
6,25	0,74	2,25	9	0,85	1,75
6,5	0,75	2,2	9,5	0,85	1,7

При вычислении элементов овалов вытяжных ручьев чистой линии некоторые авторы толщину овала определяют по формуле

$$h = c - 0,05\delta,$$

где  $c$  — сторона ближайшего меньшего квадрата, а  $\delta$  — приращение коэффициента вытяжки в нем.

Определив  $h$  и зная  $Q$ , пользуемся табл. 43 для нахождения отношения  $\frac{b}{h}$ , а следовательно, и ширины  $b$ , как это было уже

показано на примере раньше. Результаты вычислений помещены в табл. 48. Приведенный расчет калибровки хорошо согласуется с заводскими данными.

Остается прокалибровать черновые калибры для прокатки заготовки из  $50 \times 50$  в  $12 \times 12$  мм или из  $100 \times 100$  в  $12 \times 12$  мм.

Обычно калибровка здесь проводится по системе квадрат — овал, уже изложенной раньше. Поэтому излишне рассчитывать ее вновь, приведем лишь в табл. 50 ее окончательные результаты.

Таблица 50

Калибровка овал—квадрат для прокатки проволоки

№ пропуска	Q, мм²	μ	Размер калибра, мм	Форма калибра
9	144	1,31	12	Квадрат
10	189	1,47	11×26	Овал
11	277	1,36	17	Квадрат
12	377	1,56	15×37	Овал
13	588	1,44	24	Квадрат
14	847	1,70	22×56	Овал
15	1444	1,27	38	Квадрат
16	1834	1,40	33×56	Овал
Исходный	2500	—	50	Квадрат

## 6. Калибровка сортовых станов

### а) Калибровка круглого профиля

Калибровка сортовых станов для прокатки круглого производится аналогично калибровке для прокатки проволоки.

Три последних калибра для каждого размера круглого должны быть особыми и вычисляются при помощи табл. 41.

Остальные калибры могут быть общими для ряда круглых сечений и опередаются уже известными нам приемами по системе овал — квадрат.

Остановимся на некоторых особенностях калибровки круглого профиля диаметром больше 13 мм.

Для круглого профиля 13—36 мм рекомендуется применять перед подготовительными квадратами вместо овала ромб с площадью, вычисленной как для овала. Дальнейшие калибры, как обычно, строятся по системе квадрат — овал.

При калибровке круглого профиля углы квадратов и ромбов обязательно закругляются.

Для круглого больше 26 мм часто один предотделочный овал делается для 2—4 чистовых калибров соседних размеров, причем толщина овала регулируется установкой валков.

Для вычисления площади овалов можно пользоваться формулой

$$Q = \frac{2bh}{3} \quad \text{или} \quad Q = \frac{2bh}{2,85}.$$

Вытяжку в чистовом калибре рекомендуется брать 1,14, уширение  $\Delta B = 2 \div 4$  мм.

Например, для диаметра 30 мм толщина овала

$$h = d - \Delta B = 28 \text{ мм.}$$

Отсюда из выражения для  $Q$

$$b = \frac{3Q}{2h} = \frac{3 \cdot 1,14 \pi 30^2}{2 \cdot 4 \cdot 28} = 43 \text{ мм.}$$

Определение овала по табл. 41 дает:

$$h = 0,90 \cdot 30 = 27,0 \text{ мм;}$$

$$b = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ мм.}$$

Результат получается в обоих случаях почти тождественный.

Для круглого профиля толще 80 мм рекомендуется специальный овал, построенный по следующим данным (рис. 51):

$$b = 1,288d; \quad h = 0,93d; \quad R = d - 1;$$

$$R_1 = 0,74d; \quad R_2 = 0,38d.$$

Прокатка круглого профиля не в проводках, а в клещах в настоящее время почти совершенно не применяется, так как она: 1) возможна лишь для полос не длиннее 8—10 м (более длинные полосы нельзя удержать клещами от свертывания); 2) не позволяет работать с большой скоростью; 3) понижает производительность стана. Поэтому калибровка для прокатки вручную здесь не рассматривается.

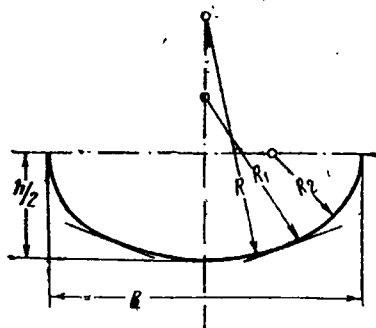


Рис. 51. Построение овально-го калибра для круглого профиля толще 80 мм

В своей работе станы перекрывают один другой; таким образом, размеры 19—25 мм могут прокатываться на станах 250 и 300, размеры 25—45 мм — на станах 300 и 350 и размеры 38—65 мм — на станах 350 и 450.

Таблица 51

Европейская практика

Стан	Профиль	Размеры, мм
260	Круглый	8—25
	Квадратный	8—20
300	Круглый	10—35
	Квадратный	10—30
350	Круглый	20—45
	Квадратный	20—40
400/450	Круглый	30—55
	Квадратный	30—50
500/550	Круглый	50—80
	Квадратный	50—80
600/650	Круглый	60—120
	Квадратный	60—120
700/750	Круглый	80—170
	Квадратный	80—150
800/850	Круглый	90—220
	Квадратный	90—180
900/950	Круглый	100—300
	Квадратный	100—250

Таблица 52

Американская практика

Стан	Профиль	Размеры, мм	Перекрытия, мм
250	Круглый	9,5—25	19—25
	Квадратный	8,5—22	17—22
300	Круглый	19—45	19—25
	Квадратный	17—40	17—22
350	Круглый	25—65	25—4
	Квадратный	22—60	22—40
450	Круглый	38—125	38—65
	Квадратный	35—110	35—60

Если круглый профиль толще 120—150 мм требуется в небольших количествах, то и эти размеры могут быть прокатаны на станах 450, что имело место на станах с короткими валками в шахматном или непрерывном расположении.

Общие калибры для ряда профилей каждого стана находятся методом, изложенным при решении этой задачи для проволоки, поэтому не будем здесь проводить подобных расчетов.

#### б) Калибровка квадратного профиля

Для получения строго квадратного профиля помимо чистового калибра, построение которого было описано выше, необходимы предотделочный ромбический и затем квадратный калибры.

Элементы предотделочного ромба (развала) определяются на основании следующих данных.

Построение чистового калибра для квадрата толщиной в холодном состоянии производится, исходя из размера горячего профиля.

$$c_1 = (1,012 \div 1,015)c.$$

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре принимается

$$\mu = 1,11 \div 1,15,$$

причем меньшие коэффициенты берутся для более крупных, а большие — для более мелких профилей.

Уширение в чистовом калибре принимается:

1) при  $c < 20$  мм

$$\Delta B = 1,5 \div 2 \text{ мм},$$

2) при  $c > 20$  мм

$$\Delta B = 2 \div 3 \text{ мм}.$$

Таким образом, площадь предотделочного ромба

$$Q_2 = 1,11 \div 1,15c_1^2.$$

Также элементы ромба  $h$  и  $b$

$$h_2 = 1,41c - (1,5 \div 2) \text{ мм},$$

$$h_2 = 1,41c - (2 \div 3) \text{ мм},$$

$$b_2 = \frac{2Q_2}{h_2}.$$

Хуже строить ромб по углу при вершине, как это рекомендуется в справочнике Хютте, так как неточность в построении углов влечет за собой большие погрешности в величине  $b_2$ , которую, следовательно, все равно приходится проверять расчетом по площади ромба.

Размер предотделочного квадрата не требует слишком точного определения, так как размеры выходящей из него полосы легко регулируются установкой валков. Поэтому диагональ предотделочного квадрата  $h_3$  можно брать равной горизонтальной диагонали предотделочного ромба  $b_2$ , не предусматривая уширения, т. е.

$$h_3 = b_2.$$

Но лучше принимать уширение  $\Delta B = 1,5 \div 3$  мм; тогда

$$h_3 = b_2 - \Delta B.$$

Рекомендуется для квадратного профиля 5—25 мм коэффициент вытяжки в предчистовом ромбе  $\mu_2$  принимать равным  $1,26 \div 1,35$ , что дает возможность найти площадь чернового квадрата

$$Q_3 = \mu_2 Q_2$$

и, следовательно,

$$c_3 = \sqrt{Q_3}.$$

При этом рекомендуется давать два предотделочных ромба — предчистовой и черновой — и черновой квадрат, размеры которых можно найти по следующим данным:

Диаметр, мм	$\mu_1$	$\mu_2$
5—7,5	1,25—1,20	1,33—1,29
8—10,5	1,20—1,15	1,29—2,28
11—13,5	1,15—1,13	1,28—1,27
14—16,5	1,13—1,12	1,27—1,27
17—19,5	1,12	1,26
20—25	1,11	1,26

Размеры чернового ромба определяют, принимая уширение в предчистовом ромбе

$$\Delta B_2 = 2 \div 3,5 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$h_3 = b_2 - (2 \div 3,5) \text{ мм};$$

$$b_3 = \frac{2Q_3}{h_3}.$$

Размеры чернового квадрата можно брать по правилам, указанным выше, т. е.

$$h_4 = b_3$$

или

$$h_4 = b_3 - \Delta B_3.$$

В смысле работы проводок сказанное о предотделочном овале для круглого профиля действительно и для предотделочного ромба при прокатке квадратного сечения.

Точно так же здесь действительно и все сказанное о прокатке без проводок. Однако прокатка вручную квадратных профилей толще 35 мм имеет более широкое применение, чем прокатка круглых. При этом ряд чистовых калибров, предшествующих данному, может служить в качестве предотделочных калибров.

В этом случае чистовые калибры имеют специальную конструкцию, предусматривающую уширение металла при службе их в качестве предотделочных, как это было указано ранее при рассмотрении конструкций чистовых калибров.

При калибровке стана для прокатки квадратного сечения необходимо иметь в виду, что квадратный и круглый профили прокатываются на одних и тех же станах и что вытяжные калибры могут быть общими для ряда размеров круглого и квадратного сечения. Следовательно, калибровка сортовых станов должна предусматривать общие вытяжные калибры.

При размещении квадратных профилей по станам можно пользоваться табл. 51, где размеры квадратов эквивалентны по площадям размерам круглого. Прокатка петлями, как и для круглого профиля, ведется в калибрах сечением от 140 мм<sup>2</sup> и меньше и на вполне механизированных станах до 190 мм<sup>2</sup>.

## в) Калибровка шестигранного профиля

Толщина шестигранного профиля определяется по диаметру  $d$  описанного круга. Калибровка тождественна с калибровкой круглого за исключением предотделочного калибра, который вместо овала имеет форму неправильного шестиугольника.

Совещание по калибровке [36] рекомендует построение предчистового калибра для шестигранного профиля производить так, как показано на рис. 52 и в табл. 53.

Таблица 53

Способы построения предчистового шестигранного калибра

Размеры калибра	Размеры шестигранника, мм		
	7—12	13—20	21—80
$h$	$d - (1,2 \div 1,6)$	$d - (1,7 \div 2,0)$	$d - (2,0 \div 2,5)$
$m$	$h - (2,0 \div 0,4)$	$h - (0,6 \div 1,0)$	$h - 1,0$
$x$	$1,3t$	$1,3t$	$1,3t$
$b$	$2x$	$2x$	$2x$
$s$	$1,5 \div 2,5$	$2,5 \div 3,0$	$3,5 \div 5,0$

Примечание.  $d$  — диаметр шестигранника,  $t$  — сторона шестигранника

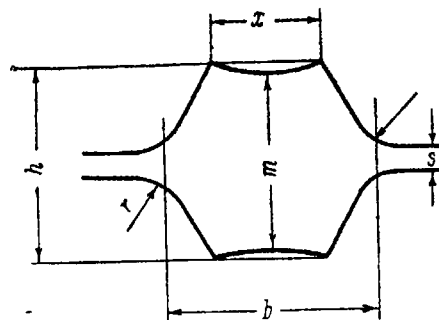


Рис. 52. Построение предчистового шестигранного калибра

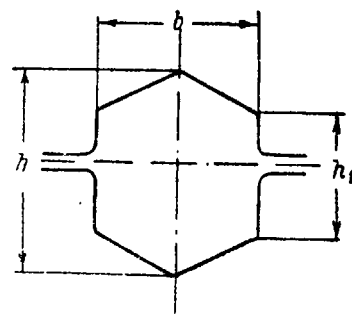


Рис. 53. Расположение чистового шестигранного калибра

При прокатке шестигранного профиля рекомендуется система: предчистовой квадрат — предчистовой овал — усеченный ромб — шестигранник.

Чистовые шестигранные калибры следует располагать так, чтобы зазор валков приходился не к углам, а к сторонам шестигранника. Однако для лучшего выполнения сторон, гранича-

щих с зазором валков, следует раскрывать стороны калибра на 0,3—0,8 мм. Закругление буртов обязательно (рис. 53).

## г) Выбор исходной заготовки

При калибровке валков сортовых станов для данного сорта конечного продукта необходимо выбрать начальное сечение и длину слитка или заготовки, до которых ведется расчет общих вытяжных калибров.

При выборе исходного сечения руководствуются следующим.

1. Весь процесс прокатки должен быть проведен с одного нагрева, причем конечный продукт должен иметь достаточно высокую температуру во избежание наклепа и чрезмерно большого расхода энергии на деформацию.

Для мягкого сортового железа лучше всего придерживаться температуры конца прокатки около  $850^\circ$  при первоначальной температуре металла  $1250—1200^\circ$ .

Очевидно, чем быстрее идет прокатка, т. е. чем меньше паузы и чем больше скорость металла в валках, тем больше может быть выбрано исходное сечение.

Таким образом, указанным соображением определяется размер полной вытяжки прокатываемой полосы.

2. Заданная длина конечного продукта прокатки, определяющая при данном сечении его вес готовой полосы, оказывает также известное влияние на вес и сечение исходной заготовки.

Длина конечного продукта должна быть наибольшей. Максимум ее ограничивается необходимостью иметь возможно меньшую разность температур между передним и задним концами полосы (а также опасностью получить чрезмерно низкую температуру заднего конца).

Указанный перепад температур между передним и задним концом полосы вызывает разницу в размерах и форме сечения конечного продукта и может привести к превышению установленных допусков, а следовательно, к браку по техническим условиям.

Применение петлевой прокатки позволяет достигать больших длин, чем при прокатке на весь проход перед задачей в следующий калибр. Чем короче петли, тем большей длины можно достигнуть при прочих равных условиях.

Следует, однако, отметить, что при прокатке на полный проход<sup>1</sup> распределение температуры по длине прокатываемой полосы значительно равномернее, чем при прокатке петлями.

Действительно, охлаждение полосы, выходящей из валков, идет скорее, чем полосы, входящей в валки, так как передний

<sup>1</sup> Т. е. с реверсами полосы. Ред.

по ходу прокатки конец имеет меньшее поперечное сечение, чем задний.

После выхода из валков всей полосы передний конец может быть холоднее заднего. Задний конец задается в следующий калибр и становится, следовательно, передним. После второго пропуски этот конец охладится более другого, но так как он был горячее второго перед вторым пропуском, то в результате температура обоих концов выравнивается.

Это обстоятельство до известной степени способствует удлинению конечного продукта.

3. Ограничение длины петли или конечной полосы вызывает необходимость применять заготовку, соответствующую весу конечной полосы, или (что делается чаще) разрезать полученную в черновой клети полосу на части и вести в чистовой линии одновременно прокатку нескольких кусков.

Таким образом, суммарный вес кусков, задаваемых в чистовую линию непосредственно один за другим, обуславливает вес исходного слитка или заготовки.

4. Вес исходной заготовки еще не определяет вполне ее сечения, так как длину заготовки по конструкциям печей можно варьировать от 0,75 до 9 м.

5. Предельная длина конечного продукта в виде прутков, а не бунтов ограничивается длиной механических холодильников, составляющей в настоящее время в соответствии с преобладающими системами станов 45—60 м для малых длин проката и 100—150 м для больших длин проката.

После этих замечаний приведем несколько примеров суммарных вытяжек, применяемых в сортовых станах (табл. 54).

Для определения общего числа пропусков при прокатке сортового профиля следует принимать за средний коэффициент вытяжки 1,41, полагая от квадрата к квадрату  $\mu_0 = 2$ .

Таблица 54

Суммарные вытяжки, применяемые в сортовых станах

Станы трехвалковые	Длина проката м.м	Толщина заготовки, мм	Толщина болванки, мм	Коэффициент суммарной вытяжки
260	80—100	50—60	80—100	100—25
300	70—90	50—70	100—150	100—25
350	60—70	60—100	125—180	80—40—20
400/450	40—60	80—130	150—220	50—25—20
500/550	40—60	—	125—250	25—10—7
600/650	50—70	—	160—275	20—7—6
650/700	50—75	—	180—320	15—6—5
750/800	90—120	—	180—350	15—6—4

Отсюда общее число пропусков определится из условия:

$$1,41 = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}$$

Не следует, конечно, во всех пропусках пользоваться средним коэффициентом вытяжки. Обычно в чистовой линии средний коэффициент вытяжки равен 1,25—1,28, а в черновых клетях около 1,6, иногда больше.

В чистовой линии фактический коэффициент вытяжки определяется так, как было показано на примере калибровки проволоки.

В черновых клетях коэффициент вытяжки в каждом пропуске приспособляют к тому, чтобы угол захвата не превышал 24—25°. Благодаря этому получается минимальное число пропусков при прокатке сортового профиля — средне- и мелкосортного и проволоки.

### 7. Калибровка полосового профиля

Прокатка полосы ведется двумя способами — в закрытых калибрах и в гладких (или ступенчатых) валках плашмя, с предчистовым ребровым пропуском.

Первый способ применяется для полос шириной 80—200 мм.

Второй способ применяется при прокатке полос шириной до 150 мм при минимальной толщине самых широких полос 12 мм. Для получения точных размеров по ширине, а также прямых и острых кромок употребляют специальные ребровые предчистовые калибры. В этих калибрах ребровому обжатию обычно подвергаются полосы шириной до 150 мм, хотя можно обжимать на ребро и более широкие полосы. Так, например, автором<sup>1</sup> было опробовано в 1942 г. ребровое обжатие полосы сечением 60 × 820 мм, причем обжатие в 25 мм не вызывало продольного изгиба (коробления) полосы.

Одним из основных моментов в расчетах калибровки полосы является правильный расчет величины уширения.

Необходимо отметить, что при выборе величины общего уширения следует учитывать число пропусков, так как величина уширения будет больше в случае прокатки за меньшее число пропусков, и, наоборот, при прокатке за большее число пропусков общее уширение будет меньше.

В то время как при прокатке сортовых профилей металл от первого до последнего пропуска кантуется перед каждым пропуском на 90 или 45°, полосовое кантуется только в черновых клетях, в которых вырабатывается квадрат, расплющиваемый затем в полосу требуемого размера. Это расплющивание квад-

<sup>1</sup> Г. А. Виноградовым.



рата в полосу производится или без кантовки или с кантовкой на  $180^\circ$ .

Следовательно, должен быть рассчитан ряд плоских калибров между последним квадратным и чистовым, причем решаются следующие вопросы:

1) каков должен быть размер исходного сечения для плоских калибров квадрата;

2) каковы должны быть коэффициенты вытяжки в каждом пропуске;

3) каково должно быть количество пропусков для прокатки исходного квадрата в полосу требуемого размера.

Различают несколько видов полосового профиля: сутунка, ленточная заготовка, рессорная полоса, универсальная полоса, шинное и обручное железо.

При определении размеров исходного квадрата следует иметь в виду, что квадрат прокатывается в полосу без кантовки, поэтому уширения во всех пропусках суммируются. Необходимо также учитывать, что коэффициент уширения меняется в зависимости от многих факторов, из которых существенное значение имеют диаметр валков и толщина полосы.

В качестве некоторого приближения к действительности, уширение в каждом пропуске можно определять с помощью диаграммы рис. 2. Для предварительного же определения общего уширения можно пользоваться для более толстых и широких полос коэффициентом  $a=0,2$ , для более узких и тонких при ручевой прокатке — коэффициентом  $a=0,25$ . Необходимо отметить, что для тонких и широких полос при прокатке в ступенчатых валках коэффициент уширения значительно увеличивается и достигает иногда до 0,8.

На помощь в трудном деле учета уширения приходит применение ребрового предпоследнего пропуска, при помощи которого предотделочной полосе придается точная требуемая ширина с учетом уширения лишь в чистовом калибре.

Обозначим ширину готового продукта через  $b$  и толщину его через  $h$ , а искомую сторону исходного квадрата — через  $x$ ; при вычислении горячего профиля достаточно определить лишь увеличенную ширину полосы, применяя коэффициент 1,015; нет нужды устанавливать горячий размер толщины  $h$ , так как требуемая толщина определяется установкой валков. Поэтому обозначим размеры горячей ширины  $b_1$  как ширину первого (с конца) калибра.

Имеем следующее соотношение:

$$x + a(x - h) = b_1.$$

Отсюда

$$x = \frac{b_1 + ah}{1 + a}. \quad (32)$$

Например, определим размер исходного квадрата для полосы  $90 \times 7$  мм. Примем  $a=0,25$ . Диаметр валков  $D=500$  мм, ширина  $b_1=1,015 \cdot 90 \approx 91,3$  мм.

$$x = \frac{91,3 + 0,25 \cdot 7}{1,25} \approx 74,4 \text{ мм.}$$

Принимаем сторону квадрата  $x=75$  мм.

Найденный исходный квадрат пригоден для получения ряда близких толщин полосового железа данной ширины от 4 до 12 мм, так как определяемые для них по той же формуле квадраты равны 73,8 мм для  $h=4$  мм и 75 мм для  $h=12$  мм, если принять для более толстых полос  $a=0,2$ . С применением же ребрового калибра расчет исходного квадрата надо вести на наибольшую применяемую толщину полосы при данной ее ширине.

Например, в данном случае наибольшая толщина полосового при  $b=90$  мм равна  $h=50$  мм.

$$x = \frac{91,3 + 0,2 \cdot 50}{1,2} = 84 \text{ мм.}$$

В ребровом пропуске для наименьшей толщины  $h=4$  мм должна быть дана осадка на излишнюю ширину плюс излишнее уширение

$$(84 - 74) + 0,25(84 - 74) = 12,5 \text{ мм.}$$

В ребровых калибрах допускается обжатие, не превышающее 15% ширины. В данном случае допускаемое обжатие равно  $90 \cdot 0,15 = 13,5$  мм. Таким образом, найденный исходный квадрат 48 мм пригоден для прокатки полосового железа  $90 \times (4 \div 50)$  мм.

Выясним теперь при помощи уравнения (32), для каких размеров полосового железа соседних больших по ширине величин пригоден найденный квадрат 84 мм:

$$84 + 0,25(84 - H) = B, \quad (33)$$

где  $B=100 \cdot 1,015 = 101,5$  мм — ширина ближайшего большего размера в горячем состоянии и  $H$  — наибольшая толщина.

Решая это уравнение, получаем

$$H = \frac{1,25 \cdot 84 - 101,5}{0,25} = 14 \text{ мм.}$$

Таким образом, найденный квадрат пригоден также для полосового железа  $100 \times (4 \div 14)$  мм.

Что касается коэффициентов вытяжки по пропускам, то ввиду быстрого остывания полосы при прокатке необходимо брать большие коэффициенты вытяжки, но во избежание больших напряжений в полосе тонкого сечения максимальные вытяжки применяются только в первых пропусках. Поэтому при прокатке полосового профиля берутся переменные коэффициенты вытяжки, уменьшающиеся по мере прокатки.

Жез устанавливает приращение коэффициента вытяжки по арифметической прогрессии [52].

В основе этого правила лежит стремление пропорционировать вытяжку с пластическим состоянием железа<sup>1</sup>. Однако, поскольку падение температуры металла от пропуска к пропуску неравномерно и не может быть точно рассчитано, этот способ оправдывается не столько теоретическими соображениями, сколько достаточно хорошими результатами его практического применения. На основании этого положения Жез составил таблицы изменения коэффициентов вытяжки по пропускам или, точнее говоря, относительных высот калибров для разного их числа (от 3 до 9) и разных максимальных исходных коэффициентов. Эти таблицы в измененном виде и дополненные произведениями коэффициентов, т. е. коэффициентами суммарного уменьшения высоты, приведены в табл. 55.

Выбор числа калибров, очевидно, стоит в зависимости от суммарного коэффициента уменьшения высоты  $p$  и от мощности двигателя.

Сторона исходного квадрата  $x = ph$ , откуда

$$p = \frac{x}{h}.$$

Так как сторона исходного квадрата  $x$  определена и толщина полосы  $h$  известна, то легко находится коэффициент суммарного уменьшения высоты  $p$ .

Так, например, для полосы  $90 \times 7$  мм, для которой выше уже найден исходный квадрат  $75 \times 75$  мм, коэффициент суммарного уменьшения высоты равен

$$p = \frac{75}{7} = 10,7.$$

По найденному значению  $p = 10,7$  отыскиваем подходящую вертикальную графу в табл. 55.

Ближайшие значения  $p = 9,8$  и  $p = 11,52$  находятся соответственно в 3-й и 5-й вертикальных графах и отвечают: первое — восьми калибрам, второе — семи калибрам.

<sup>1</sup> Точнее, Жез принял, что сопротивления металла деформации при повышении температуры через интервалы в  $50^\circ$  относятся друг к другу как члены арифметического ряда. Ред.

Таблица 55

Коэффициент относительных высот калибров полосового железа

№ калибра	№ вертикальной графы						Группа
	1	2	3	4	5	6	
1	1,00	1,0	1,00	1,0	1,00	1,0	1
2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	
3	1,50	1,6	1,70	1,8	1,90	2,0	
$p$	1,87	2,08	2,3	2,52	2,76	3,0	2
1	1,00	1,0	1,0	1,00	1,0	1,00	
2	1,17	1,2	1,23	1,27	1,3	1,33	
3	1,34	1,4	1,46	1,54	1,6	1,67	
4	1,50	1,6	1,70	1,80	1,9	2,00	
$p$	2,35	2,69	3,05	3,52	3,95	4,44	
1	1,00	1,00	1,000	1,0	1,000	1,00	3
2	1,125	1,15	1,175	1,2	1,225	1,25	
3	1,250	1,30	1,350	1,4	1,450	1,50	
4	1,375	1,45	1,525	1,6	1,675	1,75	
5	1,500	1,60	1,700	1,8	1,900	2,00	
$p$	2,9	3,47	4,11	4,84	5,66	6,56	4
1	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	
2	1,1	1,22	1,14	1,16	1,18	1,2	
3	1,2	1,24	1,28	1,32	1,36	1,4	
4	1,3	1,36	1,42	1,48	1,54	1,6	
5	1,4	1,48	1,56	1,64	1,72	1,8	
6	1,5	1,60	1,70	1,80	1,90	2,0	
$p$	3,6	4,47	5,5	6,69	8,07	9,67	5
1	1,000	1,0	1,000	1,000	1,00	1,000	
2	1,083	1,1	1,117	1,133	1,15	1,167	
3	1,166	1,2	1,234	1,266	1,30	1,334	
4	1,249	1,3	1,351	1,399	1,45	1,501	
5	1,330	1,4	1,467	1,532	1,60	1,668	
6	1,415	1,5	1,585	1,665	1,75	1,835	
7	1,500	1,6	1,700	1,800	1,90	2,000	
$p$	4,46	5,77	7,36	9,22	11,52	14,28	

Продолжение табл. 55

№ калибра	№ вертикальной графы						Группа
	1	2	3	4	5	6	
1	1,00	1,000	1,0	1,000	1,00	1,00	6
2	1,07	1,086	1,1	1,114	1,13	1,14	
3	1,14	1,172	1,2	1,228	1,26	1,29	
4	1,21	1,258	1,3	1,342	1,39	1,43	
5	1,28	1,344	1,4	1,456	1,52	1,57	
6	1,35	1,430	1,5	1,570	1,65	1,71	
7	1,42	1,516	1,6	1,684	1,78	1,85	
8	1,50	1,600	1,7	1,800	1,90	2,00	
<i>p</i>	5,43	7,46	9,8	12,7	16,8	20,9	7
1	1,000	1,000	1,000	1,0	1,00	1,000	
2	1,063	1,075	1,088	1,1	1,11	1,125	
3	1,125	1,150	1,176	1,2	1,22	1,250	
4	1,188	1,225	1,264	1,3	1,33	1,375	
5	1,225	1,300	1,352	1,4	1,44	1,500	
6	1,313	1,375	1,440	1,5	1,55	1,625	
7	1,375	1,450	1,528	1,6	1,67	1,750	
8	1,438	1,525	1,616	1,7	1,79	1,875	
9	1,500	1,600	1,700	1,8	1,90	2,000	
<i>p</i>	6,91	9,56	13,23	17,8	22,8	30,9	

Следовательно, данное полосовое железо рационально прокатывать в семи или восьми калибрах.

Останавливаясь для примера на семи калибрах, имеем ряд коэффициентов высот отделочных калибров из 5-й вертикальной графы (группа 5), которыми и пользуемся для калибровки.

Расчет калибровки полосового профиля. Проведем примерный расчет калибровки полосового профиля, введя его в табл. 56.

Так как произведение коэффициентов, взятых из группы 5 в 5-м вертикальном столбце (11,52), больше требуемого (10,7), то, чтобы конечный и исходный профили сошлись, необходимо коэффициенты исправить, умножив их на

$$\sqrt[6]{\frac{10,7}{11,52}} \approx 0,99;$$

Таблица 56

Калибровка полосы 90×7 мм

№ калибра	Коэффициенты высот		$h_T$ мм	$h$ мм	$H-h$ мм	$\alpha$	$\Delta B$ мм	$b$ мм
	по таблице	исправ- ленные						
1	1	1	7	7	1	0,37	0,4	91,3
2	1,15	1,14	7,98	8	2	0,36	0,9	90,9
3	1,30	1,29	10,3	10	5	0,34	2	90
4	1,45	1,43	14,7	15	8	0,27	3	88
5	1,60	1,58	23,3	23	17	0,22	4	85
6	1,75	1,73	40,3	40	35	0,12	6	81
7	1,90	1,88	75	75	—	—	—	75

Поэтому в табл. 56 помещена графа исправленных коэффициентов.

Так как толщина готовой полосы равна 7 мм, то высота 1-го калибра равна 7. Теоретические высоты  $h_T$  последующих калибров получаем умножением высоты предыдущего калибра на соответствующий искомой высоте коэффициент; найденные теоретические высоты калибров помещаем в графе  $h_T$ .

Найденные теоретические высоты исправляем, округляя; при этом отметим, что рекомендуется в чистовом калибре всегда давать обжатие 1 мм, а в предотделочном — 2 мм для получения более точного профиля. Исправленные значения высот помещаем в графу  $h$ .

В число найденных калибров входит и исходный квадрат, так что плоских калибров имеем шесть.

В следующей графе помещаем абсолютные обжатия по высоте  $H-h$ . Эта графа позволяет нам проверить максимальный угол захвата при  $D=500$  мм или  $D_0=500-40=460$  мм. Находим

$$1 - \cos \alpha = \frac{H-h}{D_0} = \frac{40}{460} = 0,087.$$

По табл. 1 определяем  $\alpha \approx 24^\circ$ ; такой угол захвата допускается практикой.

Если бы угол захвата оказался больше допускаемого, то было бы необходимо или увеличить ближайшие коэффициенты или между 6-м и 7-м калибрами вставить еще один плоский калибр.

В следующей графе помещаем коэффициенты уширения  $\alpha$ , выбираемые приближенно по рис. 2.

Ширина 1-го калибра равна ширине горячего профиля и определена была выше в 91,3 мм. Вычитая уширение  $1 \times 0,4 = 0,4$  мм, получаем ширину 2-го калибра и т. д.

В графе  $\Delta B$  помещены размеры уширения в миллиметрах. При этом расчете свободное уширение можно принимать только в трех первых калибрах, т. е. чистовом и двух предотделочных; в остальных же уширение несвободно — коэффициент уширения принимаем равным 90% от свободного уширения.

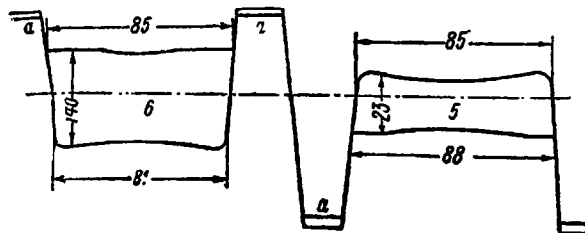


Рис. 54. Конструкция первых двух (по ходу прокатки) закрытых калибров

Вычисленные в миллиметрах уширения  $\Delta B$  округляем до ближайшего целого числа миллиметров. Вычитая соответствующие уширения из ширины калибра, получаем ширину следующего калибра. Результаты занесены в графу  $b$ .

При вычерчивании калибров следует принимать в расчет следующие соображения.

Во избежание заусенцев прокатку ведут в закрытых калибрах, причем от калибра к калибру полосу поворачивают на  $180^\circ$  или, что то же, не поворачивая полосы, поворачивают на  $180^\circ$  следующий калибр.

На рис. 54 изображены два последних из вычисленных калибров двухвалкового реверсивного стана. Конусность калибра здесь играет ту же роль, что и в калибрах блюминга. Закругления в глубине калибра имеют целью предотвратить образование заусенцев в зазорах между выступом верхнего вала и выемкой нижнего, и обратно. Уклон граней (выпуск) делается 3—5%, уменьшаясь в направлении к чистовому калибру.

Остановимся несколько подробнее на роли закруглений в калибрах.

Как выяснено было ранее, вследствие разных причин — температуры металла, состава его, неоднородности и т. д. — калибр может заполняться не в одинаковой мере. В некоторых случаях он может переполниться; тогда излишний металл, приподнимая верхний валок, устремляется в образовавшийся зазор между буртами верхнего и нижнего валков — получаются заусенцы. Это можно исправить уменьшением ширины предыдущего калибра или же удалить избыток металла только в тех

местах, где имеется тенденция к образованию заусенцев. Для этого делаются в соответствующих местах предыдущего калибра притупления углов или закругления. Этот прием дает калибровщику возможность получить правильную и точную работу калибра.

При расчете калибровки целесообразно поэтому выбирать обжатие и уширение так, чтобы предыдущий калибр без закруглений и притуплений вполне заполнял данный калибр.

Затем в углах предыдущего калибра делают такие большие притупления и закругления, чтобы благодаря им получилось заведомое незаполнение данного калибра. После этого на основании сделанной пробной прокатки можно постепенно уменьшать притупление или закругление обточкой до тех пор, пока пробная прокатка не даст удовлетворительного результата. Кроме того, притупления и закругления способствуют центрированию полосы в калибре.

На основании продолжительной практики размеры притуплений и закруглений приобретают определенные значения, рекомендуемые калибровщиками.

В трехвалковых станах, в которых большей частью идет прокатка полосового железа, 6-й калибр помещается между средним и верхним валком, а 5-й калибр — между средним и нижним валком (рис. 54), причем калибры перемещаются диагонально, т. е. не связаны один с другим. Последнее обстоятельство позволяет свободно выбирать верхнее и нижнее давления, как это было разъяснено выше.

Углы закругляются радиусом 0—12 мм, причем в чистовом калибре он равен нулю, а в следующих постепенно возрастает вместе с толщиной полосы.

Табель дает для калибровки полосового железа таблицу ступеней обжатий, закруглений  $r$  и выпусков  $e$  (табл. 57).

Под ступенями давлений или обжатий здесь разумеется приращение высоты ручьев сверх толщины чистового калибра ( $\Delta h$ ). Таблица составлена для всех размеров полосового железа по ширине и толщине до максимальной ширины 185 мм.

Из табл. 57 видно, что прокатка в плоских калибрах требует от 3 до 6 пропусков. Что касается уширения, то Табель рекомендует придерживаться в чистовом калибре 0,5 мм, а в остальных постепенно возрастающего до 5 мм.

По сравнению с методом Жеза калибровка Табеля дает более энергичную работу и приводит к несколько большим исходным квадратам.

Опасная сторона этой калибровки заключается в сильном обжатии в чистовом калибре и в возможности переполнения калибров металлом при неправильно выбранном уширении.

Таблица 57

Размер полосового железа	Ступени обжатия																	
	Приращение $\Delta h$ , мм						Радиус закругле- ний $r$ , мм						Выпуск $\epsilon$ %					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
$(10 \div 25) \times 4$ мм и толще	0	2	6	—	—	—	0	0,7	2	—	—	—	3	4	5	—	—	—
$(26 \div 30) \times 4$ мм и толще	0	2,5	8	—	—	—	0	1	3	—	—	—	3	4	5	—	—	—
$(32 \div 46) \times (4 \div 8)$ $(48 \div 57) \times 9$ мм и толще	0	2,5	8	18	—	—	0	1	3	5	—	—	3,5	4	5	5	—	—
$(48 \div 57) \times 4$ и толще	0	3	12	—	—	—	0	1	4,5	—	—	—	3	4	5	—	—	—
$(58 \div 80) \times (4 \div 8)$ $(58 \div 80) \times 9$ мм и толще	0	3	9	20	—	—	0	1	3	5	—	—	3	4	5	5	—	—
$(82 \div 120) \times 9$ мм и толще	0	2,5	8	18,5	37	—	0	1	3	5	10	—	3,5	5	5	5	5	—
$(122 \div 185) \times 9$ мм и толще	0	3,5	12	30	—	—	0	1,25	3,5	9	—	—	3	4	5	5	—	—
	0	3	11	25	48	—	0	1,5	4	7	10	—	3	4	5	5	5	—
	0	4	12	23	45	80	0	2	4	5	9	12	3	4	5	5	5	5

Для примера рассчитаем калибровку полосы  $90 \times 7$  мм по этому методу, поместив данные расчета в табл. 58.

Таблица 58

Калибровка полосы  $90 \times 7$  мм

№ калибра	$\Delta h$ мм	$h$ мм	$H-h$ мм	$\Delta B$ мм	$b$ мм	$r$ мм	$\epsilon$ %
1	0	7	3	0,4	91,3	0	3
2	3	10	8	0,9	90,9	1,5	4
3	11	18	14	2	90	4	5
4	25	32	23	3	88	7	5
5	48	55	26	4	85	10	5
Исходный	—	81	—	—	81	—	—

Из табл. 57 видно (строка 8), что калибровка проходит в пяти плоских калибрах. Выписываем в табл. 58 значения «ступеней давления»  $\Delta h$  и находим  $h$ , прибавляя  $\Delta h$  к 7 мм.

Вычисленные значения  $H-h$  показывают энергичное обжатие в первых четырех калибрах. Обжатие в 5-м калибре

и размер исходного квадрата определяем при помощи уширения, которое берем из предыдущего расчета. Отсюда исходный квадрат равен 81 мм и, следовательно, обжатие в 5-м калибре  $H-h=81-55=26$  мм. Угол захвата, из выражения  $1-\cos \alpha = \frac{26}{500-55} = 0,0585$ , равен  $\sim 20^\circ$ , т. е. меньше, чем при калибровке по Жезу, несмотря на больший размер исходного квадрата. Захват полосы облегчается. Закругление углов производится радиусами  $r$  и выпуск определяется значениями  $\epsilon$  %.

Рассмотрим калибровку оброчного железа на примере  $25 \times 0,9$  мм. Диаметр валков — 260 мм.

Примем для предварительного расчета исходного квадрата коэффициент суммарного уширения  $a=0,3$ . Тогда по формуле (32) сторона исходного квадрата

$$x = \frac{25,4 + 0,3 \cdot 0,9}{1,3} \approx 20 \text{ мм},$$

где 25,4 — ширина горячей полосы.

Находим коэффициент суммарного уменьшения высоты

$$p = \frac{20}{0,9} = 22,2.$$

По табл. 55 находим ближайшее  $p=22,8$  в графе 5, группе 7, отвечающее девяти калибрам с указанными в группе коэффициентами.

Ввиду незначительной разницы  $p$ , поправок к коэффициентам относительных высот не делаем. Данные расчета сведем в табл. 59.

Таблица 59

Калибровка оброчного железа

№ калибра	Коэффициент обжатия	$h_T$ мм	$h$ мм	$H-h$ мм	$a$	$\Delta B$ мм	$b$ мм
1	1,0	0,9	0,9	1	0,36	0,4	25,4
1	1,11	0,99	—	—	—	—	—
1	1,22	1,21	—	—	—	—	—
1	1,33	1,6	—	—	—	—	—
2	1,44	2,31	1,9	2	0,35	0,7	25,0
3	1,55	3,58	3,9	2,1	0,34	0,7	24,3
4	1,67	5,98	6	5	0,30	1,5	23,6
5	1,79	10,7	11	9	0,30	2,5	22,1
Исходный	1,90	20,3	20	—	—	—	19,6

Вычислив теоретические высоты, отбрасываем лишние калибры, так как обжатие в чистовом калибре равно 1 мм и в предотделочном — 2 мм. В остальных калибрах округляем высоты до целого числа миллиметров.

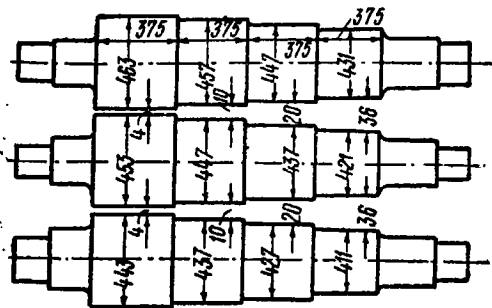


Рис. 55. Сступенчатые валки для прокатки полосового профиля

Таким образом выясняется, что требуется пять плоских калибров, и исходный квадрат равен 20 мм. Коэффициент уширения определяем по рис. 2, причем в 4-м и 5-м калибрах берем несвободное уширение, равное 90% от свободного.

Рассмотрение калибровки полосового железа с ребровым калибром соединим с рассмотрением калибровки в ступенчатых валках (рис. 55).

При очень разнообразной программе прокатки удобно пользоваться ступенчатыми валками как подготовительными. За ними следует ребровой калибр и полировочный калибр, так как в ступенчатых валках вследствие свободного уширения кромки полосы получают закругленными и недостаточно ровными.

Ребровой пропуск устраняет эти недостатки и, кроме того, придает полосе требуемую ширину.

Так как при прокатке широких полос, получающихся из соответственной величины исходных квадратов, суммарное свободное уширение в ступенчатых валках велико и неровности кромок могут быть значительны, пришлось бы в ребровом пропуске давать значительные обжатия, которые могут вызвать коробление широкой полосы; поэтому рекомендуется в ступенчатых валках катать полосовое железо шириной лишь до 60 мм, в крайнем случае — до 100 мм.

Вертикальное обжатие в ребровом пропуске рекомендуют делать в 5—15% от ширины задаваемой на ребро полосы. Абсолютно же оно должно быть в пределах 3—12 мм в зависимости от ширины полосы.

Расчет предчистового ребрового калибра (рис. 56) следует [36] вести по формуле

$$h_2 = h + 2 \text{ мм},$$

где  $h$  — толщина горячей полосы в последнем пропуске.

Ширина калибра у зазора определяется [36] по формуле

$$h_c = h_2 + 0,16 \frac{b_2 - s}{2},$$

где  $b_2$  — высота калибра.

Величина  $m$  берется равной 0,2—0,5 мм.

Глубина ручья  $\frac{b_2 - s}{2}$  зависит от толщины закаленного слоя валков. Величина  $b_2$  подбирается разъемом валков. В полутвердых валках  $b_2$  определяется по формуле

$$b_2 = b - 2 \text{ мм},$$

где  $b$  — минимальная ширина готовых горячих полос при данной толщине.

Проследим калибровку полосы  $30 \times 10$  мм в ступенчатых валках диаметром 260 мм. Горячий профиль —  $30,4 \times 10,1$  мм.

В чистовом калибре вертикальное обжатие 1 мм и уширение 0,4 мм, поэтому из ребрового калибра, который является предотделочным, должна выходить полоса размером  $30 \times 11,1$  мм.

Ребровой калибр имеет конструкцию, изображенную на рис. 56. Выпуск — от 10 до 12%, поэтому  $n = 1,5$  мм,  $m$  в данном случае равно 0,4 мм.

Толщина  $h_2 = 11,1$  мм и ширина  $b_2 = 30$  мм, как было вычислено выше.

Поступающая в ребровой калибр полоса задается в него на ребро и должна иметь ширину  $b_3$ , рассчитанную на вертикальное обжатие 5—15% ширины. Примем обжатие около 10%, т. е. 3 мм, следовательно, ширина  $b_3 = 33$  мм.

Коэффициент уширения в ребровом калибре по рис. 2  $a = 0,24$ , значит,  $\Delta b = 0,24 \cdot 3 = 0,72$  мм. Поэтому  $h_3 = 11,1 - 0,72 = 10,38 \approx 11$  мм.

В дальнейшем ведем расчет для калибровки полосы  $30 \times 11$  мм:

$$x = \frac{30 + 0,25 \cdot 11}{1,25} \approx 29 \text{ мм};$$

$$p = \frac{29}{11} \approx 2,64.$$

По табл. 55 имеем три калибра с коэффициентами обжатия, построенными по арифметической прогрессии с разностью.

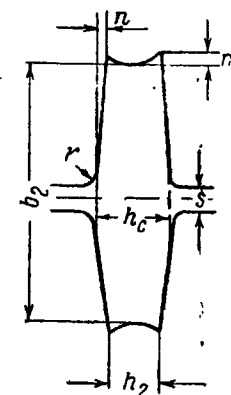


Рис. 56. Построение ребрового калибра

0,4 или 0,45, при  $p=2,52$  и 2,76. Найденное нами значение — промежуточное между ними и равно их полусумме, поэтому примем разность арифметической прогрессии 0,43 и построим ряд коэффициентов, помещенный в расчетной табл. 60. Ход расчета ясен из предыдущего.

Таблица 60

Калибровка полосы  $30 \times 10$  мм

№ калибра	Калибр	Коэффициент обжатия	$h_T$ мм	$h$ мм	$H-h$ мм	$a$	$\Delta B$ мм	$b$ мм
1	Чистовой	—	10,1	10,1	1	0,4	0,4	30,4
2	Ребровой	—	11,1	11,1	3	0,24	0,75	30
3	—	1,00	11	11	5	0,30	1,5	33
4	—	1,43	15,8	16	13	0,22	2,5	31,5
Исходный	—	1,86	29,3	29	—	—	—	29

При прокатке полосы в ребровом калибре применяются проводки, щеки которых удерживают полосу прочно в требуемом положении.

Одни и те же ступенчатые валки служат для прокатки без ребровых пропусков шинного полосового железа каких угодно размеров. Поэтому при расточке валков следует глубину ступеней определять из следующих соображений.

Обозначив глубину калибров соответственно через  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  и  $\delta_4$ , сдвинем валки до соприкосновения в левой части, тогда щель  $\delta_1=0$ , щель  $\delta_2$  должна быть равна 1—1,5 мм, если прокатывается полоса без строго точных кромок, так как в чистовом пропуске обжатие не должно превосходить 1—1,5 мм, точно так же щель  $\delta_3$  должна быть больше  $\delta_2$  на 2—3 мм — величину обжатия в предотделочном пропуске.

Дальнейшие щели следует брать с коэффициентами от 1,5 до 2 для быстрого ведения прокатки.

Поднимая более или менее верхний валок при настройке, можно получать полосы любой толщины, причем коэффициенты высот при одном и том же профиле валков изменяются сами собою более или менее значительно в сторону уменьшения с возрастанием толщины конечного продукта, хотя абсолютная величина обжатий сохраняется.

Подъем валков практикуется и при ручьевых станах для получения полос разной толщины, но одной и той же ширины. Для этого делают высокие бурты калибров (рис. 54).

На рис. 57 приведена калибровка валков трехвалкового стана  $D=585$  для прокатки полос шириной 160—110 мм и толщиной 8—25 мм.

Выше было показано, что метод калибровки полосы, предложенный Жезом, был обработан и приведен в стройный порядок А. П. Виноградовым. В частности коэффициенты уменьшения

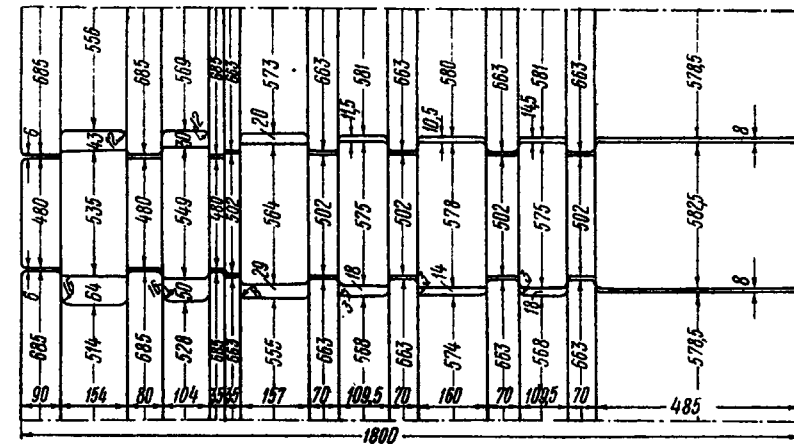


Рис. 57. Валки трехвалкового стана  $D=585$  мм для прокатки полосы шириной 160—110 мм и толщиной 8—25 мм

высоты сведены в семь групп одной таблицы и дополнены коэффициентами суммарного уменьшения высоты  $p$ .

А. П. Чекмарев [53] отмечает, что табл. 55 представляет слишком большой простор для выбора ряда коэффициентов уменьшения высоты, и предлагает разделить все коэффициенты на четыре группы (табл. 61 и 62):

- 1) группа I — коэффициенты весьма энергичного режима работы;
- 2) группа II — коэффициенты энергичного режима работы;
- 3) группа III — коэффициенты среднего режима работы;
- 4) группа IV — коэффициенты слабого режима работы.

Кроме того, исследуя уширение, Чекмарев рекомендовал следующие коэффициенты к формуле для определения уширения при прокатке полосы.

При прокатке в гладких валках со свободным уширением:

Для тонких и узких полос . . . . .	0,60—0,75
» полос средних по толщине и ширине . . . . .	0,45—0,60
» толстых и широких полос . . . . .	0,30—0,45

Таблица 61

Разбивка коэффициентов уменьшения высоты на группы

№ по пор.	I группа — весьма энергичный режим		II группа — энергичный режим		III группа — средний режим		IV группа — слабый режим	
	$p$	$P$	$p$	$P$	$p$	$P$	$p$	$P$
1	1,40	1,40	1,30	1,30	1,25	1,25	1,15	1,15
2	1,60	2,24	1,50	1,95	1,40	1,75	1,20	1,38
3	1,80	4,03	1,70	3,31	1,50	2,63	1,25	1,72
4	2,00	8,06	1,80	5,98	1,60	4,20	1,30	2,24
5	2,00	16,12	1,80	10,70	1,60	6,72	1,30	2,90
6	2,00	32,24	1,80	19,30	1,60	10,75	1,30	3,78
7	—	—	1,80	34,80	1,60	17,20	1,30	4,92
8	—	—	—	—	1,60	27,50	1,30	6,75
9	—	—	—	—	—	—	1,30	8,30

Таблица 62

Коэффициенты уменьшения высоты при прокатке полос в гладких валках с ребровым калибром

№ по пор.	I группа — весьма энергичный режим		II группа — энергичный режим		III группа — средний режим		IV группа — слабый режим	
	$p$	$P$	$p$	$P$	$p$	$P$	$p$	$P$
1	1,60	1,60	1,50	1,50	1,40	1,40	1,20	1,20
2	1,80	2,88	1,70	2,55	1,50	2,10	1,25	1,50
3	2,00	5,76	1,80	4,59	1,60	3,36	1,30	1,95
4	2,00	11,52	1,80	8,25	1,60	5,37	1,30	2,54
5	2,00	23,04	1,80	14,85	1,60	8,61	1,30	3,30
6	—	—	1,80	26,50	1,60	13,77	1,30	4,28
7	—	—	—	—	1,60	22,00	1,30	5,58
8	—	—	—	—	—	—	1,30	7,25

При прокатке полосы в калибрах с несвободным уширением:

Для тонких и узких полос . . . . . 0,25—0,35  
 » полос средних по толщине и ширине . . . . . 0,18—0,25  
 » толстых и широких полос . . . . . 0,12—0,18

В формуле Зибеля (стр. 21) Чекмарев рекомендует брать коэффициент уширения в пределах 0,15 ÷ 0,17 (в зависимости от температуры металла) при прокатке полосы в калибрах.

## 8. Прокатка полосы в закрытых калибрах

Совещание по калибровке валков для прокатки качественных сталей рекомендовало следующий метод расчета размеров закрытых калибров для полосовых профилей [36].

Расчет ведется от горячего чистового профиля.

Предчистовой калибр — закрытый — надлежит располагать в верхнем и среднем валках, предшествующий калибр — в нижнем и среднем валках.

Размеры предчистового калибра определяются по формулам (рис. 58):

$$h_1 = h + (1,5 \div 2,5);$$

$$b_1 = b - (1,0 \div 2,0);$$

$$b_2 = b_1 - 0,1 \frac{h_1}{2};$$

$$b = b_1 + 0,1 \frac{h_1}{2}.$$

Размеры калибра, предшествующего предчистовому, определяются по формуле

$$b_4 = b_2 + [0,4 \div 0,5 (h_2 - h_1)]^1.$$

$$b_5 = b_4 - 0,1 h_2.$$

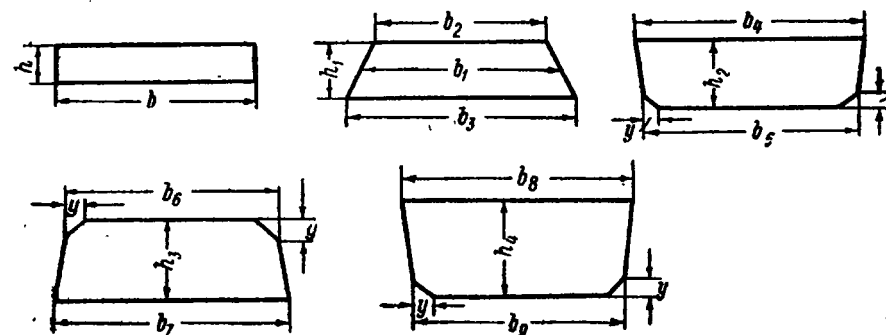


Рис. 58. Определение размеров закрытых калибров полосового профиля

Притупление угла  $y$  (рис. 58) рекомендуется брать равным 1,5 ÷ 2,0 мм. Размеры пятого калибра определяются по формулам:

$$b_8 = b_6 + [0,4 \div 0,5 (h_4 - h_3)];$$

$$b_9 = b_8 - 0,1 h_4.$$

<sup>1</sup> Коэффициент уширения  $a$  при прокатке полосы в 7—9 пропусков следует брать 0,4, а при прокатке в 5—7 пропусков — 0,5.



Притупление угла рассчитывается по формуле

$$\gamma_2 = \frac{h_4 - h_3}{2}.$$

Высоты  $h$  следует определять с учетом химического состава стали: для крепкой стали можно допускать коэффициент вытяжки 1,20 в чистовых пропусках, увеличивая его постепенно до 1,50. Коэффициенты вытяжки подбирают по арифметической прогрессии с примерной разностью в 0,05. Для мягкой стали он может быть принят равным 1,30 в чистовых пропусках с постепенным увеличением против хода прокатки до 1,60.

#### а) Особенности калибровки полосового профиля в закрытых калибрах

На практике могут встретиться случаи, когда невозможно получить требуемый исходный квадрат. Тогда пользуются методом вынужденного уширения.

В одном из первых подготовительных калибров полосу «пережимают» посередине (рис. 54), а в следующем калибре обжимают утолщенные края до толщины средней части полосы.

При этом масса средней части не вытягивается и тормозит вытяжку краев полосы, подвергающихся обжатию. В результате получается сильное вынужденное уширение (металл почти целиком идет на уширение).

Величина уширения при этом рассчитывается по формуле Александрова [35]:

$$\Delta B = 2 \frac{b}{h} (H - h),$$

где  $b$  — ширина утолщения на краю полосы,  
 $H - h$  — абсолютное обжатие краев полосы до толщины средней части  $h$ .

Недостатками метода прокатки в закрытых калибрах являются трудность удаления окалины из-за отсутствия ребрового калибра и необходимость иметь для каждого размера полосы специальную систему калибров.

При построении закрытых калибров следует выбрать:

- 1) величину выпуска калибра,
- 2) величину фасок или закруглений внутренних углов калибра,
- 3) высоту буртов,
- 4) предельную высоту подъема верхнего вала.

На основе анализа практических данных Александров показывает, что при прокатке полос толщиной 8—40 мм в одних и тех же калибрах можно применять выпуски:

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

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

Величину радиуса закруглений внутренних углов калибра следует брать:

1) для первых по ходу прокатки калибров — около 0,25 от минимальной высоты калибра,

2) в предчистовом калибре — 0,12—0,10 от высоты калибра.

Допустимая разность между максимальной и минимальной толщиной полосы в одних и тех же калибрах иногда доходит до 30—35 мм, но лучше держаться в пределах 15—20 мм, так как при большей разнице, вследствие выпусков, образуются уже такие зазоры, в которые может выдавливаться металл.

Известны два способа монтажа закрытых калибров в трехвалковых станах:

1) калибры монтируются один над другим,

2) калибры монтируются в шахматном порядке.

Первый способ наиболее употребителен вследствие лучшего использования полотна валков. Это дает возможность сосредоточить в одной клетке трехвалкового стана несколько размеров полос (до четырех по ширине).

Недостатком такого монтажа является трудность увязки уширения с шириной полосы и нарушение оптимальной величины верхнего давления в сопряженных калибрах.

#### б) Особенности прокатки полосового профиля в гладких валках [35]

Основные преимущества прокатки полосового профиля в гладких валках следующие:

1) полоса хорошо очищается от окалины в ребровом калибре;

2) имеется возможность прокатывать разнообразные размеры без перевалок валков;

3) обеспечивается несложность переточек и большой срок службы валков.

Недостаток этого метода прокатки заключается в невозможности правильно распределить вытяжки по пропускам, так как вытяжка в ребровом калибре бывает слишком мала и поэтому на другие калибры ложатся большие вытяжки.

Иногда кроме предчистового применяют еще один ребровой калибр для лучшей очистки от окалины или из-за большого размера исходного квадрата, что требует дополнительной осадки по ширине.

При двух ребровых калибрах вытяжки распределяются еще более неправильно.

Применение дополнительного ребрового пропуска кроме обязательного предчистового может оправдывать себя только в

Таблица 63

## Основные фактические данные калибровки крупносортовой полосы

Завод	Диаметр стана мм	Сечение полосы мм	Размер исходной заготовки мм	Число пропусков	Общий коэфф. вытяжки	Средний коэфф. вытяжки
А	420	70×12	57×57	7	3,75	1,21
Б	500	70×20	58×58	5	2,40	1,20
»	500	80×8	60×60	7	5,62	1,28
»	500	90×10	70×70	5	5,47	1,41
В	585	100×14	85×95	7	5,90	1,29
»	585	120×12	111×80	5	6,26	1,45
»	585	140×10	121×80	7	7,32	1,33
»	585	160×20	134×80	7	3,58	1,20
»	585	180×8	166×80	7	9,60	1,38
Г	400	100×7	41×94	7	5,50	1,28
»	400	120×10	54×107	7	4,80	1,25
»	400	140×5	54×128	9	9,85	1,29
Д	500	152×7	80×120	9	9,00	1,28
Е	550	202,5×18	81×189	5	4,00	1,33

Таблица 64

## Основные фактические данные калибровки мелкосортной полосы

Завод	Диаметр стана мм	Сечение полосы мм	Сторона исходного квадрата, мм		Число пропу- сков	Общий коэффи- циент вытяжки	Средний коэффи- циент вытяжки
			фактиче- ский	расчетная			
А	300	30×6	23,0	23,0	5	2,82	1,23
»	300	35×8	29,5	28,0	5	3,07	1,25
»	300	40×10	32,0	31,0	5	2,47	1,20
Б	330	45×8	35,0	33,5	5	3,40	1,28
»	330	50×8	38,0	37,0	5	9,60	1,29
»	280	30×5	21,0	22,4	4	2,90	1,31
»	280	40×4	30,0	30,5	6	5,45	1,33
»	280	22×5	16,0	17,6	4	2,30	1,23
»	280	25×4	19,5	19,5	4	3,40	1,36
В	350	40×10	29,5	32,0	4	2,17	1,22
»	250	60×6	44,0	46,0	7	5,20	1,27
»	250	25×5	21,0	20,0	4	3,50	1,37
»	250	22×10	20,0	18,3	4	1,82	1,16
»	250	20×10	18,0	17,4	4	1,68	1,14
Г	360	45×12	38,0	36,4	5	2,67	1,22
»	360	50×12	41,0	39,2	5	2,70	1,22

Примечание. Расчетная сторона квадрата определялась по формуле

$$c = \frac{b + ah}{1 + a},$$

где коэффициент уширения  $a = 0,35 \div 0,44$ .

специальных случаях, например для качественных сталей, от которых требуется высокая чистота поверхности, а также для тонких полос, предназначенных для холодной прокатки.

Совещание по калибровке валков [36] рекомендовало следующий расчет высот при прокатке полосы на гладких или ступенчатых валках.

Например, при заданной высоте полосы 10 мм (для среднесортного стана) расчет всех остальных высот производится с помощью ряда:

$$h_1 = 10 \text{ мм}; \quad h_6 = h_5 \cdot 1,40 \text{ мм};$$

$$h_2 = h_1 \cdot 1,20 \text{ мм}; \quad h_7 = h_6 \cdot 1,35 \text{ мм};$$

$$h_3 = h_2 \cdot 1,25 \text{ мм}; \quad h_8 = h_7 \cdot 1,30 \text{ мм};$$

$$h_4 = h_3 \cdot 1,30 \text{ мм}; \quad h_9 = h_8 \cdot 1,25 \text{ мм};$$

$$h_5 = h_4 \cdot 1,35 \text{ мм}; \quad h_{10} = h_9 \cdot 1,20 \text{ мм}.$$

При прокатке мелкосортной полосы рекомендуется пользоваться теми же данными, но исходя из  $h = 4$  мм и уменьшая число калибров на два-четыре.

В К. Проурзин [54] предложил метод калибровки полосы, при котором расчет производится без определения размеров исходного квадрата; это несколько сокращает время для расчетов; при расчетах автор пользуется коэффициентами уменьшения высот, рекомендованными Чекмаревым.

В табл. 63 и 64 приведены фактические данные по калибровке полосового профиля на различных заводах Советского Союза [35].

# ГЛАВА 10

## НЕЙТРАЛЬНАЯ ЛИНИЯ КАЛИБРА

Под фасонными профилями разумеются сложные сечения, которые не могут быть получены равномерным обжатием во всех частях из квадратной или плоской заготовки. К фасонным профилям не относятся простые сечения (круглое, шестигранное, рессорное), хотя и они получают при помощи неравномерного во всех частях профиля обжатия из квадратной заготовки, составляя переходную группу.

Сложное сечение фасонного профиля может быть разбито на отдельные простые части, из которых каждая может рассматриваться как полоса. Разбивка сложного профиля на простейшие плоские элементы является основой фасонной калибровки, так как сводит процесс такой калибровки к совокупности простейших калибровок.

Необходимо первоначальную грубую формовку профиля делать в первых пропусках, когда металл имеет максимальную температуру и высокую пластичность, сводящую к минимуму появление напряжений в различных частях профиля. Эти внутренние напряжения в металле могут возникнуть в последних пропусках, когда температура проката является наименьшей и имеют место неравномерные обжатия или вытяжки в разных частях профиля. В последних двух или трех калибрах необходимо придерживаться одинаковых вытяжек во всех элементах профиля, по возможности соблюдая это также и в промежуточных калибрах. Чем лучше это выдерживается, тем полнее гарантия получить вполне точный и ненапряженный профиль.

Наряду с этим в фасонной калибровке большую роль играет применение бокового давления для выработки плоских элементов калибра, имеющих наклонное или вертикальное положение. При фасонной калибровке приходится иметь дело по преимуществу с вынужденным уширением, связанным с неодинаковыми рабочими диаметрами и в особенности с неравномерным распределением обжатия в разных частях профиля, а часто также и пользоваться вынужденным уширением для лучшей выработки отдельных элементов профиля. Нако-

нец, большое значение имеет правильное расположение калибра в раземе валков как с точки зрения верхнего или нижнего давления, т. е. определенного положения нейтральной линии, так и с точки зрения размещения элементов калибра в открытой и закрытой частях его.

Неправильное или неудачное определение нейтральной линии ведет часто к чрезмерным напряжениям в стане, а неудачное размещение элементов калибра в открытой и закрытой частях его — к недостаточно точной выработке профиля и неравномерному износу стенок калибра. Более подробно о применении всех этих основных приемов будет сказано при разборе калибровки различных профилей.

Рассмотрим калибровку углового равнобокого, неравнобокого и зетового профилей как усложненную калибровку полосового железа, а также таврового, двутаврового, швеллерного и рельса как калибровку постепенно усложняющихся профилей.

В фасонных калибрах не всегда линия прокатки проходит через центр тяжести калибра.

Так как обязательно, чтобы нейтральная линия калибра совпадала с линией прокатки, то необходимо уметь найти положение нейтральной линии каждого калибра.

Большинство авторов по калибровке считает, что нейтральная линия калибра всегда проходит через его центр тяжести. Однако это не всегда бывает так.

Для круглых и овальных калибров нейтральной линией служит горизонтальный диаметр их, для квадратных — большей частью горизонтальная диагональ, для прямоугольных сечений — прямая  $MM'$ , проходящая горизонтально посередине между двумя горизонтальными сторонами прямоугольника (рис. 59).

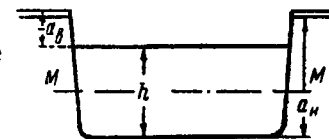


Рис. 59. Нейтральная линия калибра

Для калибров, которые нельзя разложить на несколько малых плоских прямоугольников, рекомендуется следующий способ нахождения нейтральной линии, который можно демонстрировать на угловом калибре (рис. 60,а).

Нейтральная линия проходит через середину высоты калибра  $h$ , которую определяют как расстояние между двумя параллельными горизонтальными линиями, проходящими через наиболее выдающиеся точки калибра, в данном случае  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Предложенный способ совпадает с определением центра тяжести данной фигуры; таким образом, и здесь нейтральная линия проходит через центр тяжести калибра.

Если работающие поверхности ручьев параллельны линии валков и профиль можно разложить на несколько прямоуголь-

ников, то определять положение нейтральной линии можно способом, показанным на профиле швеллера (рис. 60,б).

Находят отдельные центры тяжести фланцев и проводят через них нейтральные линии  $OO'$  и  $O_0O_1$ . Через центр тяжести

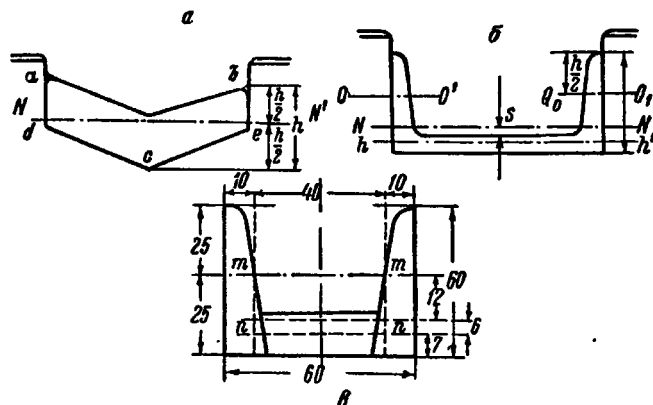


Рис. 60. Методы определения положения нейтральной линии калибра

ножки также проводят нейтральную для нее линию  $hh'$ . После этого проводят нейтральную линию  $NN'$  через точку  $S$ , находящуюся от линий  $hh'$  и  $OO'$  на расстояниях, обратно пропорциональных сумме площадей фланцев, с одной стороны, и площади ножки — с другой.

Идея совпадения центра тяжести сечения с средней линией валков имеет в виду достижение уравнивания истечения металла в верхней и нижней половине полосы, вызываемого различными скоростями слоев металла.

Если диаметры валков одинаковы, то стремление верхней половины полосы загнуться кверху уравнивается тем же интенсивным стремлением нижней половины полосы загнуться книзу, благодаря равенству площадей сечения, лежащих по обе стороны от нейтральной линии.

Но если имеет место верхнее (или нижнее) давление, то при условии, что линия прокатки совпадает с центром тяжести, указанного уравнивания не произойдет, так как верхние слои вследствие верхнего давления имеют стремление выгнуть полосу вниз. В противопоставление этому дополнительному стремлению металла изгибаться вниз происходит усиленный изгиб кверху, благодаря смещению нейтральной линии вниз от линии центров.

Каким же образом находится смещение нейтральной линии по отношению к центру тяжести калибра?

Нейтральная линия должна проходить на расстояниях от нейтральных линий фланцев ( $OO'$ ), с одной стороны, и ножки ( $hh'$ ), с другой стороны, обратно пропорциональных рабочим поверхностям калибра, примыкающим к этим частным нейтральным линиям (рис. 60,б).

Этим приемом учитывается влияние различного верхнего давления в шейке и в фланцах, пропорционального поверхностям соприкосновения этих частей калибра. Поясним это на примере с профилем, показанным на рис. 60,б.

Прежде всего, трапеции, из которых состоит профиль, превращаются в равновеликие им прямоугольники, и средний прямоугольник удлиняется до стыка с крайними. Другими словами, профиль разлагают на три прямоугольника. Затем для каждого в отдельности находят нейтральную линию. Для первого и третьего прямоугольника она проходит через середину высоты полок ( $mm$ ) — выше основания профиля на 25 мм; для второго — через середину толщины горизонтального прямоугольника ( $nn$ ) — выше основания профиля на 7 мм.

Расстояние между обеими нейтральными линиями равно  $25 - 7 = 18$  мм. Работавшие поверхности, примыкающие к линии  $mm$ , равны  $2 \cdot 10 = 20$  мм, примыкающие же к линии  $nn$  равны  $60 - 20 = 40$  мм. Следовательно, результирующая нейтральная линия должна лежать ближе к нижней нейтральной линии, для чего делим 18 мм на части, обратно пропорциональные 20 и 40, или 1 : 2, т. е. 6 и 12.

Следует отметить еще два приема определения положения нейтральной линии для того же профиля.

В первом за нейтральную линию калибра принимают нейтральную линию ножки  $hh'$  (рис. 60,б), если фланцы невысоки.

Во втором за нейтральную линию калибра принимают линию  $OO'$  (рис. 60,б), если высота полок велика.

Оба эти метода, очевидно, не отвечают действительному расположению нейтральных слоев. Нужно отметить, что для фасонных профилей еще не выработан удовлетворительный метод определения положения нейтральной линии калибра. Вероятно, положение нейтральной линии по отношению к центру тяжести сечения необходимо корректировать пропорционально поверхностям соприкосновения калибра с валками в частях с разным давлением и пропорционально этим давлениям.

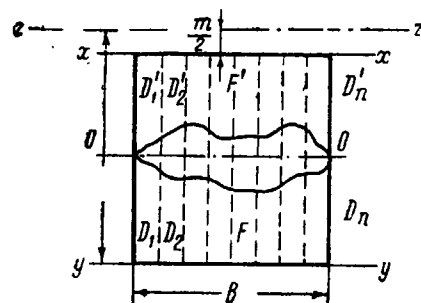
Одним из методов нахождения нейтральной линии калибра является метод Даля, который заключается в следующем<sup>1</sup>.

При работе без верхнего и нижнего давления необходимо соблюдать правило, чтобы катающие диаметры были равны

<sup>1</sup> Предложенный В. Далем (журнал «Шталь унд Айзен», 21 мая 1931 г.) метод нахождения средних диаметров также не решает вопроса полностью А. В.

в среднем для обоих валков. Вследствие этого средние катающие диаметры также будут равны.

Пусть профиль калибра имеет произвольный вид, изображенный на рис. 61. Разделим профиль на возможно большее число вертикальных полос. Обозначим катающие диаметры при



каждой полосе для нижнего вала через  $D_1, D_2, \dots, D_n$  и для верхнего вала через  $D'_1, D'_2, \dots, D'_n$ . Из условия равенства средних катающих скоростей можно написать:

$$\frac{\pi n}{60} (D_1 + D_2 + \dots + D_n) = \frac{\pi n}{60} (D'_1 + D'_2 + \dots + D'_n).$$

Рис. 61. Обобщенный метод нахождения нейтральной линии калибра

Отсюда

$$\Sigma D = \Sigma D'.$$

Средние  $D_m$  и  $D'_m$  будут равны между собою, так как

$$\frac{\Sigma D}{n} = \frac{\Sigma D'}{n}.$$

Для решения задачи проводим две произвольно расположенные оси  $x-x$  и  $y-y$ .

При помощи планиметра или другим способом определяем площади  $F$  и  $F'$ , которые, очевидно, равны соответственно

$$F = B \frac{D_m}{2} \quad \text{и} \quad F' = B \frac{D'_m}{2}.$$

Отсюда

$$D_m = 2 \frac{F}{B} \quad \text{и} \quad D'_m = 2 \frac{F'}{B}.$$

Так как  $F$  и  $F'$ , а также  $B$  известны, то находим разность  $D_m - D'_m = m$ .

Прибавляя к  $D'_m$  половину разности  $\frac{m}{2}$ , получим равенство условных средних рабочих диаметров обоих валков.

Проводя в расстоянии  $\frac{m}{2}$  выше оси  $x-x$  ось  $z-z$ , получаем условное положение осей валков  $y-y$  и  $z-z$ .

Разделив расстояние между этими осями пополам, получим положение нейтральной линии калибра, совпадающей с линией валков. Если требуется дать верхнее или нижнее давление, то смещаем соответственно калибр вниз или вверх, как уже было выяснено ранее.

## ГЛАВА 11

### КАЛИБРОВКА РАВНОБОКОГО УГЛОВОГО ПРОФИЛЯ

Угловой профиль вырабатывается как постепенно перегибающаяся полоса. Сначала квадрат раскатывается в прямоугольник в одном или двух плоских, т. е. не фасонных калибрах (плоская раскатка), затем следует ряд фасонных калибров, из которых первый изображен на рис. 62; тонкими линиями очерчена плоская раскатка (или иногда квадрат), задаваемая в первом фасонном калибре. Ручей в данном случае вырезан в нижнем валке, в него входит реборда верхнего вала. Нейтральная линия калибра, проходящая через центр тяжести калибра, совпадает с средней линией валков, т. е. верхнего или нижнего давления не имеется или же дается очень малое верхнее давление.

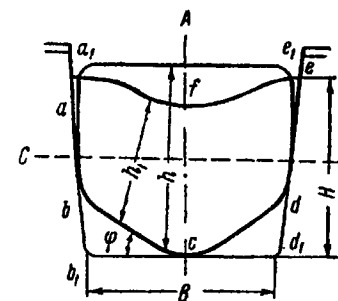


Рис. 62. Конструкция первого фасонного калибра при прокатке углового профиля

Центр тяжести можно найти приблизительно на пересечении линий  $AB$  и  $CD$ , проходящих через середины ширины  $B$  и высоты  $H$  калибра; при этом пренебрегаем небольшим отклонением боковых граней калибра  $ab$  и  $de$  от вертикального положения<sup>1</sup>.

Ширину калибра следует брать равной ширине раскатки, сообщая боковым граням калибра  $ab$  и  $de$  небольшой выпуск 2—5% для точного центрирования сгибаемой в калибре полосы. На первый взгляд кажется, что здесь не предусмотрено уширение полосы. Однако оно имеет вполне реальную величину, так как вместе с изгибом полосы получается нормальное к образующимся полкам обжатие, равное  $h - h_1$ . При расчете уширения в этом случае следует иметь в виду, что таковое происходит отдельно на каждой полке, как на отдельно прокатываемых полосах.

Рассмотрим теперь, имеется ли в первом калибре место для этого уширения. В момент задачи углы  $b_1$  и  $d_1$  раскатки опираются на углы  $b$  и  $d$  калибра и в то же время гребень  $f$

<sup>1</sup> Точный способ нахождения центра тяжести трапеции приведен ниже.

давит на середину грани  $de$  раскатки, сгибая ее и несколько обжимая ( $h - h_1$ ).

Угол сгиба (закрытия)  $\varphi$  при этом рекомендуется 17—19°. При сгибе без обжатия, очевидно, длина нижней полки калибра  $bc$  будет больше длины  $b_1c$ ; разницу этих длин  $bc - b_1c$  можно определить из следующего соотношения:

$$bc - b_1c = \frac{b_1c}{\cos \varphi} - b_1c = b_1c \frac{1 - \cos \varphi}{\cos \varphi}.$$

Пользуясь табл. 1, находим для угла 17° значение множителя:

$$\frac{1 - \cos 17^\circ}{\cos 17^\circ} = \frac{0,0437}{0,9563} \approx 0,045.$$

Отсюда следует, что, принимая в первом пропуске постоянный угол закрытия, мы ставим уширение полосы вне зависимости от обжатия, но в зависимость от ширины полосы, причем чем шире полоса, т. е. чем выше номер уголка, тем больше место, предоставляемое уширению. Последнее обстоятельство находит оправдание тому, что более высокие номера уголков прокатываются в валках большего диаметра, а следовательно, допускают большие обжатия и в связи с этим большие уширения.

Размеры исходных квадратов для всех уголков определяют, принимая коэффициент уширения для уголков № 2—8  $a = 0,25$  и для уголков № 9—15  $a = 0,3$  и пользуясь формулой, выведенной выше для полосового железа,

$$x = \frac{2b + 2ah}{1 + 2a}$$

(здесь вместо  $a$  берется  $2a$ , так как уширение идет в обе стороны самостоятельно,  $2b$  равно суммарной длине наружной кромки сечения уголка,  $b$  — длина полки).

Таблица 65

Диаметры валков для прокатки уголков

№ уголков	Применяемые диаметры, мм
2—3,5	260—300
3—5	350
4—8	400—450
6—10	500—550
8—12	600—650
10—15	700

Прокатка обычно ведется в валках, диаметр которых приведен в табл. 65. Из таблицы видно, что некоторые номера уголков дают возможность широкого выбора диаметра валков.

Так как на большинстве заводов не имеется станов всех указанных диаметров валков, то на разных заводах прокатка одних и тех же размеров производится на разных станах.

При выборе диаметра валков для данного номера уголка в указанных в табл. 65 пределах следует руководствоваться, с одной стороны, соображением, что чем меньше диаметр валков, тем обычно больше скорость прокатки, но, с другой стороны, тем меньше обжатия и, следовательно, больше число пропусков и больше напряжения в различных частях профиля. Напряжения в разных частях профиля тем больше, чем больше разница в скоростях отдельных точек калибра и металла.

Рассмотрим два крайних случая прокатки уголка № 8 в валках 450 и 600 мм, взяв чистовой пропуск. На рис. 63 средняя

линия  $CD$  прокатки проходит через центр тяжести калибра  $O_1$ , находящийся на линии  $AB$  на расстоянии 22,5 мм от линий  $ab$  и  $cb$ , или на расстоянии  $1,41 \cdot 22,5 \approx 32$  мм от точки  $b$  по линии  $AB$  и  $bc$   $\sin 44^\circ 45' - 32 = 81 \cdot 0,71 - 32 \approx 25$  мм от уровня  $ac$ .

$$O_1f = O_1b - bf = 32 - 1,41 \cdot 12 \approx 16 \text{ мм.}$$

Ручей вырезан в нижнем валке, калибр замыкается ребордой  $A$  верхнего валка. Точка  $b$  принадлежит нижнему валку<sup>1</sup>.

Определим катающие диаметры  $D_k$  крайних точек калибра  $a, b, c, d, e, f$ , а также относительные скорости  $v$  этих точек к скорости металла  $v_0$ , считая, что последняя определяется окружной скоростью валков стана  $D$ . Достаточно определить скорости точек  $b, c, d$  и  $f$  ввиду симметрии остальных. Результаты подсчета поместим в табл. 66.

Из табл. 66 в сопоставлении с рис. 63 видно, что металл у вершины угла и на краях полки обрабатывается различно, и разница между скоростью металла и обрабатывающими поверхностями, а следовательно, и напряжения, тем больше, чем меньше диаметр валка. Разность скоростей валков в углах калибра при вершине, направленных относительно полосы в разные стороны, равна 21% при  $D = 450$  мм и 16% при  $D = 600$  мм. То же на краях полки: 24% и соответственно 18%.

Такая обработка металла способствует возникновению напряжений, а также и увеличению вытяжки и уменьшению

<sup>1</sup> Практически угловые калибры располагают в валках вершиной вверх. Г. В.

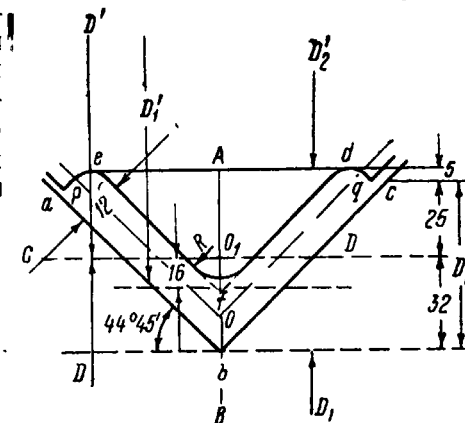


Рис. 63. Различия угловой деформации металла в вершине уголка и у концов полок

Таблица 66

Прокатка уголка в валках различного диаметра

	D = 450 мм				D = 600 мм			
	b	f	c	d	b	f	c	d
D <sub>н</sub> , мм . . .	386	482	500	390	536	632	650	540
v, % . . . .	86	107	111	87	89	105	108	90
v <sub>о</sub> , % . . . .	100	100	100	100	100	100	100	100
v — v <sub>о</sub> , % . .	—14	+7	+11	—13	—11	+5	+8	—10
	21%		24%		16%		18%	

уширения, поэтому, вообще говоря, коэффициент уширения  $a$  при прокатке уголков должен быть меньше, чем при прокатке полос при тех же обжатиях; кроме того, этот коэффициент должен тем более приближаться к коэффициенту  $a$  для полосового железа, чем больше  $D$ .

### 1. Построение фасонных калибров

Рассмотрим правила построения фасонных калибров и, в частности, число пропусков, ряд коэффициентов изменения толщины полок, величины закрытия углов в связи с уширением и радиусы закруглений калибров.

Постепенное изменение толщины полок и число пропусков можно определить тем же приемом, какой был указан при рассмотрении калибровки полосового профиля, если уже известен размер исходного квадрата.

Зная сторону квадрата  $x$  и толщину полок готового профиля, определяем  $p$  — произведение искомых коэффициентов относительных толщин:

$$p = \frac{x}{h}.$$

Подыскивая в табл. 55 ближайшее значение  $p$ , определяем по нему число калибров  $n$  и ряд относительных коэффициентов толщины полок, как это было показано при рассмотрении калибровки полосового профиля. В число найденных калибров входят один квадратный калибр и одна или две плоских раскатки.

Если позволяет диаметр валков, можно выбросить еще один калибр, увеличив соответственно в некоторых калибрах коэффициенты обжатия, начиная с третьего или четвертого от конца (при калибровке углового профиля необходимо придерживаться правила, что обжатие в чистовом калибре всегда 1 мм,

в предотделочном — 2 мм). Лучше всего выбрасывать четвертый с конца калибр, в котором обжатие обычно мало. Выше было уже сказано о величине угла закрытия в первом (по направлению прокатки) фасонном калибре и было указано, чем нужно руководствоваться при выборе и определении этого угла в каждом частном случае.

В остальных калибрах необходимо угол закрытия постепенно увеличивать до тех пор, пока в чистовом калибре он не будет равен  $\varphi_n = 44^\circ 45'$ . В чистовом калибре следует этот угол брать несколько меньше  $45^\circ$  для того, чтобы после охлаждения прокатанной полосы он получил нужную поправку, подобно тому, как это делается при прокатке квадратного профиля. Таким образом постепенному закрытию подлечит угол  $\varphi_n - \varphi_1$ . Некоторые закрывают угол в каждом калибре на величину, пропорциональную обжатию в данном калибре, чтобы произвести постепенный загиб в соответствии с температурой и вытяжками.

Вредные напряжения при изгибе (растягивающие снаружи и сжимающие внутри угла) ослабляются этой постепенностью изгиба, который при высоких температурах, т. е. в первых фасонных калибрах, можно безопасно производить энергично. В последних пропусках, когда пластичность металла мала, необходимо этот изгиб делать минимальным.

Замечено, что изгиб без обжатия более опасен, чем сопровождающийся обжатием, поэтому также и с этой точки зрения целесообразно наибольший изгиб производить в первых фасонных калибрах, в которых обжатия максимальны.

Применение этого правила будет показано на примерах калибровки. Другие авторы не придают значения указанному постепенному изменению угла сгиба и рекомендуют увеличивать угол закрытия на  $5^\circ$  в каждом калибре, начиная от первого фасонного, мотивируя это большей простотой расчета.

Можно связать закрытие угла с величиной уширения в каждом пропуске, как это рекомендовал И. М. Павлов [55]. Однако лучше придерживаться возможно большего угла закрытия в первом фасонном калибре на том общем основании для фасонной калибровки, что всякого рода неравномерные и сильные деформации лучше всего проводить при высоких температурах и по возможности в первом фасонном профиле. Если при расчете на уширение окажется, что  $\varphi < 17^\circ 30'$ , то лучше взять  $\varphi = 17^\circ 30'$  как проверенный практикой.

Если в калибре имеется излишнее место для действительного уширения, то можно увеличить обжатие полок или радиусы закруглений. Построенные таким образом калибры не нуждаются в выпуске, т. е. уклоне боковых граней. Они могут быть верти-

кальными, так как выпуск обеспечивается достаточной просторностью калибра, благодаря растущему наклону нижних граней. Наоборот, в калибрах для крупных номеров возможно даже

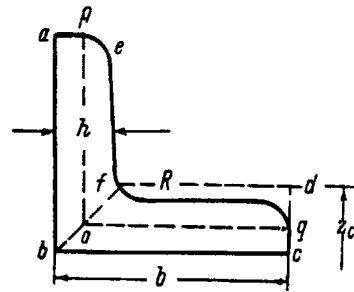


Рис. 64. Размеры чистового углового профиля

некоторое сужение горизонтальной ширины калибров в направлении прокатки, что будет ясно из примеров калибровки.

Скажем несколько слов об измерении длины полков в каждом калибре. В этом отношении все калибры следует разбить на две группы.

1. Чистовой и один или два пред-отделочные калибра имеют полки трапециoidalной формы  $abfe$  и  $cbfd$  (рис. 64) — поэтому их длину надо принять по средней линии трапеции  $op$  и  $oq$ ; в этом случае, если обозначить длину полки по нижней кромке профиля ( $ab$  или  $bc$ ) через  $b$ , суммарная длина средней линии обеих полков  $B_1$  будет равна

$$B_1 = 2b - h \quad \text{и} \quad b = \frac{B_1 + h}{2}.$$

2. Остальные фасонные калибры имеют полки в виде параллелограмма (трапеции здесь весьма близки к параллелограмму  $abcf$  и  $cdfe$  — рис. 62) — поэтому их средняя длина совпадает с длиной нижних кромок. Суммарная длина  $B_n$  равна

$$B_n = 2b_n.$$

Эти замечания пригодятся нам в дальнейшем при рассмотрении примеров калибровки.

Имеют существенное значение закругления углов как в чистовом, так и в прочих фасонных калибрах. Чистовой профиль имеет установленные стандартные радиусы закруглений  $R$  и  $r$ , они и применяются в чистом калибре.

Пример калибровки уголка. Рассмотрим для примера калибровку уголка № 8. По ОСТ уголок № 8 имеет размеры, указанные в табл. 67.

Для определения размеров исходного квадрата поступаем так же, как было нами указано при рассмотрении калибровки полосового железа. Суммарную длину полков определяем по средней длине, т. е. исходя из размера  $B_1 = 2b - h$ , где  $b$  и  $h$  — размеры в горячем состоянии.

Так как прокатка полосы, загибаемой в уголок, сопровождается уширением, определяемым по формуле

$$\Delta B = a(H - h),$$

Таблица 67

Размеры уголка № 8

b мм	h мм	R мм	r мм	Площадь поперечно- го сечения Q, мм <sup>2</sup>	Вес 1 пог. м кг	Расстояние центра тяжести Z <sub>c</sub> , мм	Горячий профиль мм	
							b	h
80	6	9,0	3,0	9,38	7,36	2,19	81	6,1
	8			12,30	9,66	2,27		8,1
	10			15,10	11,90	2,35		10,2

то сторона квадрата рассчитывается из уравнения

$$x = 2b - h - a(x - h),$$

откуда

$$x = \frac{2b - h(1 - a)}{1 + a}.$$

Примем для данного случая  $a = 2 \cdot 0,25 = 0,5$  мм. Подставляя значения  $b = 81$  мм,  $a = 0,5$ ,  $h = 8$  мм, получим

$$x = \frac{2 \cdot 81 - 8(1 - 0,5)}{1,5} = 105 \text{ мм.}$$

Окончательно

$$x = 105 + 8 = 113 \text{ мм.}$$

Почти тот же результат получается, если пользоваться формулой для полосового железа, где  $a = 0,5$ .

$$x = \frac{2b + ah}{1 + a} = 111 \text{ мм,}$$

поэтому проще всегда пользоваться этой формулой.

Размер исходного квадрата нам нужен для определения  $p$ .

$$p = \frac{111}{8,1} = 13,7.$$

По табл. 55 находим, что прокатка может быть проведена в девяти калибрах (группа 7, графа 3), или в восьми калибрах (группа 6, графа 4), или, наконец, в семи калибрах (группа 5, графа 6). В число этих калибров входят один квадратный и один плоский, не фасонный, следовательно, фасонных имеем 7, 6 или 5. В стане 450 придется взять 7 пропусков, в стане 550—6 пропусков и в стане 600—5 пропусков. Коэффициент относи-



тельных высот (толщин) полок указан в табл. 68, где приведены калибровки для стана 550.

Таблица 68

Расчет калибровки уголка № 8

№ калибра	Коэффициент		$h_T$ мм	$H-h$ мм	Исправленные		$2a$	$\Delta B$ мм	$B$ мм	$b$ мм	$R$ мм	$r$ мм
	табл.	испр.			$H-h$ мм	$h$ мм						
1	1,0	1,0	8,1	1	1	8,1	0,8	0,8	153,9	81	10	4
2	1,114	1,125	9,1	2	2	9,1	0,6	1,2	153,1	80,6	11	4,4
3	1,228	1,240	11,1	4,2	5,4	11,1	0,6	3,2	151,9	75,95	13,5	5,4
(4)	1,342	1,355	15,3	7,1	—	—	—	—	—	—	—	—
4	1,456	1,466	22,4	13,2	11,5	16,5	0,6	10,5	148,7	74,35	20	8
5	1,570	1,585	35,6	24,9	24	28	0,50	12,0	138,2	69,1	34	13
6	1,684	1,700	60,5	50,5	(60) 40	52	0,38	15,2	126,2	62,85	63	26
(7)	1,8	Раскатка	111	—	19	92	—	—	111	55,5	—	—
7	1,8	1,825	111	—	—	111	—	—	111	—	—	—
$\Sigma$	12,7	13,7			$\Sigma=102,9$							

Примечание. Поправка  $\sqrt[7]{\frac{13,7}{12,7}} \approx 1,01$ . Неувязку вследствие не точности поправки исправляем в 7 калибре. Найдя, что в 7 и (4) калибрах обжатия слишком малы, пропускаем (4) калибр. Вместо него вводим (7) для уменьшения угла захвата в 6 калибре. Распределяем  $H-h$  так, чтобы  $\Sigma(H-h) = 111 - 8,1 = 102,9$  мм.

Проверим угол захвата в 6-м калибре по табл. 1:

$$1 - \cos \alpha = \frac{40}{550 - 52} \approx 0,08; \quad \alpha \approx 23^\circ.$$

Следовательно, обжатие 40 мм в данном стане вполне приемлемо. Окончательный размер квадрата и ширины (т. е. длины профиля) раскатки определим по уширениям. Коэффициент уширения рассчитываем по рис. 2 по линии  $D=600-400$  мм. Графа  $B$  означает суммарную длину полок по средней линии  $B_1 = 2b - h = 2 \cdot 81 - 8,1 = 153,9$  мм. Затем ряд  $B_2, B_3$  и т. д. определяем вычитанием уширения из предыдущей длины полки  $B_2 = B_1 - \Delta B_1 = 153,9 - 0,8 = 153,1$  мм,  $B_3 = B_2 - \Delta B_2 = 153,1 - 1,2 = 151,9$  мм и т. д. Графа  $b$  означает длину одной полки в каждом калибре. Длину полок определяем по заданию  $b_1 = 81$  мм,  $b_2 = b_1 - 0,5 \Delta B = 81 - 0,4 = 80,6$  мм. Дальнейшие калибры имеют длину  $b \frac{B}{2}$ , как было выяснено ранее,

так как их крайние длины равны средним длинам. Окончательно раскатку получаем  $92 \times 111$  мм и квадрат  $111 \times 111$  мм. Жез для того же примера находит раскатку  $92 \times 113$  мм. Горизонтальная проекция ширины чистового калибра равна  $81 \cdot 1,41 = 114,2$  мм. Приняв ширину раскатки 111 мм, получаем, что все калибры имеют почти одну и ту же ширину в горизонтальной проекции, что и было отмечено выше. Определим угол закрытия из выражения

$$bc = \frac{b_1c}{\cos \varphi_1} \quad \text{или} \quad \cos \varphi_1 = \frac{b_1c}{bc}.$$

Так как в данном случае  $b_1c = 55,5$  мм и  $bc = 62,85$  мм, то  $\cos \varphi_1 = 0,883$ , откуда  $\varphi_1 = 28^\circ$ . Получается чрезмерно большой угол для первого пропуска, не встречающийся на практике, а поэтому небезопасный. Принимаем поэтому  $\varphi_1 = 19^\circ$ , максимальный по Жезу. В таком случае получим  $bc = \frac{55,5}{0,9456} = 58,7$  мм.

Следовательно, недостающее уширение будет

$$62,85 - 58,7 \approx 4 \text{ мм.}$$

Его необходимо обеспечить выпуском

$$2 : \frac{52}{2} = 0,077, \quad \text{т. е. } 7,7 - 8\%.$$

Другое решение вопроса заключается в том, что так как шестой калибр при угле  $19^\circ$  имеет горизонтальную ширину

больше, чем ширина раскатки, на  $2(62,85) \cdot \cos 19^\circ - 55,5 = 7,8$  мм, то можно также уменьшить обжатие в первом фасонном пропуске, увеличив таковое при прокатке квадрата в раскатку. Для нахождения углов закрытия полок в следующих калибрах определим величины, пропорциональные обжатиям, начиная с чистового калибра, поместив вычисление в табл. 69. Так как нет надобности в особой точности углов закрытия, то упрощаем данный ряд коэффициентов.

Далее следовало бы ради точности разделить угол  $27^\circ 15'$  на части, пропорциональные найденному ряду, но так как оперировать при вычерчивании калибровки с углами хуже, чем с танген-

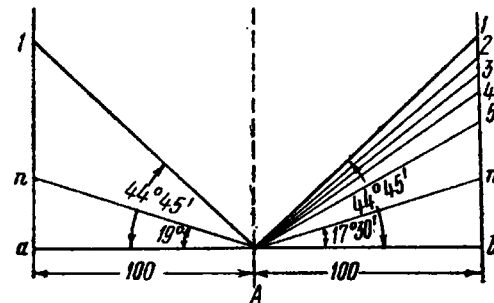


Рис. 65. Графическое определение углов закрытия

сами или синусами углов, то предпочитают пользоваться тангенсами углов.

Можно, не прибегая к таблицам тангенсов, решить вопрос графически, как представлено на рис. 65. Поместив на горизонтальной линии в точке  $A$  вершину уголка таким образом, чтобы биссектриса прямого угла этого уголка была вертикальна, откладываем от нее влево и вправо отрезки  $aA$  и  $Ab$ . В точках  $a$  и  $b$  проводим вертикали, на которых откладываем графически или подсчетом тангенсы углов  $19^\circ$ ,  $17^\circ 30'$  и  $44^\circ 45'$ , умноженные на длину отрезка  $aA$ . Если взять длину отрезка  $aA = bA = 100$  мм, то отрезок  $bn = 100 \cdot \operatorname{tg} 17^\circ 30' = 31,53$ ; отрезок  $an$  на вертикали слева равен  $100 \cdot \operatorname{tg} 19^\circ = 34,43$ ; отрезки  $al$  (и  $bl$ ) на вертикалях слева и справа равны  $100 \cdot \operatorname{tg} 44^\circ 45' = 99,13$ . Так как нами был принят  $\varphi_1 = 19^\circ$ , то подлежит делению на пропорциональные части отрезок  $nl = 99,13 - 34,43 = 64,7$  при  $\varphi_1 = 19^\circ$  и  $nl = 99,13 - 31,53 = 67,6$  при  $\varphi_1 = 17^\circ 30'$ . Найдя сумму членов пропорционального ряда (табл. 69), равную 7,3, получаем ряд пропорциональных отрезков:  $\frac{64,7}{7,3} \cdot 1,1 = 9,8$ ;  $\frac{64,7}{7,3} \cdot 1,2 = 11,2$ , и т. д. Рядом в следующей графе поставлены округленные до 0,5 мм числа, которыми и руководствуются при дальнейшем построении. То же сделано на правой стороне диаграммы, построенной для  $\varphi_1 = 17^\circ 30'$ . Результаты подсчета приведены в табл. 69. Полученные на рис. 65 диаграммы для

Таблица 69

Нахождение углов закрытия

№ калибра	Коэффициент обжатия	Коэффициент исправлений	Отрезок $\operatorname{tg}$ при $\varphi_1 = 19^\circ$		Отрезок $\operatorname{tg}$ при $\varphi_1 = 17^\circ 30'$	100 $\operatorname{tg} \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\varphi$	$\cos \varphi$	$b$ , мм	$x$ , мм	$x - 55,5$ , мм
			расчетный	округлен.								
1	1,125	1,1	9,8	10	10	99	0,99	$44^\circ 43'$	0,7106	81	57,5	2
2	1,240	1,2	11,2	11	11	89	0,890	$41^\circ 50'$	0,7431	80,6	60,0	4,5
3	1,486	1,5	13,5	13	13,5	78	0,780	$38^\circ$	0,7846	75,95	59,6	4,1
4	1,700	1,7	15,2	15	15,5	65	0,650	$34^\circ$	0,8347	74,35	62	6,5
5	1,770	1,8	16,0	16	17,5	60	0,60	$31^\circ$	0,8572	69,1	59,2	3,7
6	Σ	7,3	64,7	65	67,5	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	34	0,34	$18^\circ 47'$	0,9457	62,85	59,3	3,8

предельных углов  $\varphi_1 = 17^\circ 30'$  и  $19^\circ$  годятся для калибровки всех номеров, катаемых в шести фасонных калибрах. Подобные же диаграммы легко построить для другого числа пропусков в фасонных калибрах.

Посмотрим, кстати, как уменьшаются углы закрытия в нашем примере при  $\varphi_1 = 19^\circ$ . Результаты вычислений приведены в табл. 69. Посмотрим, насколько отступают крайние точки калибров от вертикальной линии, ограничивающей ширину плоского калибра. Для этого найдем для каждого калибра горизонтальную проекцию длин полож  $x = b \cos \varphi$  и найдем разность этих проекций с шириной половины плоского калибра  $x = 55,5$ . Результаты вычислений приведены в табл. 69. Мы видим, что отступления имеются всюду, хотя и незначительные.

## 2. Построение угловых калибров с прямыми полками

Пользуясь данными табл. 68 и диаграммой рис. 65, вычертим очертания всех калибров в направлении по ходу прокатки.

Первый фасонный калибр, шестой от конца прокатки (рис. 66), вычерчивается следующим образом. При помощи диаграммы рис. 65 проводим линию  $AG$  (рис. 66) под углом  $18^\circ 47'$  (см. табл. 69). На ней откладываем длину  $b_6 = 62,85$  мм ( $AG$ ). В точке  $G$  проводим вертикальную линию  $GE$  как боковую грань калибра. От линии  $AG$  в расстоянии (по перпендикуляру к ней), равном толщине полки  $h_6 = 52$  мм, проводим линию  $FE$ , параллельную  $AG$ . Пересечение обеих параллельных линий  $AG$  и  $FE$  с вертикалями  $GE$  и  $AF$  образует очертание левой полки 6 калибра. Таким же образом строится правая полка калибра  $AHDF$ . Остается снабдить калибр закруглениями, вписав в угол при  $F$  касательную окружность радиуса  $R = 63$  мм (табл. 68). Из остальных углов подлежат постепенному закруглению углы при  $D$  и  $E$  радиусом  $r^1$ .

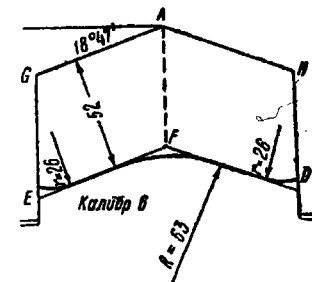


Рис. 66. Первый фасонный калибр

Прокатка углового железа обычно проводится в трехвалковом стане. При прокатке уголок расположен всегда вершиной угла вверх и таким образом полоса фактически не кантуется, но зато чередуется положение стыка реборд (замков) то у верхней ( $E$  и  $D$ ), то у нижней ( $G$  и  $H$ ) кромки калибров. Если замок приходится при  $E$  и  $D$ , то закругление радиусом  $r$  следует делать неполное, чтобы входящая в калибр реборда валка не имела слишком заостренных, а следо-

<sup>1</sup> Углы  $G$  и  $H$  немного притупляются малым радиусом.

вательно, и непрочных кромок у  $E$  и  $D$ . Поэтому центр закругления надо помещать очень близко к вертикальным граням калибра.

При этом надо иметь в виду следующие приемы размещения замка (рис. 67). Тип  $A$  с замком у  $e$  и  $a$  применяется обычно в 1-м и 3-м фасонных калибрах (по ходу прокатки). В этом типе закругление при  $e$  и  $d$  неполное. Полное закругление может быть осуществлено по типу  $B$  и в предотделочных калибрах по типу  $Г$ . Тип  $B$  представляет собой среднее между  $B$  и  $Г$  состояние, предшествующее предотделочному калибру, наконец, тип  $Д$  относится к чистовому калибру. Полное развитие закруглений радиусом  $r$  можно получить лишь в калибрах типа  $B$ ,  $Г$  и  $Д$ . Иногда пользуются для 1-го и 2-го фасонных калибров типом  $B$ , помещая их один над другим и кантуя полосу на  $180^\circ$ ; 3-й фасонный калибр ставят типа  $A$ , не кантуя полосы; 4-й фасонный калибр применяют типа  $Г$ , также не кантуя полосы; затем для всех остальных, кроме чистового, применяют тип  $Г$ , но при этом необходимо от калибра к калибру проводить кантовку полосы на  $180^\circ$ . Чистовой калибр ставится типа  $Д$ .

Отметим некоторые особенности калибровки в отношении углов закрытия калибра. Нужного для чистового калибра угла часто достигают в первых четырех фасонных калибрах; во всех

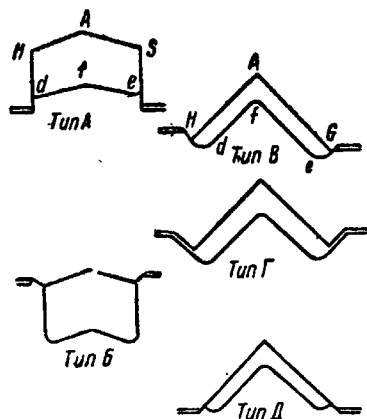


Рис. 67. Размещение замков в угловых калибрах

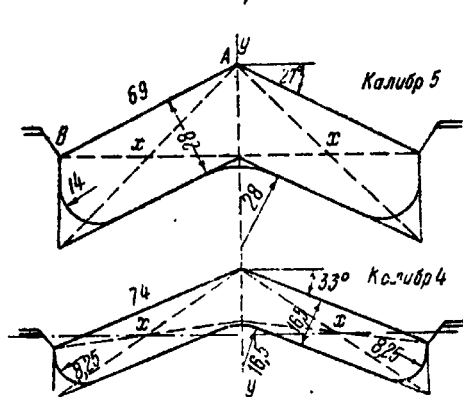


Рис. 68. Построение 4-го и 5-го калибров

остальных угол наклона полок не изменяется, производится лишь утонение и вытяжка полок. Такого рода прием представляет большое удобство для получения уголков одного и того же номера, но разной толщины в одних и тех же калибрах посредством изменения вертикальной установки валков.

Возвратимся к построению рассчитанных нами калибров при условии некантования полосы, обращенной вершиной вверх. В 6-м фасонном калибре делаем закругление по типу  $A$  (рис. 67):

Следующий 5-й фасонный калибр строится по тем же правилам, однако закругления в нем делаются по типу  $B$  (рис. 68), причем наружная кромка калибра лежит на линии  $A$ , построенной по диаграмме рис. 65,<sup>1</sup> с закруглениями по типу  $B$ ; 3-й калибр строится по типу  $B$  (рис. 69), 2-й калибр — по типу  $Г$  и 1-й чистовой — по типу  $Д$ . В последних двух калибрах ширину полок откладывают по средней линии (76,5 и 77 мм), в то время как в предыдущих можно было откладывать их более удобно на наружных кромках. Для определения центра тяжести

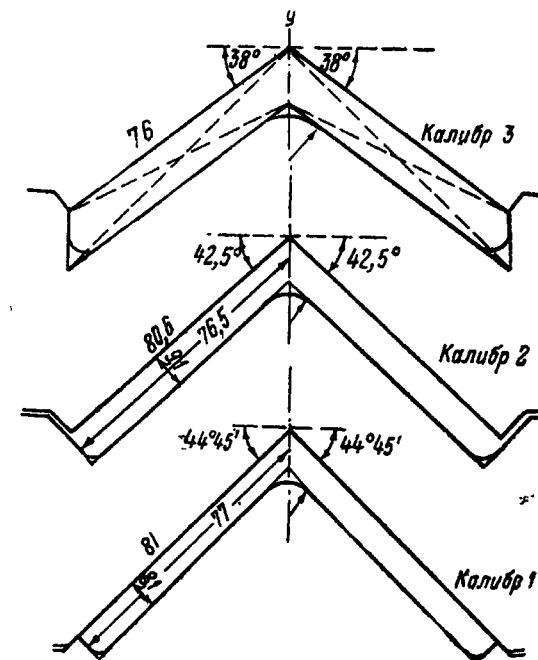


Рис. 69. Построение 3-го, 2-го и 1-го калибров

калибров, составленных из параллелограммов (калибры 5—3), пользуемся тем, что параллелограммы полок размещены симметрично и, следовательно, центр тяжести всего сечения лежит

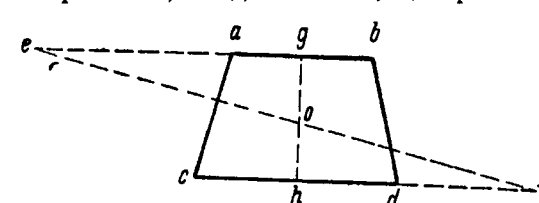


Рис. 70. Графическое определение центра тяжести

в точке пересечения вертикальной оси симметрии  $uu$  с линией  $xx$ , проходящей через центр тяжести параллелограммов и соединяющей точки пересечения их диагоналей. Что касается калибров, полка которых представляет трапеции (калибры 1—2), то центр тяжести трапеций определяется графиче-

<sup>1</sup> Так же строится 4-й калибр (рис. 68).

ским приемом, изображенным на рис. 70. Центром тяжести является точка  $O$ .

Линия  $ae = cd$ , линия  $df = ab$  и линия  $gh$  проходит через середины  $ab$  и  $cd$ .

В одних и тех же калибрах можно прокатывать уголок одного и того же номера, но разной толщины. Этот прием оказывается вполне удовлетворительным, если разница в толщине колеблется

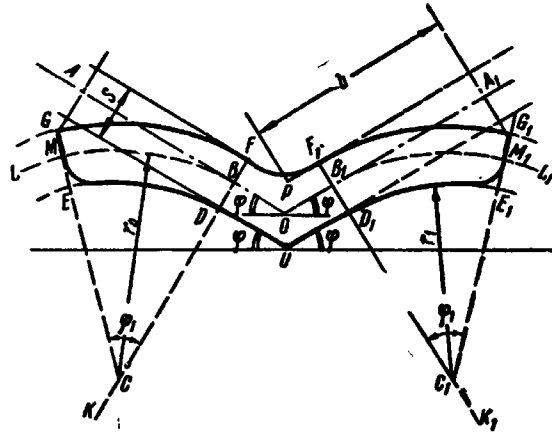


Рис. 71. Построение угловых калибров с развернутыми полками

в пределах 1—2 мм. При больших разнице получают недостаточно хорошо выполненные кромки. Этот недостаток исправляется, если полкам уголка в калибрах придавать развернутый вид (рис. 71). В этом случае подъем валков не отражается заметно на длине полков и форме их кромок. Калибровка уголков с развернутыми полками является наиболее употребительной.

### 3. Построение угловых калибров с развернутыми полками

Построение угловых калибров с развернутыми полками (рис. 71) Чекмарев [56] рекомендует производить следующим образом.

Из точки  $O$  под углом  $\varphi$  проводят наклонные линии, на которых откладывают длины полков  $OA$  и  $OA_1$  по средней линии калибра. Отсекая  $\frac{1}{4}$  длины, проводят перпендикуляры  $BK$  и  $B_1K_1$  по которым от точек  $B$  и  $B_1$  откладывают отрезки  $BC$  и  $B_1C_1$ , равные  $\frac{b}{2} + 2s$ , где  $b$  — ширина, а  $s$  — толщина полки.

Полученными отрезками, как радиусами, проводят дуги  $BL$  и  $B_1L_1$ . На дугах необходимо отложить от точек  $B$  и  $B_1$  отрезки,

равные  $\frac{3}{4}$  длины полков по средней линии. Для этого пользуются следующими тригонометрическими соотношениями:

$$2\pi r_0 = 360^\circ,$$

$$\frac{3}{4} \cdot b = \varphi_1^\circ,$$

$$\varphi_1^\circ = \frac{360 \cdot 3b}{4 \cdot 2\pi r_0},$$

где

$$r_0 = \frac{b}{2} + 2s.$$

Откладывая от линий  $BC$  и  $B_1C_1$  из центров дуг  $C$  и  $C_1$  полученный угол  $\varphi_1$ , проводят линии  $CM$  и  $C_1M_1$ , которыми отсекают необходимые длины дуг. Длина линий  $OM$  и  $OM_1$  равна длине полков. Дальнейшее построение калибра заключается в проведении из тех же центров  $C$  и  $C_1$  дуг  $DE$  и  $D_1E_1$  радиусом  $r_1 = \frac{b}{2} + 1,5s$  и дуг  $FG$   $F_1G_1$  радиусом  $r_2 = \frac{b}{2} + 2,5s$ .

Прямые участки линий, ограничивающие калибр сверху и снизу,  $FP$  и  $F_1P$ , а также  $DU$  и  $D_1U$  получаем проведением линий, параллельных  $OB$  и  $O_1B_1$  и касательных к дугам  $FG$ ,  $F_1G_1$  и  $DE$  и  $D_1E_1$ .

Для нанесения боковых, ограничивающих калибр линий необходимо задаться уклоном (выпуском), который обычно берут в 5—10% для первого калибра и 2—5% для остальных калибров.

Полученный «скелет» калибра заканчивается закруглениями: в точке  $P$   $r' = s$ , в точке  $U$   $r'' = 0,2s$ , в точках  $E$  и  $E_1$   $r''' = 0,5s$ . В чистовом калибре закругления выполняются по ОСТ.

По этому способу производится построение всех калибров, кроме чистового.

Положение закруглений концов полков меняется при переходе от калибра к калибру соответственно чередованию открытых и закрытых частей калибра. В предотделочном калибре лучше прямую часть полки брать равной  $\frac{1}{2}b$ , а в остальных калибрах изменять ее постепенно от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}b$ .

В чистовом калибре полки должны быть прямыми, и размеры калибра определяются размером готового профиля в холодном состоянии.

## ГЛАВА 12

## КАЛИБРОВКА НЕРАВНОБОКОГО УГЛОВОГО ПРОФИЛЯ

Сортамент ОСТ значительно облегчает прокатку уголков тем, что число толщин не превышает трех, причем калибровка должна вестись по средней толщине с таким расчетом, чтобы, сдвигая или раздвигая валки на 1—2 мм, можно было получить соседние толщины полок. Это последнее замечание относится также и к равнобокому угловому железу. Проведем для примера калибровку уголка № 10/6,5.

При калибровке неравнобоких уголков применяются два основных вида расположения калибров: 1) биссектриса  $AD$  внутреннего угла вертикальна (рис. 72, а) и 2) биссектриса

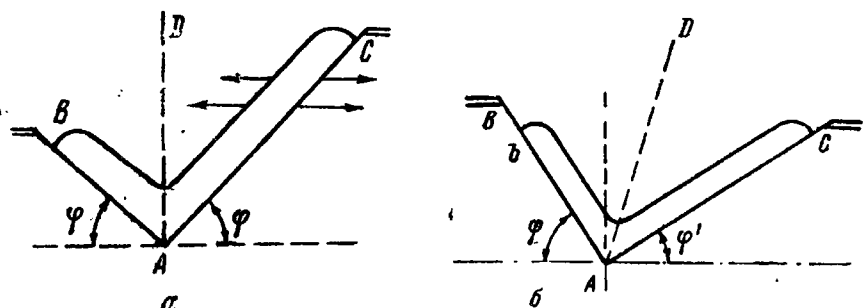


Рис. 72. Два способа расположения углового калибра:  
а — биссектриса  $AD$  угла вертикальна; б — биссектриса  $AD$  угла наклонна

$AD$  внутреннего угла наклонна (рис. 72, б). В первом случае одна полка глубже врезается в валок, чем другая, вследствие чего катающие диаметры на концах одной полки калибра значительно отличаются от катающих диаметров другой полки. Это производит уже выясненную ранее разницу в уширении и усиливает напряжение металла.

Кроме того, вертикальная проекция правой полки (рис. 72, а) больше, чем левой, поэтому создается неодинаковое боковое давление на валки, стремящееся сдвинуть реборду верхнего валка влево, а нижнего — вправо, как показано стрелками на рис. 72, а. Вследствие этого длинная полка получается толще короткой, если не принять мер при назначении толщины

полки в калибре, учитывающих эту боковую игру валков, неизбежную даже при самой тщательной настройке их.

Наряду с этими недостатками, такой вид расположения калибра имеет то преимущество, что при нем возможно прокатывать в одном и том же калибре уголки с разной толщиной полок с таким же успехом, как и равнобокие уголки, так как положение биссектрисы угла при этом остается неизменным и, следовательно, толщина полок всюду изменяется одинаково.

Второй ряд расположения калибра страдает, наоборот, тем недостатком, что не позволяет изменять толщину полок, так как при подъеме верхнего валка биссектриса изменяет свое направление, раздвигаясь (рис. 72, б), и следовательно, толщина полок будет неодинакова: левая полка будет тоньше правой. Зато этот вид расположения калибра не имеет недостатков первого расположения. Поэтому при втором способе необходимо делать, по крайней мере, чистовые калибры отдельно для каждой толщины, а лучше это делать и для предотделочных калибров, что значительно увеличивает парк валков. Вычислим размер исходного квадрата для уголка № 10/6,5 (рис. 73, табл. 70).

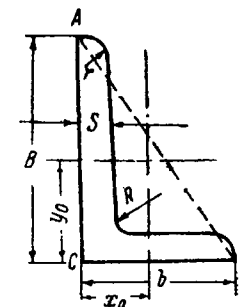


Рис. 73. Размеры чистового углового профиля (неравнобокого)

Таблица 70

Размеры уголка № 10/6,5 в холодном состоянии

№ уголка	B мм	b мм	h мм	R мм	r мм	Q мм <sup>2</sup>	Вес кг/мм	Расстояние центра тяжести, мм	
								x <sub>0</sub>	y <sub>0</sub>
10/6,5	100	65	8	9	4,5	1265	9,93	15,6	32,8
			10			1559	12,24	16,4	33,7
			12			1845	14,48	17,2	34,5

Допуски:  $B \pm 3\%$ ;  $b \pm 3\%$ ;  $h \pm 1$  мм. Определим размер исходного квадрата при расположении калибра по второму типу и число пропусков при прокатке в стане  $D=550$  мм. Иногда берут исходный квадрат, основываясь на том, что ширина раскатки равна отрезку  $AA'$  (рис. 73), т. е. длине гипотенузы треугольника. Следовательно, ширина раскатки должна быть равна

$$AA' = \sqrt{B^2 + b^2} = 119 \text{ мм.}$$

Расчет калибровки								
№ калибра	Коэффициент обнутия	$h$ мм	$R_{округл}$ мм	$H-h$ мм	$2a$	$\Delta B$ мм	$\Sigma b$ мм	$B$ мм
1	1	10,2	10,2	1	0,8	0,8	157,3	101,5
2	1,15	11,7	11,2	2	0,6	1,2	156,5	101,1
3	1,30	15,3	13,2	8,8	0,6	5,3	155,3	100,5
4	1,45	22,1	22	14	0,6	8,4	150	97,8
5	1,60	35,5	36	26	0,52	13,5	141,6	93,6
6	1,75	62,0	62	33	0,30	10	128,1	86,9
6а	Раскатка							
	$\Sigma$	7,25		20	0,20	4	118,1~119	
7	1,90	117	115				114,1~115	

Отсюда ширина квадрата может быть меньше на величину уширения, например, 110—115 мм.

Найдем размеры горячего профиля:

$$B = 100 \cdot 1,015 = 101,5 \text{ мм}; \quad b = 65 \cdot 1,015 = 66 \text{ мм};$$

$$h = 10 \cdot 1,015 = 10,2 \text{ мм}.$$

Определим ширину исходного квадрата по нашему<sup>1</sup> методу.

$$x = \frac{101,5 + 66 + 10,2 \cdot 0,5}{1,5} = 115 \text{ мм}.$$

Определим число пропусков и коэффициент относительных выт (толщин) полок:

$$p = \frac{115}{10,2} = 11,3.$$

Пользуясь табл. 55, находим, что прокатку можно вести в семь пропусков (группа 5, графа 5), из которых шесть пропусков — фасонные. Поместим дальнейший расчет в табл. 71.

Как видно из всего хода расчета, размер квадрата не зависит от типа расположения калибров в валках. Сумма длин полок по средней линии в чистовом калибре равна:  $\Sigma b = 101,5 + 66 - 10,2 = 157,3 \text{ мм}$ . Ширина чистовых полок по нижней кромке  $B = 101,5 \text{ мм}$  и  $b = 66 \text{ мм}$ . Коэффициент уширения определяем по диаграмме рис. 2 при  $D = 500 \text{ мм}$ . В последующих калибрах  $\Sigma b$  определяется последовательным вычитанием уширения; точно также последовательным вычитанием половины уширения определяются  $B$  и  $b$ . Радиусы закруглений в чистовом профиле берем из табл. 70, а в последующих — пропорционируя их с вы-

<sup>1</sup> А. П. Виноградова.

Таблица 71

неравнобокого уголка								
$b$ мм	$R$ мм	$r$ мм	Пропорциональные отрезки, мм	100 tg $\varphi$	$\varphi$	Округленное $\varphi$	$M' \cdot x$ мм	tg $\varphi'$
66	9	4,5	18,6	148,6	56°04'	56°	54,8	0,647
65,6	11	5,5	21,0	130	52°26'	52°30'	47,9	0,566
65	12	6	23,4	109	47°28'	47°30'	40,2	0,475
62,3	20	10	25,9	85,6	40°04'	40°30'	31,8	0,375
58,1	32	16	28,3	59,7	30°30'	30°30'	22,0	0,260
51,4	55	28	31,4	31,4	17°30'	17°30'	11,6	0,137
			148,6					

сота́ми полок. Итак, имеем раскатку  $95 \times 119 \text{ мм}$  и квадрат —  $115 \times 115 \text{ мм}$ . Теперь есть все данные для вычерчивания отдельных калибров, которые мы проведем и по первому и по второму методу расположения их в валках. При вертикальном положении биссектрисы углы  $\varphi$  наклона обеих полок к горизонту одинаковы и равны  $45^\circ$  (в калибрах берут  $44^\circ 45'$ ). При наклонном же положении они различны. Обозначим их через  $\varphi$  и  $\varphi'$  (рис. 72, б). Найдем эти углы, если дано, что  $\frac{B}{b} = 1,5$ . Можем написать уравнение:

$$B \sin \varphi' = b \sin \varphi,$$

отсюда

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = \frac{B}{b} = 1,5$$

или, так как

$$\varphi' = 90 - \varphi,$$

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \text{tg } \varphi = 1,5.$$

Отсюда  $\varphi = 56^\circ 19'$  и  $\varphi' = 90^\circ - 56^\circ 19' = 33^\circ 41'$ . Увеличивая внутренний угол на  $30'$ , т. е. принимая его равным  $90^\circ 30'$ , уменьшаем для чистового калибра углы  $\varphi$  и  $\varphi'$  на  $15'$ . Получаем окончательно:  $\varphi = 56^\circ 04'$  и  $\varphi' = 33^\circ 26'$ .

Определим углы закрытия в фасонных калибрах.

Вертикальное положение биссектрисы. Здесь поступаем следующим образом (рис. 74). Откладываем под обеими полками углы  $17^\circ 30'$ . Проводим вертикаль  $AB$  на рас-

стоянии 100 мм от вершины угла  $O$  и находим по тангенсам углов длины отрезков:

$$Al = 100 \operatorname{tg} 44^\circ 45' = 99,13 \text{ мм},$$

$$An = 100 \operatorname{tg} 17^\circ 30' = 31,53 \text{ мм},$$

$$nl = 99,13 - 31,53 = 67,60 \text{ мм};$$

$$\Sigma n = 1,15 + 1,30 + 1,45 + 1,60 + 1,75 = 7,25.$$

Делим длину отрезка  $nl = 67,6$  мм на части, пропорциональные этому ряду, и точки деления 1, 2, 3 и т. д. соединяем с вершиной угла  $O$ ; таким образом графически находим постепенное

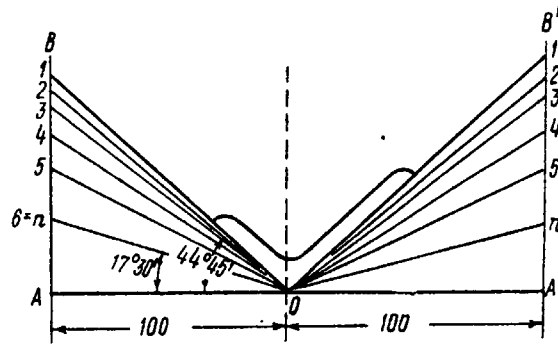


Рис. 74. Определение угла закрытия при вертикальном положении биссектрисы

закрытие угла слева. Проведя теперь вспомогательную вертикаль по другую сторону от вершины на расстоянии также 100 мм, находим на нем симметрично уже найденные точки 1, 2, 3.... горизонтальных линий до пересечения их со второй вертикалью  $A'B'$ . Соединяя найденные точки с вершиной угла  $O$  прямыми линиями, находим и справа постепенное закрытие угла. Откладывая слева и справа найденные длины (табл. 71) полок  $B$  и  $b$ , а также их высоты  $h$  и проводя внутренние линии полок параллельно наружным, как мы это делали при калибровке равно-стороннего уголка, находим очертания калибров. Закончим их закруглениями, пользуясь радиусами, помещенными в табл. 71.

Наклонное положение биссектрисы. Здесь поступаем только что описанным образом для определения углов закрытия при короткой полке, исходя из угла  $17^\circ 30'$  (рис. 75). Проводим вертикаль  $AB$  на расстоянии 100 мм от вершины  $O$  и находим по тангенсам углов:

$$Al = 100 \operatorname{tg} 56^\circ 04' = 148,62 \text{ мм},$$

$$An = 100 \operatorname{tg} 17^\circ 30' = 31,45 \text{ мм},$$

$$nl = 148,62 - 31,45 = 117,17 \text{ мм}.$$

Делим длину отрезка  $nl = 117,17$  мм на части, пропорциональные тому же ряду, что и раньше, и находим точки 1, 2, 3...  $n$ . Таким образом строим углы закрытия при короткой полке. Проведя  $KK'$  (вертикальную проекцию короткой полки), находим на этой проекции точки  $x_1, x_2...x_n$ .

Так как вертикальная проекция  $MM'$  длинной полки равна  $KK'$ , то легко находятся точки  $x'_1, x'_2, x'_3...x'_n$ , соединив которые с вершиной  $L$ , находим углы закрытия при длинной полке. Нетрудно вычислить отрезки по вертикали  $AB$ , а также углы закрытия  $\varphi$  и  $\varphi'$ .

Делим отрезок  $nl = 117,17$  мм на части, пропорциональные ряду:  $1,15 + 1,30 + 1,45 + 1,60 + 1,75 = 7,25$ . По найденным отрезкам, сумма которых равна 117,2, находим высоты  $100 \operatorname{tg} \varphi$ , а по ним и углы  $\varphi$ , помещенные в табл. 71.

Для определения вертикальных проекций  $K' - x$ , равных  $M' - x'$ , пользуемся найденными углами закрытия  $\varphi$  до  $\varphi_1$  из выражения  $K'x_1 = K'L \operatorname{tg} \varphi_1$ ,  $K'x_2 = K'L \operatorname{tg} \varphi_2$  и т. д.

Но  $K'L = 66 \cos 56^\circ 04' = 36,84$  мм, а  $\operatorname{tg} \varphi$  известны из табл. 71. Поэтому имеем:

$$Kx_1 = M'x_1 = 36,84 \cdot 1,486 \approx 54,8 \text{ мм},$$

$$Kx_2 = M'x_2 = 36,84 \cdot 1,300 \approx 47,9 \text{ мм и т. д. (см. табл. 71)}.$$

В то же время эти отрезки равны  $LM' \operatorname{tg} \varphi'$ , но  $LM' = B \cos \varphi'$ , где  $B$  — переменный угол закрытия полки  $\varphi'_1 = 33^\circ 26'$ , а  $LM'$  — горизонтальная проекция поли. Искомые  $\operatorname{tg} \varphi' = \frac{M'x'}{LM'}$  помещены в таблице, а  $LM' = 101,5 \cdot \cos 33^\circ 26' = 101,5 \cdot 0,8345 \approx 84,7$  мм.

Результаты подсчетов для  $\operatorname{tg} \varphi'$  приведены в табл. 71.

Центры радиусов закруглений внутреннего угла помещаются на биссектрисе внутреннего угла  $OO'$ .

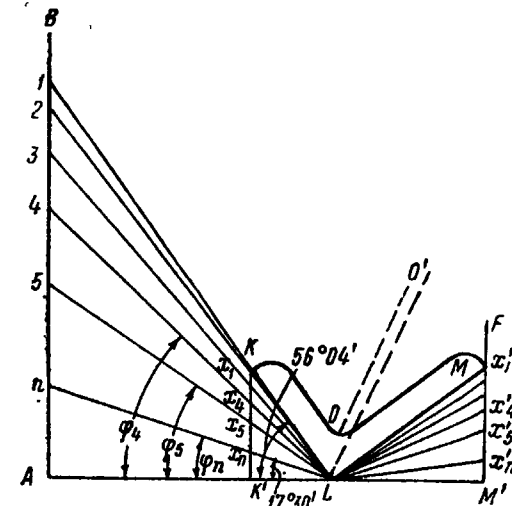


Рис. 75. Определение угла закрытия при наклонном положении биссектрисы

Очертания калибров строятся, как для равнобоких уголков.

Приведенный метод калибровки одного из простейших фасонных профилей углового железа имеет целью указать те главнейшие моменты, которые необходимо иметь в виду при выработке фасонной калибровки.

Но наряду с предусмотренными изложенным методом моментами на практике приходится иметь дело с многими другими факторами, принуждающими в более или менее значительной степени отступать от нормальной калибровки. Отметим следующие факторы:

1. Прокатка иногда ведется в стане, диаметр валков которого не отвечает нормальному диаметру стана для прокатки данного сорта. Это обстоятельство влечет за собой иные обжатия, иные скорости, иное число пропусков, иные температурные условия и т. д.

2. Недостаточная мощность двигателя при стане или, наоборот, весьма высокая мощность двигателя позволяет в ту или другую сторону изменять число пропусков, а следовательно, и калибровку.

3. Вся производственная обстановка — программа прокатки, соотношение работы печей, отдельных линий стана, уборочных и отделочных средств, число клетей, число оборотов валков, оборудование стана, качество металла, технические условия приемки, даже квалификация вальцовщиков и мастеров и т. д. — не может не оказывать влияния на характер калибровки, так как основной задачей калибровщика, кроме получения основного профиля, является достижение возможно большей производительности стана в данных условиях производства.

Поэтому калибровка валков какого-либо профиля, приспособляясь к изменяющимся условиям производства, часто меняется даже на одном и том же заводе.

Ввиду сказанного, в настоящей книге не представляется возможным изложить все те приемы, которыми пользуется калибровщик для решения стоящих перед ним задач — это дается знанием всей совокупности прокатного дела, т. е. опытом и ясным пониманием поведения металла в валках.

## 1. Разновременность захвата уголка

Рассматривая калибровку простейшего вида фасонного профиля, необходимо отметить одну особенность деформации этого профиля, которая не затрагивается авторами трудов по калибровке, но которая, несомненно, имеет весьма большое значение

для правильного решения задачи построения калибров. Речь идет о том, что если разбить профиль на части вертикальными сечениями, то каждая часть профиля захватывается валками не одновременно с соседней частью и поэтому во время прохождения слитка между валками происходит гораздо более сложное перемещение металла, чем полагают авторы, опускающие эту сторону дела. Если это имеет место в довольно сильной степени при прокатке ромба в квадрате или овала в квадрате, то в фасонных профилях указанное явление еще более усложняется. Разбивая профиль вертикальными сечениями, легко найти, что вершина уголка будет захвачена ранее, чем края полки, если в последних пропусках угол полосы остается неизменным.

Если же угол закрытия изменяется, то в каждом частном случае можно найти, какие части профиля захватываются раньше, какие позже.

Следует помнить, что передний торец полосы (вообразим его вертикальным) входит в широкий зев калибра и приходит в соприкосновение со стенками профиля, представляющего сечения конических поверхностей калибра вертикальной плоскостью, совпадающей с плоскостью торца полосы. Вообразив ряд параллельных плоскостей, секущих калибр, получим ряд профилей этих сечений, стороны которых должны представлять собою отрезки параболы, как следы сечения конусов плоскостями, параллельными оси этих конусов. Отсюда ясно, что все точки периферии сечения полосы в ее торце не могут придти одновременно в соприкосновение с поверхностью калибра. Поэтому при изучении калибровки необходимо выработать метод, позволяющий учитывать указанное явление количественно. Обычно применяют метод сечений, с помощью которого можно определить условия захвата, степень устойчивости полосы в валках и получить более полное представление о процессе деформации металла в различных частях профиля и во всем сечении.

## 2. Практические данные по калибровке уголка

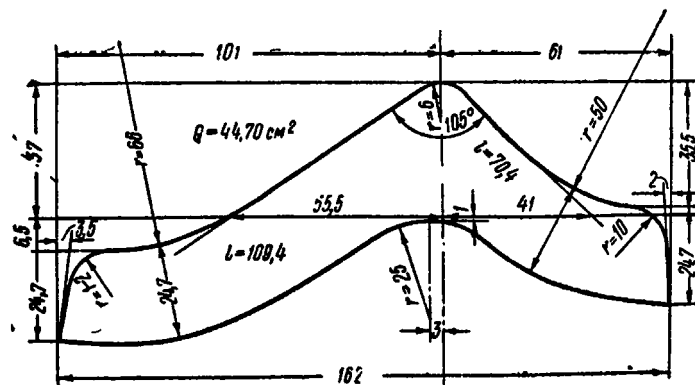
Д. И. Старченко [57] на основе хорошо работающих калибровок уголков рекомендует применять в чистовом калибре коэффициент вытяжки  $\mu = 1,15 \div 1,20$ , в предотделочном —  $\mu = 1,30 \div 1,40$ , а для всех подготовительных —  $\mu = 1,50 \div 1,60$ , допуская даже 1,70.

В табл. 72 и на рис. 76—82 представлены расчет калибровки и размеры калибров, применяемых на одном из заводов при прокатке уголка  $120 \times 80$  мм<sup>1</sup>.

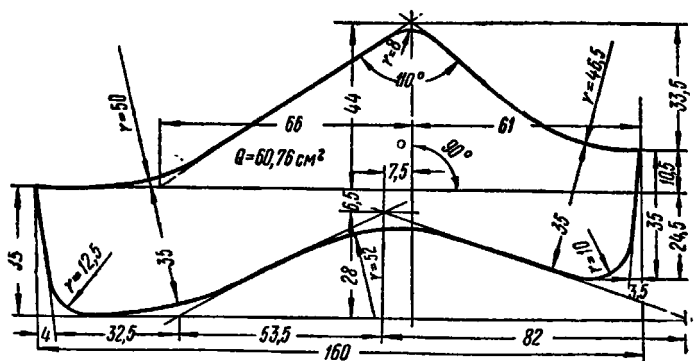
<sup>1</sup> Выполнены калибровщиком А. И. Силиверстиковым.





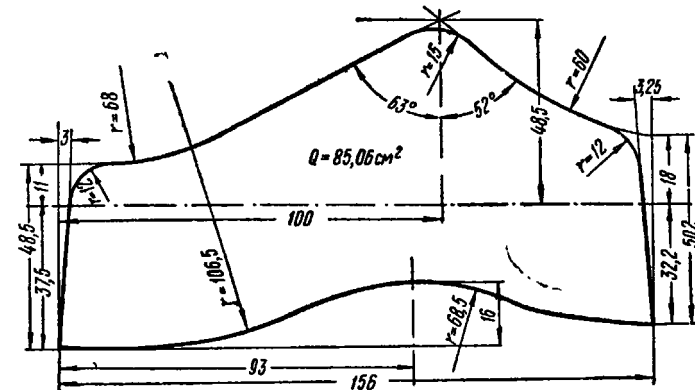


4-й калибр

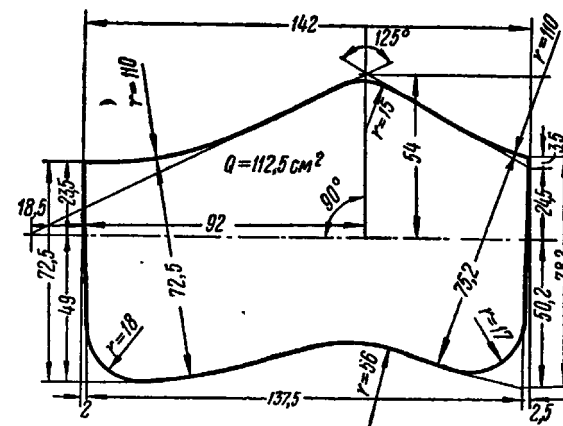


5-й калибр

Рис. 79—80. Калибровка углового профиля



6-й калибр



7-й калибр

Рис. 81—82. Калибровка углового профиля

## ГЛАВА 13

## КАЛИБРОВКА ЗЕТОВОГО ПРОФИЛЯ

Зетовый профиль состоит из ножки и двух фланцев, находящихся на концах этой ножки под углом  $90^\circ$  к ней (рис. 83). Если разрезать ножку пополам, то получим два равнобоких или неравнобоких уголка. Этим обстоятельством пользуются, чтобы свести калибровку рассматриваемого профиля к калибровке уголков.

Расположение чистового калибра в валках представлено на рис. 84. Профиль располагается так, чтобы вершина угла  $B$

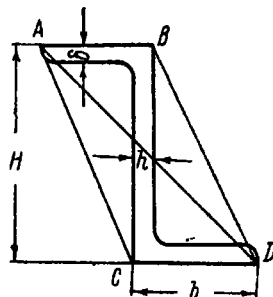


Рис. 83. Зетовый профиль

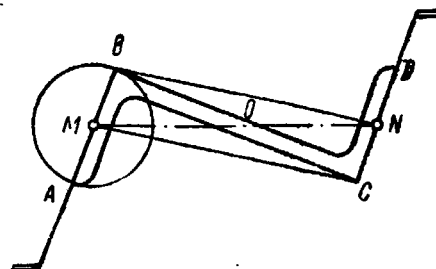


Рис. 84. Расположение зетового профиля в валках

одного фланца была на одной горизонтали с наружным концом другого фланца  $D$  и средняя линия валков  $MN$  проходила через середины фланцев и середину ножки. При этих условиях центр тяжести сечения, находящийся на середине ножки, будет совпадать с средней линией валков.

Середина отрезка  $MN$  на средней линии валков отвечает центру тяжести сечения профиля. Из точки  $M$ , как из центра, описываем круг радиусом  $0,5 b$ . Из точки  $N$ , как из центра, засекаем полученную окружность выше линии  $MN$  дугой радиуса  $NB$ . В пересечении получаем точку  $B$ . Проведя из точки  $B$  диаметр, получаем точку  $A^1$ . Рекомендуется давать ножке уклон  $45^\circ$ .  $A$  и  $D$  представляют место разреза валков. Точки  $B$  и  $C$  являются фиксированными во всех калибрах и служат исходными при построении каждого калибра, иначе говоря, во всех

<sup>1</sup> Этим вполне определяется положение профиля.

калибрах расстояния между  $B$  и  $C$ , а также точки  $B$  или  $C$  от средней линии остаются постоянными, равными таковым в чистовом калибре. При постепенном утонении ножки это правило обуславливает постепенное удлинение ее.

Последнее уясняется из следующего построения (рис. 85). Ножка из параллелограмма  $ABDC$  в первом пропуске превращается в параллелограмм  $A_1BD_1C$  в чистовом пропуске. При одной и той же длине диагонали  $BC$  длина ножки  $AC$  в первом пропуске меньше длины ножки  $A_1C$  в последнем пропуске, так как угол  $\alpha_0 > \alpha$ . Чем больше угол  $\alpha$  приближается к углу  $\alpha_0$ , тем больше сторона  $AC$  приближается к проекции диагонали  $A_0C$ ; наоборот, чем меньше угол  $\alpha$ , тем больше длина стороны  $AC$  приближается к длине диагонали. Таким образом, уширение, или, вернее, растяжение ножки, совершенно устраняется.

Так как положение точек  $B$  и  $C$  сохраняется постоянным не только относительно друг друга, но также и относительно средней линии валков, то легко определяется уширение (растяжение) ножки в каждом пропуске геометрически или аналитически.

Очевидно

$$A_1C = \frac{A_0C}{\cos \alpha_0} \quad \text{и} \quad AC = \frac{A_0C}{\cos (\alpha_0 - \alpha)}.$$

Отсюда

$$\Delta B = A_0C \left[ \frac{1}{\cos \alpha_0} - \frac{1}{\cos (\alpha_0 - \alpha)} \right].$$

Принятие постоянного положения точек  $B$  и  $C$  в валках во всех калибрах определяет собою, в сущности, всю калибровку от последнего плоского калибра до чистового в отношении постепенного закрытия углов, так как на перпендикуляре к постоянному направлению диагонали ножки, т. е. к линии  $BC$ , по обе стороны откладываются половины высоты калибра (рис. 85), так что высота калибра равна  $mp$ . Точка  $m$  соединяется с  $B$  и точка  $p$  соединяется с  $C$ . Таким образом создается очертание ножки в любом калибре, и следовательно, углы закрытия получаются сами собою. Далее линии  $Bp$  и  $Cs$  проводятся с уклоном, равным уклону  $BD$  и  $AC$ ; линии  $qA$  и  $Dr$  параллельны своим парам; что касается линий  $pq$  и  $rs$ , то их положение определяется как в угловом профиле. Таким образом, каждый калибр получает вполне определенные очертания.

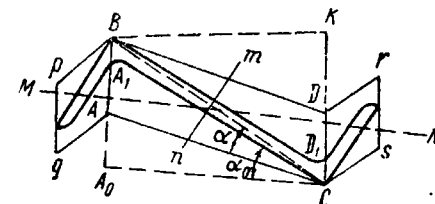


Рис. 85. Построение зетовых калибров

Пример калибровки зетового профиля. Рассчитаем калибровку зетового профиля № 10 (рис. 86).

При определении размера исходного квадрата необходимо руководствоваться следующими соображениями: фактическое

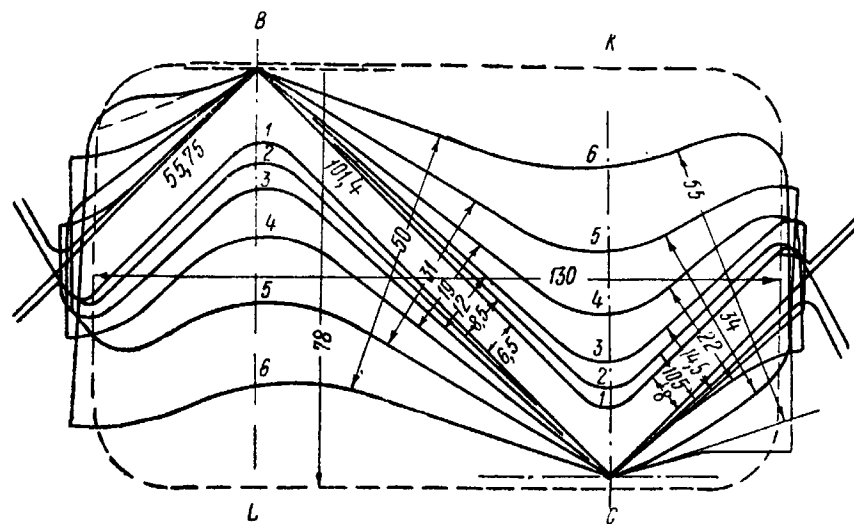


Рис. 86. Построение зетовых калибров

уширение полосы происходит лишь на краях левее  $LB$  и правее  $СК$ , так как длина  $BK$  остается, как было выяснено выше, неизменной. В шейке металл не уширяется, а растягивается. Вследствие этого растяжения центральная часть полосы имеет ослабленную вытяжку, вызывающую вынужденное уширение фланцев.

Из анализа действующих калибровок можно считать коэффициент по проекции полок равным около 0,22—0,30 на обе полки, а по длине полок — 0,40—0,65 на обе полки. Длина ножки  $100 \cdot 1,014$ . Принимая расположение ножки под углом  $45^\circ$  к средней линии валков, находим длину средней части калибра  $BK = 101,4 : \sqrt{2} \approx 72$  мм. Двойная длина фланцев равна  $2 \cdot 55,75 : \sqrt{2} = 111,5 : \sqrt{2} \approx 79$  мм. Полная ширина чистового калибра  $B$  равна  $72 + 79 = 151$  мм.

Отсюда искомый квадрат

$$x = \frac{B + 0,22h}{1,22} = \frac{151 + 0,22 \cdot 8}{1,22} \approx 125 \text{ мм};$$

$$p = \frac{125}{8} \approx 15,6.$$

По табл. 55 выбираем ряд коэффициентов высот, отвечающий семи калибрам.

Вычисление высот (толщин) элементов калибров приводим в табл. 73.

Таблица 73

Вычисление высот калибров

№ калибра	Коэффициент обжатия	$h_{\text{пол}}$ мм	$H-h$ мм	$a$	$\Delta B$ мм	$b_{\text{фланцев}}$ мм	$h_{\text{ножки}}$ , мм		
							по Брову	по вычислениям	округленно
1	1	8	2,5	0,4	1,5	$55,75 - 4 = 51,75$	6,5	6,5	6,5
2	1,26	10	2	0,4	0,8	$54,75 - 5 = 49,75$	8,5	8,5	8,5
3	1,39	14	7,5	0,4	3	$53,75 - 6 = 47,75$	12	11,7	12
4	1,52	22	12	0,4	4	45	19	18,3	19
5	1,65	36	22	0,3	6	41	31	29,5	30
6	1,78	65	23	0,25	6	35	50	48,6	50
7	1	—	47	0,1	4	29	78	78	78
8	—	125	—	—	—	25	125	125	125

Исключаем коэффициент 2-го калибра, как дающий слишком малое обжатие.

Полученные данные весьма мало отличаются от размеров калибров, рекомендуемых Брово. Поэтому для дальнейших расчетов примем столбец по Брово [58].

Принимая уширение фланцев в четырех последних фасонных профилях 0,4 и затем постепенно уменьшающееся до нормы  $0,35 - 0,25 = 0,10$ , получим длины фланцев по наружному краю и по средней линии трапеции, помещенные в табл. 73.

Толщина ножки меньше толщины фланцев. При назначении постепенного утонения ножки нужно руководствоваться следующими правилами, обязательными для всякой фасонной калибровки: 1) коэффициенты вытяжки во всех частях профиля должны быть одинаковыми; 2) неодинаковые вытяжки можно допускать, по возможности, только в первых калибрах по порядку прокатки.

Соблюдение этого правила здесь уменьшает искажение уширения фланцев.

Практически можно взять коэффициенты толщин ножки одинаковыми с коэффициентами толщин фланцев, корректируя высоты первых по порядку прокатки пропусков. Результаты

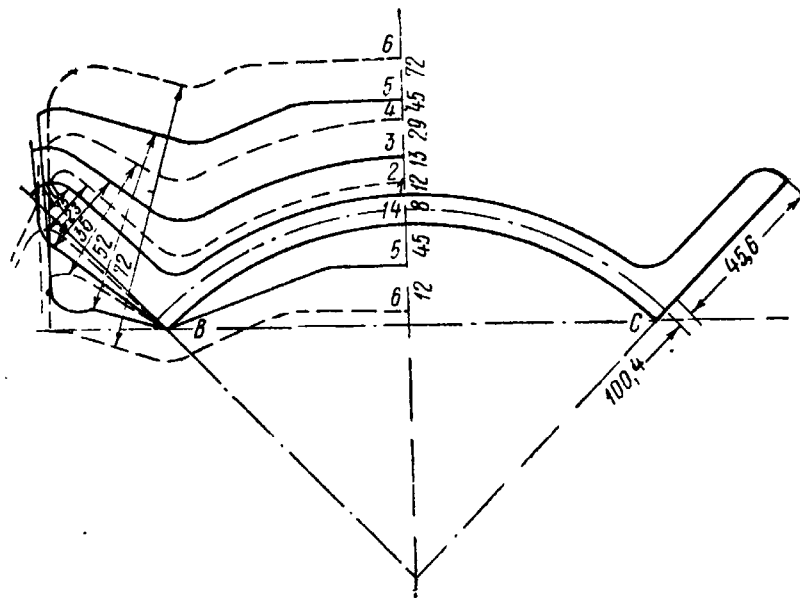


Рис 87. Калибровка колонного (квадрантного) профиля

подсчетов размеров ножки по коэффициентам фланцев приведены в табл. 73.

Калибровка квадрантного (колонного) профиля (рис. 87) производится по такому же принципу, т. е. при постоянных точках углов *B* и *C*.

## ГЛАВА 14

### КАЛИБРОВКА ТАВРОВОГО ПРОФИЛЯ

Тавровый профиль разбивают на три части, из которых каждая может рассматриваться как полоса: 1) ножка, 2) правая половина головки, 3) левая половина головки [31].

Чтобы оценить правильность такого деления, рассмотрим положение профиля в калибре.

В чистовом профиле ножка вертикальна, опущена вниз (рис. 88, 6) и глубоко врезана в нижний валок; в предотделочном она горизонтальна, причем одна половина головки находится между ребрами верхнего и нижнего валков, а другая половина глубоко врезана в нижний валок (рис. 88, 5). Таким образом, обе половинки головки здесь обрабатываются в совершенно различных условиях, как это было выяснено при разборе условий деформации фланцев в открытой и закрытой частях калибра.

В следующих калибрах положение профиля продолжает чередоваться таким же образом (рис. 88, 4—1).

Мы выяснили ранее, что в открытой части калибра фланец обычно подвергается большой вытяжке и боковому давлению и задается в нее значительной толщины; в закрытой части калибра фланец проволочивается и поэтому во избежание сильного износа калибра задается в нее весьма тонким, или же закрытая часть калибра делается несколько просторнее, чем открытая, так как в предыдущем калибре (ребровом 4) обе половины головки получают одинаковую толщину. В предотделочном калибре 4 в открытой его части целесообразно не давать бокового давления, компенсируя недостаток вытяжки утяжкой этой части головки по высоте, так же, как это имеет место в закрытой части калибра. В закрытой части калибра поступающая в нее головка имеет толщину менее толщины калибра и утягивается. Ножка в ребровом пропуске, также не обрабатываясь по толщине, терпит утяжку по высоте, стремясь выравнять свою вытяжку с вытяжкой головки. Поэтому необходимо предусматривать размер утяжки, чтобы выработать нужный запас длины ножки в предыдущем калибре, где толщина ее подвергается обработке.

Точно также в лежащем калибре (5) половинка головки, не обрабатываемая закрытой частью калибра, неизбежно утягивается и, следовательно, в предыдущем ребровом (4) калибре

должна вырабатываться так, чтобы получить нужный запас длины на упомянутую утяжку в следующем (5) лежащем калибре. Из этого следует, что положение профиля от одного

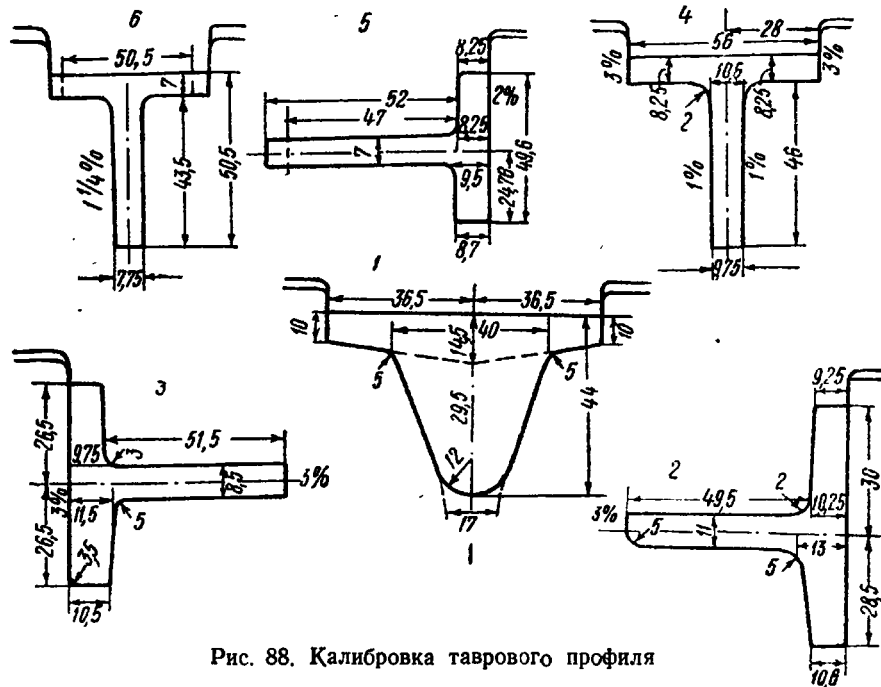


Рис. 88. Калибровка таврового профиля

лежащего калибра к другому лежащему калибру должно изменяться на  $180^\circ$  (рис. 88, от 5 к 3 и от 3 к 2).

Первый фасонный калибр имеет ребровое положение и так называемую «колокольную» форму. Назначение «колокольного» калибра — превратить квадратное сечение в форму, возможно ближе подходящую к форме таврового профиля. При этом имеет место резкая разница в вытяжках различных частей профиля. Такого рода неравномерность обжатия различных частей профиля в то время, пока металл очень горяч и, следовательно, пластичен, является вполне допустимой при фасонной калибровке, как это было выяснено раньше. Благодаря этому в последующих (по направлению прокатки) калибрах легче осуществляется равномерность вытяжки различных частей профиля.

«Колокольному» калибру целесообразно придавать форму, изображенную на рис. 89. В такой калибр легко задается квадрат, как показано на рисунке пунктиром. Из «колокольного» калибра полоса поступает в калибр, обрабатывающий выпук-

лую поверхность головки в плоскую, причем оба калибра помещаются в валках один над другим так, что вырез в среднем валке обслуживает оба калибра. Сказанное поясняет рис. 89. Сопряженное расположение калибров в трехвалковом стане не должно применяться к чистовому и предотделочным калибрам из соображений точности профиля.

Выше мы говорили, что вытяжка во всех частях калибра должна быть одинакова. Однако в ребровых пропусках это не делается по следующим соображениям.

Рассмотрим прокатку в чистовом калибре на примере калибровки [31].

В чистовой калибр обе половинки головки поступают одинаковой толщины и длины и обжимаются на одинаковую величину, следовательно, имеют определенную и одинаковую вытяжку, равную в данном случае 1,15. Чтобы сообщить такую же вытяжку вертикально расположенной ножке, врезанной в нижний валок, мы не можем применить боковое давление, следовательно, должны были бы это сделать путем обжатия ножки по высоте, т. е. при длине ножки в чистовом калибре 43,5 мм необходимо было бы в предыдущем калибре выработать ножку длиной, по крайней мере, при отсутствии уширения,  $43,5 \cdot 1,15 = 50$  мм и, следовательно, дать в ножке вертикальное обжатие  $H - h = 50 - 43,5 = 6,5$  мм.

Вертикальное обжатие должно сопровождаться уширением ножки, точную величину которого гарантировать невозможно.

Уширение здесь должно быть около 2,5 мм; следовательно, толщина ножки из предыдущего калибра должна быть  $7 - 2,5 = 4,5$  мм, где 7 — толщина ножки в чистовом калибре. Столь тонкая и высокая полоса не может гарантировать точности вычисленного уширения по всей высоте ее и поэтому здесь недопустимо свободное уширение. Необходимо ограничить уширение, увеличив толщину ножки из предыдущего калибра до толщины ее в готовом профиле, т. е. до 7 мм.

Таким образом, боковые грани калибра будут испытывать при уширении 2,5 мм боковое обжатие около 2,5 мм, и провалаживание шейки в калибре вызвало бы в ней большие напряжения, истирание стенок и защемление ее. Поэтому необходи-

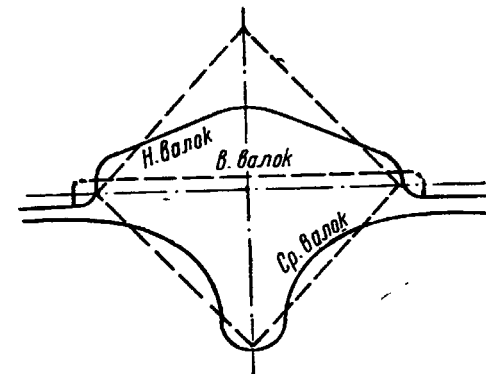


Рис. 89. «Колокольный» калибр

мо уменьшать уширение, а следовательно, и вертикальное обжатие до возможного минимума. Если это обжатие уменьшить до нуля, то и уширение не будет иметь места, а следовательно, ножка пойдет в калибре совершенно свободно, не касаясь его стенок. Но в таком случае вытяжка ножки в чистом калибре была бы равна 1. При таких условиях головка, имеющая вытяжку 1,15, будет тянуть за собою ножку, уменьшая ее высоту и толщину. Чтобы компенсировать указанную утяжку, необходимо увеличить длину задаваемой в чистовой калибр ножки так, чтобы коэффициент вытяжки ее был равен  $\frac{1+1,15}{2} = 1,075$ , если предположить вследствие приблизительного равенства площадей, что ножка в такой же мере утягивается сама, в какой мере утягивает металл из головки. Ранее мы выяснили, что точно определить действительную среднюю вытяжку всего профиля не представляется возможным, но высказанное здесь предположение о равномерном распределении утяжки основывается на приблизительной равновеликости площадей головки и ножки и поэтому может быть весьма близким к истинному.

Таким образом, длина поступающей в чистовой калибр ножки должна быть равна  $43,5 \cdot 1,075 \approx 46,75$  мм. В рассматриваемой калибровке (рис. 88) эта длина принята 47 мм, чтобы ослабить защемление ножки в чистовом калибре. Благодаря тому, что металл в ножке в чистовом калибре утягивается, в ней уширение не будет иметь места, хотя калибр и сделан свободнее на 0,75 мм.

Приведенный пример вполне уясняет способ учета утяжки ножки. Для предотвращения от защемления закрытой части калибра дается уклон в 1 мм.

Рассмотрим теперь выработку головки в чистовом профиле. Рассматривая головку как полосу, дадим ей в чистовом калибре вертикальное обжатие  $H - h = 8,25 - 7 = 1,25$  мм. Ввиду того, что вытяжка головки тормозится ножкой, в головке будем иметь вынужденное уширение. Коэффициент уширения при прокатке таврового железа в 1,5—3 раза больше уширения полосового железа.

В данном случае уширение можно принять равным  $\Delta B = 0,8 \cdot 1,25 = 1$  мм, следовательно, ширина головки из предыдущего калибра должна быть равна  $50,5 - 1 = 49,5$  мм.

Результаты вычисления размеров чистового и последующих калибров приведены в табл. 74.

Рассмотрим теперь построение элементов предотделочного (5-го) калибра. Выше уже были определены размеры ножки этого калибра —  $47 \times 7$  мм. Обе половины головки должны получиться толщиной 8,25 мм. Эта толщина вырабатывается

Таблица 74

Размеры калибров таврового профиля

№ калибра	Правая половина головки				Левая половина головки				Ножка				Радиус закругления, мм				
	b, мм	толщина, мм		Q, мм <sup>2</sup>	μ	b, мм	толщина, мм		Q, мм <sup>2</sup>	μ	h, мм	толщина, мм		Q, мм <sup>2</sup>	μ	R, мм	
		d <sub>c</sub>	d <sub>к</sub>				d <sub>c</sub>	d <sub>к</sub>				d <sub>c</sub>	d <sub>к</sub>				
6	25,25	7	7	176,15	1,15	25,25	7	7	176,75	1,15	43,5	8,75	7,75	304,5	1,08	—	0,5
5	24,75	9,5	8,7	204,2	1,13	24,75	8,25	8,25	204,2	1,13	47	7	7	329	1,19	—	1,5
4	28,0	8,25	8,25	231	1,15	28	8,25	8,25	231	1,15	46	10,6	9,75	391	1,12	—	2
3	26,5	9,75	9,75	265	1,24	26,5	11,5	10,5	265	1,13	51,5	8,5	8,5	438	1,245	3,5	3
2	28,5	13	10,5	328	1,36	30	10,25	9,25	300	1,54	49,5	11	11	544,5	1,54	5	5
1	36,5	14,5	10,0	447	—	26,5	14,5	10	147	—	29,5	40	17	811	—	—	5

\* Действительный размер металла больше на 0,25 мм вследствие бокового смещения валков.  
 \* Толщина d определяется не по калибру, так как он не заполняется, а по предыдущему калибру.

в 4-м ребровом калибре, в калибре же 5 необходимо прежде всего обеспечить требуемую для чистового калибра суммарную ширину головки  $50,5 - 1 = 49,5$  мм, уже найденную выше. Рассматривая прокатку головки как прокатку полосы в ребровом пропуске, примем вертикальное обжатие 13% (обычно 5–15%) от высоты калибра, т. е. 6,5 мм. Отсюда ширина головки, выходящей из 4-го калибра и поступающей в 5-й калибр, должна быть равна  $49,5 + 6,5 = 56$  мм. Следовательно, коэффициент вытяжки будет равен 1,13 в предположении отсутствия уширения. Отсутствие уширения необходимо обеспечить утяжкой металла из головки в ножку, сообщив последней большую вытяжку, а именно — 1,19. Вообще рекомендуется брать разницу вытяжки от 0,05 до 0,15. В данном случае в предотделочном калибре примем разницу 0,06. Следовательно, вертикальное обжатие ножки в 5-м калибре определяется из выражения:

$$\frac{47 \cdot x}{47 \cdot 7} = 1,19x = 8,33 \approx 8,5 \text{ мм.}$$

Примем на уширение 1 мм, т. е.  $a = \frac{1}{85-7} = 0,66$ , что находится в пределах, принятых для коэффициента уширения при прокатке таврового профиля. Проверяя вытяжку, имеем

$$\frac{(47-1) \cdot 8,5}{47 \cdot 7} = 1,19.$$

Во избежание защемления нижней правой половины головки в закрытой части калибра делаем его свободным и на конус, давая ширину вверху 9,5 и внизу 8,70 мм; ширину открытой части 5-го калибра для верхней половины головки делаем 8,25 мм, т. е. равной толщине входящей в калибр головки.

Ребордам верхнего и нижнего валка придаем уклон (выпуск) 2%. Проверка утяжки дает

$$\frac{1 + 2 \cdot 1,19}{3} = 1,13;$$

$$x = 1,13 \cdot 49,5 \approx 56 \text{ мм.}$$

Здесь масса ножки приблизительно в два раза больше массы половины головки. Размеры 4-го калибра ясны из предыдущего: головка  $56 \times 8,25$  мм, длина ножки 46 мм. Толщина поступающей в калибр ножки равна 8,5 мм, как было найдено выше. В 4-м калибре эта ширина не изменяется, но калибр делается просторным во избежание защемления: внизу — 9,75 мм, вверху — 10,6 мм.

Коэффициент вытяжки головки определим, выбрав обжатие 1,5 мм; примем уширение  $\Delta B = 3$  мм, отсюда коэффициент

уширения равен 2. Следовательно, суммарная ширина головки в 3-м калибре равна  $56 - 3 = 53$  мм. Коэффициент вытяжки головки в 4-м калибре равен  $\frac{53 \cdot 10}{56 \cdot 8,25} = 1,15$ .

Таким образом, в ножке необходимо иметь коэффициент вытяжки не меньше  $\frac{1+1,15}{2} = 1,075$ . Отсюда высота ножки, выходящей из 3-го калибра, должна быть  $46 \cdot 1,075 \approx 49,5$  мм; примем 51,5 мм, чтобы ослабить напряжение. Следовательно,  $\mu = 1,12$ .

Определим размеры 3-го калибра. В этот калибр полоса поступает не из ребрового, а из лежащего 2-го калибра. Размеры ножки уже определены:  $51,5 \times 8,5$  мм. Общая длина головки также известна — 53 мм; что касается толщины обеих частей головки калибра, то здесь она в верхней открытой части равна толщине выходящей из нее головки, т. е. 9,75 мм, но рекомендуется брать 10 мм из-за игры валков вследствие бокового давления; в нижней же закрытой части, во избежание защемления, она шире толщины входящей в нее головки, а именно — 11,5 мм. Последняя имеет трапециoidalную форму, выходя из 2-го калибра, с размерами 13 и 10,5 мм. Нижняя часть головки 3-го калибра — также трапеция размерами 10,5 и 11,5 мм.

Полоса из 2-го калибра вступает в 3-й калибр после кантовки на  $180^\circ$ , поэтому верхняя половина головки толщиной 10 мм из 2-го калибра (трапеция 10,25 и 9,25 мм) попадает в нижнюю половину головки 3-го калибра, который имеет вышеуказанный размер. Таким образом, толщина обеих половин головки, выходящей из 3-го калибра, одинакова и равна 10 мм. Выпуск в 3-м калибре равен 3%.

Определим утяжку головки в 3-м калибре, т. е. общую длину головки во 2-м калибре, а также обжатие ножки в 3-м калибре. Примем вертикальное обжатие в ножке  $H - h = 2,5$  мм и уширение 2 мм, т. е. коэффициент уширения  $a = 0,8$ .

Следовательно, размеры ножки 2-го калибра равны  $49,5 \times 11$  мм и

$$\mu = \frac{49,7 \cdot 11}{51,5 \cdot 9,5} \approx 1,24.$$

Размеры обеих половин головки 2-го калибра должны быть неодинаковы, поэтому определяем их отдельно для каждой. Прежде всего, левая половина головки (верхняя) из 2-го калибра поступает в правую половину головки 3-го калибра, где она должна получить некоторую утяжку, которую требуется определить, чтобы узнать ширину этой части 2-го калибра.



Толщина выходящей из этой части калибра головки уже определена как средняя линия трапеции с уклоном 1 мм, т. е.

$$\frac{10,25 + 9,25}{2} = 9,75 \text{ мм.}$$

В действительности вследствие боковой игры толщина здесь получится 10 мм.

Найдем фактический коэффициент вытяжки в закрытой части головки 3-го калибра. Вытяжка ножки равна 1,245.

Следовательно, искомая вытяжка должна быть  $\frac{1+1,245}{2} \approx 1,13$ .

Отсюда площадь сечения выходящей из открытой части 2-го калибра половины головки должна быть равна  $265 \times 1,13 \approx 300 \text{ мм}^2$ . При толщине 10 мм имеем длину этой части головки во 2-м калибре, равную 30 мм.

Закрытая часть 2-го калибра дает металл в открытую часть 3-го калибра, причем необходимо ограничиться минимальным боковым обжатием в одном последнем калибре во избежание получения заусенца и значительного износа калибра. Примем это обжатие в верхней части 3-го калибра 1 мм и в нижней части — 3,5 мм. Принимая в расчет боковую игру валков во 2-м калибре 0,25 мм, получаем стороны трапеции закрытой части 2-го калибра соответственно  $9,75 + 1 - 0,25 = 10,5 \text{ мм}$  и  $9,75 + 3,5 - 0,25 = 13 \text{ мм}$ .

Для определения ширины правой половины головки 2-го калибра необходимо знать площадь сечения ее, т. е. коэффициент вытяжки в открытой части 3-го калибра.

Примем последний равным коэффициенту вытяжки ножки, т. е. 1,245, тогда площадь правой части головки из 2-го калибра равна  $265 \cdot 1,245 \approx 328 \text{ мм}^2$ . Отсюда при средней линии трапеции  $\frac{13+10}{2} = 11,5 \text{ мм}$  ширина закрытой части 2-го калибра равна  $\frac{328}{11,5} \approx 28,5 \text{ мм}$ .

Возможность образования заусенца в открытой части 3-го калибра предотвращается закруглением радиусом 5 мм в закрытой части 2-го калибра. Таким образом размеры закрытой части 2-го калибра определены: ширина 28,5 мм, стороны трапеции 10,5 и 13 мм, выпуск 3%.

Элементы 1-го калибра, в котором происходит деформация квадрата в форму, возможно ближе подходящую к форме 2-го калибра, не могут быть определены из правильности вытяжек во 2-м калибре отдельных частей формы 1-го калибра.

1. Принимается 10 вместо 10,5 вследствие предполагаемого незаполнения 2-го калибра в этом месте.

Наметим главнейшие очертания 1-го калибра. Исходим: 1) из толщины края головки 10 мм, что определяется толщиной края головки в закрытой части 2-го калибра; 2) из размеров квадрата, сторону которого можно выбрать равной ширине головки готового профиля, т. е. в данном случае  $50 \times 50 \text{ мм}$ ; 3) из фактического коэффициента вытяжки во 2-м калибре — 1,48.

Ширина головки в 1-м калибре приблизительно равна диагонали квадрата, т. е.  $1,414 \times 50 \approx 72 \text{ мм}$ . Примем 73 мм. Толщина ее по краям 10 мм. Высота 1-го калибра может быть определена равной половине диагонали плюс половина толщины головки в 1-м калибре, т. е.  $36 + 5 = 41 \text{ мм}$ . Следует несколько увеличить ее для уменьшения  $H - h$ , например до 44 мм.

Правая половина головки представляет собой трапецию с уклоном 12%, что дает толщину в широкой части  $10 + 36,5 \cdot 0,12 \approx 14,5 \text{ мм}$ . Средняя линия трапеции лежит на расстоянии  $\frac{10+14,5}{2} \approx 12,25 \text{ мм}$  от основания.

Площадь сечения равна  $12,25 \times 36,25 \approx 447 \text{ мм}^2$ .

Коэффициент вытяжки в правой половине головки во 2-м калибре равен  $\frac{447}{382} = 1,36$ .

Левая половина головки имеет такой же размер. Коэффициент вытяжки во 2-м калибре в открытой части равен  $\frac{447}{300} \approx 1,54$ . Средняя вытяжка головки во 2-м калибре равна  $\frac{1,36+1,54}{2} = 1,45$ .

Принимая общую высоту 1-го калибра равной 44 мм, имеем высоту ножки 1-го калибра:  $44 - 14,5 = 29,5 \text{ мм}$ .

Площадь ножки равна  $1735 - 894 = 841 \text{ мм}^2$ . Следовательно, средняя линия трапеции ножки будет  $\frac{841}{29,5} = 28,5 \text{ мм}$ . Примем стороны трапеции 40 и 17 мм. Вытяжка ножки во 2-м калибре равна  $\frac{841}{544,5} = 1,54$ .

Среднее вертикальное обжатие  $H - h = 28,5 - 11 = 17,5 \text{ мм}$ .

Вынужденное уширение дает  $a = \frac{20}{17,5} = 1,15$ .

Средняя вытяжка во 2-м калибре равна  $\frac{1,45+1,54}{2} = 1,48$ , как было принято.

Нельзя не видеть, что определение размеров 1-го калибра поκειται на шатких основаниях. Поэтому целесообразно формировать первый профиль посредством двух калибров, как было указано выше.

Закругления необходимо делать в месте перехода ножки в головку. В чистовом профиле это закругление дается самим профилем. В остальных увеличивается приблизительно на 1 мм в каждом калибре. Кроме того, закругления необходимо делать в лежачих калибрах в глубине закрытой части калибра головки, за исключением калибра предотделочного, где закругления производить не следует ради выработки острых кромок.

Иногда определяют утяжку ножки по формуле, которая будет приведена при рассмотрении калибровок двутавровых балок. Также придерживаются правила равномерности коэффициента вытяжки во всех частях профиля. Ножка и головка калибруются как полосовое железо.

Применение метода изучения вертикальных сечений калибра плоскостями, параллельными осям валков, может осветить явление истечения металла при прохождении его через область деформации, в особенности в закрытой и открытой частях головки в пластовых калибрах и в закрытой части ребровых калибров.

Особый интерес представляет изучение профилей этих сечений в последних по порядку прокатки калибрах, так как в более ранних вынужденное истечение металла является естественным, и вредные последствия его искупаются высокой температурой металла.

Калибровка для малых тавровых профилей легированной стали. При прокатке тавровых профилей малого сечения из легированной стали хорошие результаты дает калибровка, описанная С. И. Заборским [59].

Эта калибровка применяется для прокатки таврового профиля с подошвой шириной 30—62 мм и толщиной 3,5—8 мм и с ножкой высотой до 53 мм и толщиной 2—6 мм. Вес 1 пог. м такого профиля колеблется от 2,2 до 6,0 кг.

Трудность прокатки тавровых профилей малого размера заключается в быстром остывании тонких полок тавровой полосы. При большом сопротивлении деформации легированной стали это приводит к большим упругим деформациям валков и других деталей стана и затрудняет достижение требуемой точности в размерах готовой продукции.

Основное внимание при калибровке таврового профиля уделяется получению требуемых размеров ножки, так как обеспечение нужных размеров подошвы не вызывает особых затруднений. Поэтому уже с первого подготовительного калибра начинается оформление ножки.

Количество подготовительных калибров зависит от длины ножки тавра: при длине ножки 30 мм достаточно двух калибров; при длине ножки более 30 мм необходимо иметь три подготовительных калибра.

При этом соотношение между площадями элементов тавра в последнем подготовительном калибре и их площадями в готовом профиле (имеющее большое значение) должно составлять 2,2—2,5 для ножки и 1,75—2,2 для подошвы.

Необходимость усиленной обработки ножки объясняется пропуском ее через ряд закрытых калибров, где дается припуск на осадку; подошва же прокатывается в открытых калибрах.

При слишком большом обжатии подошвы в пластовых калибрах получаются заусенцы на наружной поверхности подошвы по разьему валков, оставляющие следы на готовом профиле. Кроме того, излишнее обжатие подошвы приводит к изгибам полосы и к большим колебаниям ширины в готовом профиле.

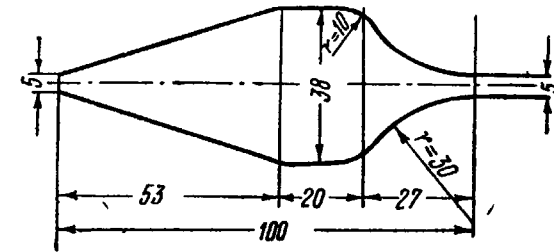


Рис. 90. Первый фасонный калибр

Одной из особенностей калибровки является оригинальная форма первого фасонного калибра (рис. 90). Такая форма дает возможность хорошо захватывать полосу и удовлетворительно заполнять калибр без образования закатов.

Изменение расстояния между валками позволяет получать в одном калибре заготовки для тавров различных размеров.

Количество пропусков обычно составляет семь или восемь, однако можно брать и шесть.

В первых пропусках применяют большие обжатия, причем коэффициенты вытяжки могут превышать 2.


В разработанной калибровке обжатие основания ножки тавра достигает 2,5, а конца ножки — 2,4 без образования рванин и трещин металла. Такие энергичные вытяжки применяются в связи с весьма быстрым остыванием тонкого профиля в последних пропусках.

Большие обжатия в начальной стадии прокатки приводят к значительным колебаниям размеров полосы. Поэтому в последних калибрах применяют небольшие обжатия, обеспечивающие требуемую точность готовой продукции.

Калибровка таврового профиля  $57 \times 40 \times 7 \times 4$  мм в шесть пропусков показана в табл. 75.

В чистовом калибре полоса проходит на ребро, причем ножка тавра находится в закрытой части калибра. Уклон ножки в готовом профиле равен 1%. Толщина ножки в чистовом калибре выполняется по плюсовому допуску: у основания

Калибровка тавра

№ калибра	Форма калибра	Подшва							Ножка			
		ширина, мм	уширение или осадка, мм	толщина, мм	абсолютное обжатие, мм	коэф. обжатия	сечение, мм <sup>2</sup>	коэф. вытяжки	длина, мм	уширение, мм	толщина	
											у основания, мм	у конца, мм
6	Т	57,0	+03	7,0	+0,5	+1,07	399	1,06	33	-3	4,8	4,0
5	Т	56,7	-2,8	7,5	-0,2	-0,97	425	1,02	36	+1	7,0	3,9
4	Т	59,5	+1,5	7,3	+1,4	+1,19	435	1,15	35	-4	5,4	4,5
3	Т	58,0	-8	8,7	-0,2	-0,97	500	1,12	39	+12	5,2	4,2
2	Т	66,0	+6	8,5	+35	+1,42	560	1,29	27	-3	16,0	10,0
1	Т	60,0	+25	12,0	+18	+2,5	720	1,45	30	-10	16,0	10,0
0		35,0	—	30,0	—	—	1040	—	40	—	35,0	10,0

5,1 мм, у конца ножки 4,3 мм. Последний размер увеличивают еще на 0,1 мм для предотвращения защемления ножки (рис. 91). Значительное обжатие у основания ножки в 5-м (предчистовом) калибре хорошо центрирует профиль по отношению к середине подошвы. Кроме того, сильная деформация улучшает качество металла в самом ответственном узле профиля — соединении ножки тавра с подошвой.

Из табл. 75 следует, что в чистовом калибре коэффициент вытяжки ножки равен 1,10, а подошвы только 1,06.

Незначительные вытяжки в чистовом калибре обеспечивают требуемую точность профиля: колебания ширины подошвы не более 1,0 мм при допуске 1,5 мм.

При конструировании 4-го калибра следует иметь в виду, что в 5-м калибре вытяжка ножки может быть лишь немного повышена по сравнению с вытяжкой подошвы.

Коэффициенты вытяжки в 5-м калибре для ножки 1,08 и для подошвы 1,02 обеспечивают нормальную прокатку и не вызывают волнистости ножки.

Толщина ножки в 3-м калибре принята с таким расчетом, чтобы избежать защемления ножки в закрытой части 4-го калибра. Для утолщения ножки здесь оставляют 0,2—0,4 мм.

В 3-м, 2-м и 1-м калибрах прокатка ведется с резкими переходами и большими обжатиями металла. В этих калибрах коэф-

Таблица 75

57 × 40 × 7 × 4 мм

						Полное сечение калибра						Отношение площадей подошвы и ножи
абсолютное обжатие		коэффициент обжатия		сечение, мм <sup>2</sup>	коэф. вытяжки	сечение, мм <sup>2</sup>	коэф. вытяжки	уширение, мм	обжатие, мм	показатель упрочения		
у основания, мм	у конца, мм	у основания	у конца									
+2,2	-0,1	+1,46	-0,97	145	1,10	544	1,07	0,3	0,5	0,60	2,75	
-1,6	+0,6	-0,77	+1,16	160	1,08	585	1,06	0,2	2,8	0,07	2,65	
-0,2	-0,3	-0,97	-0,93	173	1,06	608	1,12	1,5	1,4	1,07	2,50	
+10,8	+5,8	+3,07	+2,40	183	1,92	683	1,33	0,2	8,0	0,03	2,70	
—	—	—	—	350	1,22	910	1,26	6,0	3,5	1,70	1,60	
+19,0	—	+2,2	—	425	1,84	1145	1,59	25,0	28,0	0,90	1,70	
—	—	—	—	780	—	1820	—	—	—	—	1,35	

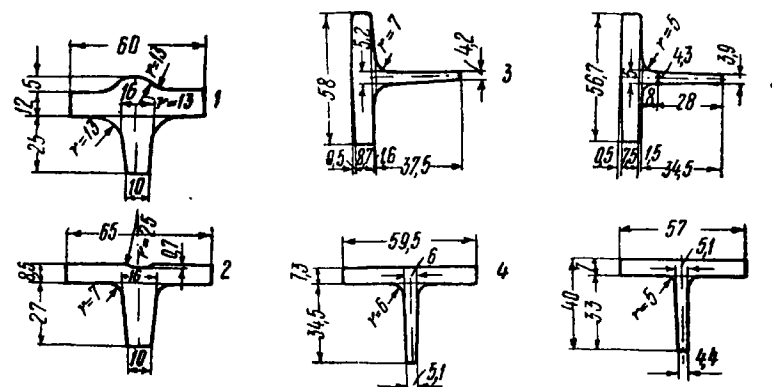


Рис. 91. Калибры для прокатки таврового профиля 57 × 40 × 7 × 4 мм

фициенты вытяжки отдельных частей профиля доходят до 1,92, а коэффициенты обжатия — до 3,07.

Большие колебания вытяжки по элементам профиля допущены только в первых пропусках; в двух последних пропусках вытяжки выравниваются.

Для надежного оформления ножки тавра вытяжка подошвы во всех пропусках, кроме второго и четвертого, меньше, чем вытяжка ножки.

## ГЛАВА 15

## КАЛИБРОВКА ДВУТАВРОВОГО ПРОФИЛЯ

## 1. Определение высоты заготовки для разрезного калибра

Высоту прямоугольной заготовки, поступающей в разрезной калибр, часто определяют с помощью правила средней арифметической вытяжки по Тафелю [31]. Среднюю высоту  $h$  заполнения калибра он вычисляет по формуле:

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

где  $n$  — число вертикальных полос равной ширины, на которые делят калибр;

$\frac{H}{h}$  — коэффициент вытяжки данного элемента (полоски).

И. М. Павлов [15] показал, что метод Тафеля нуждается в больших оговорках. Во-первых, он не учитывает уширения, во-вторых, в нем не соблюдено условие постоянства объема деформируемой полосы.

Метод Экелунда также теоретически неточен, а метод Лендла является развитием метода Тафеля.

Таким образом, применяемые методы определения высоты заготовки для разрезающего калибра (Тафель, Лендл, Экелунд) недостаточно обоснованы теоретически и не всегда дают надежные результаты.

Л. Д. Соколов предложил оригинальный, разработанный им метод определения средней вытяжки полосы в разрезающих калибрах [32].

Исходя из принципа, что работа вытяжки слабо обжимаемой части профиля и работа сжатия сильно обжимаемой части обратно пропорциональны соответствующим усилиям, Соколов вывел формулу для определения коэффициента средней вытяжки полосы  $\mu$ :

$$\frac{\lg \mu}{\lg \mu_2} = \frac{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}{1 - 2 \frac{A_2}{A_1} \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)}.$$

Как указал В. М. Заруев [33], эту формулу можно упростить для удобства вычислений:

$$\frac{\lg \mu}{\lg \mu_2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2},$$

где  $\mu$  — коэффициент средней вытяжки полосы,

$\mu_2$  — коэффициент вытяжки наиболее сильно обжимаемой части полосы,

$A_1$  — площадь сечения менее сильно обжимаемой части полосы до пропуска,

$A_2$  — площадь сечения более сильно обжимаемой части полосы до пропуска.

Анализируя формулу Соколова, Заруев показал, что это выражение нельзя считать универсальным, т. е. пригодным во всех случаях прокатки. При выводе уравнения Соколов не учел работы сил трения металла о валки, которая при прокатке фасонных профилей достигает большой величины.

М. С. Мутьев [34] при определении высоты заготовки для разрезного калибра основывается на законе неравномерной деформации и исходит из определения вынужденного уширения средних частей полосы и утяжки крайних (фланцев).

Мутьев вывел следующую формулу для определения минимальной высоты  $H_0$  заготовки:

$$H_0 = \psi H_p = \frac{B_0 H_p}{Q_p} \left( 1 - \frac{c}{2} + \frac{\frac{c}{2}}{\frac{B_0 H_p}{Q_p}} \right)^2 H_p,$$

где  $H_p$  — высота разрезного калибра.

$\psi$  — коэффициент утяжки  $\left(\frac{H_0}{H_p}\right)$  фланцев,

$B_0$  — ширина заготовки,

$Q_p$  — площадь разрезного калибра,

$c$  — коэффициент заполнения фланцев.

Коэффициент утяжки фланцев  $\psi$  и высота заготовки  $H_0$  зависят от отношения  $\frac{B_0 H_p}{Q_p}$ , которое представляет собою как бы условный средний коэффициент вытяжки при высоте заготовки  $H_p$  и ширине ее  $B_0$ .

Коэффициент заполнения фланцев  $c$  Мутьев, на основе практических данных, рекомендует брать в пределах 0,65—0,75.

Принимая  $c=0,70$  и считая, что  $\psi$  пропорционален  $\frac{B_0 H_p}{Q_p}$ , автор приходит к простейшему виду формулы для определения коэффициента утяжки фланцев:

$$\psi \approx 0,65 + 0,35 \frac{B_0 H_p}{Q_p}.$$

Принятое при этом значение коэффициента  $c$  (0,70) относится к разрезным калибрам с нормальным углом гребня 60—75°.

Автор отмечает, что значение коэффициента  $c$  следует уточнить, приняв при расчете во внимание трение и угол наклона гребня разрезающего калибра.

## 2. Боковое обжатие

При рассмотрении калибровки таврового профиля мы встретились с применением бокового обжатия при выработке частей головки в открытых и закрытых частях калибров. Однако размер бокового обжатия при этом весьма невелик, так как толщина головки преимущественно вырабатывается в ребровых калибрах.

Иначе обстоит дело, когда применение ребровых калибров для выработки толщины фланцев невозможно или неудобно, как например, при прокатке двутаврового, швеллерного профилей и рельс. В этих случаях применение бокового обжатия необходимо, и последнее достигает весьма больших размеров.

Применение бокового обжатия влечет за собой весьма большое трение металла о боковые стенки калибра, которое тем больше, чем больше обжатие. Не говоря уже о том, что это обстоятельство весьма резко увеличивает расход энергии и мощность двигателя, большие боковые обжатия вызывают быстрый износ стенок калибра.

Боковое давление определяется сопротивлением металла деформации и величиною обжатия. Последнее при данной скорости валков определяет динамический фактор явления. Сопротивление деформации является функцией температуры металла. Таким образом, в результате боковое давление зависит от температуры и размера бокового обжатия.

Температура меняется не только от калибра к калибру, но она различна и в отдельных частях профиля одного и того же калибра.

Так как в фасонных профилях фланцы вырабатываются постепенно за много пропусков, то наиболее тонкие части каждого калибра имеют более низкую температуру, чем толстые. Так, например (рис. 92), на линии  $a_1 b_1$  фланца двутавровой балки температура будет значительно ниже, чем на линии  $cd_1$ , поэтому и боковое обжатие на линии  $a_1 b_1$  должно быть меньше, чем

на линии  $cd_1$ . В каждом калибре отношение  $\frac{d_y}{d_x}$  во всех сечениях фланца при этом есть величина определенная, зависящая от положения проекционной точки профиля, под которой разумеется точка пересечения линий  $db$  и  $d_1 b_1$  с продолжением грани  $ta$ . Обычно для соседних калибров эта точка имеет постоянное положение относительно линий основания трапеции, т. е. относительно шейки.

При переходе от калибра к калибру температура металла падает, поэтому отношение  $\frac{d_y}{d_x}$  в одном и том же расстоянии от нейтральной оси должно уменьшаться. Рекомендуют в закрытой части это изменение  $\frac{d_y}{d_x}$  пропорционировать с пластичностью металла, которая изменяется от пропуска к пропуску примерно по параболе [30]

$$\frac{d_y}{d_x} = 1 + \frac{d_x}{200}.$$

Здесь параметр 200 отвечает обычному падению температуры. Не следует, однако, приписывать этому выражению абсолютного значения для всех случаев прокатки, так, например, два случая прокатки одной и той же балки резко различной длины дадут различное падение температур от пропуска к пропуску, соответственно с чем должен изменяться каким-то образом и параметр 200.

Применение в разных случаях одного и того же параметра в этом выражении должно повлечь за собой большее или меньшее увеличение или уменьшение расхода энергии и износа фланцев, а иногда может отразиться и на напряжениях в профиле, если температура прокатки будет слишком низка.

Высокое боковое обжатие имеет место в балках только в открытой части калибра, т. е. между ребрами обоих валков. В закрытой части калибра, т. е. ограничиваемой стенками только одного валка, боковое обжатие сводится к минимальному, как это было уже выяснено ранее.

Указанную параболическую зависимость некоторые авторы принимают для определения толщины фланцев балки, вводя определение  $\text{tg } \varphi_y$  по формуле  $\text{tg } \varphi_y = \text{tg } \varphi (1 + \text{tg } \varphi)$  [30], а также непосредственно при построении «переходных» калибров, о которых будем говорить ниже. Кроме того, эта зависи-

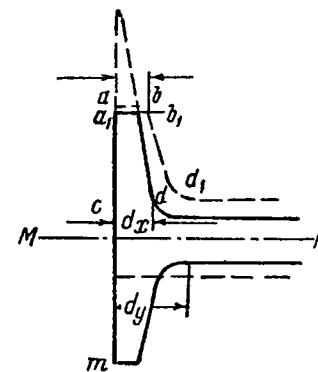


Рис. 92. Распределение обжатий в двутавровом профиле

мость применяется в одном и том же калибре для закругления внутренних граней фланцев калибра по параболе. При этом учитывается разница температур толстой и тонкой частей фланцев.

### 3. Коэффициенты вытяжки

Как при всякой фасонной калибровке, коэффициент вытяжки должен быть минимальным в чистовом и предотделочном калибрах и затем постепенно возрастать от пропуска к пропуску в направлении против хода прокатки.

Уже неоднократно указывалось, что вытяжку следует пропорционировать с температурой ради более равномерной нагрузки двигателя, ради ускорения процесса прокатки и, наконец, ради уменьшения напряжений в профиле, особенно опасных при низкой температуре прокатки, т. е. в последних по порядку прокатки пропусках. Напряжения, возникающие в металле при больших вытяжках и особенно при неравномерном их распределении, менее опасны при высокой температуре, так как появляющиеся упругие напряжения сейчас же почти полностью исчезают благодаря выравниванию температуры после пропуска.

Необходимо остановиться на определении утяжки фланцев в закрытой части калибра. Уже ранее неоднократно указывалось на трудность определения размера утяжки в подобных случаях. Проф. Грум-Гржимайло утверждает, что во всех рассмотренных им удачных калибровках утяжка была равна 7 мм независимо от размера профиля.

Жез предложил следующий метод для вычисления величины утяжки фланца в закрытой части калибра двутавровой балки.

Пусть  $R$  будет радиус вала в шейке и  $r$  — во фланце этой балки в глубине закрытой части калибра. Очевидно, что разница окружностей, а следовательно, и скоростей по окружности вала в шейке и в крае фланца равна

$$2\pi(R-r)\frac{n}{60}.$$

Следовательно, разница касательных скоростей в шейке (отвечающих скорости прокатки) и в закрытой части калибра, через которую проволочивается фланец, пропорциональна  $R-r$ . Представим себе, что металл во всех точках соприкосновения с поверхностью калибра подчиняется соответственным скоростям этой поверхности. Тогда трапеция, построенная на двух вышеотмеченных скоростях (рис. 93), как параллельных сторонах ее, и высоте, равной  $R-r$ , позволяет судить об относительных (теоретических) скоростях.

В каждой данной точке  $O$  по высоте фланца скорость пропорциональна отрезку  $ab$  между наклонными  $AB$  и  $CD$ , проведенному параллельно основанию, и масса металла, проходящая в одну секунду через эту часть калибра, должна быть пропорциональна площади данной трапеции.

Но так как скорость металла во всех точках фланца по высоте в действительности должна быть одинаковой и та же и равна скорости металла в шейке, то ее графическое изображение должно отвечать форме прямоугольника  $AMND$ , площадь которого равновелика площади трапеции  $ABCD$ . Нетрудно найти высоту  $H$  полученного прямоугольника из равенства

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

$$H = \frac{R^2 - r^2}{2R}.$$

Следовательно, утяжка  $\omega$  равна разности высот трапеции и прямоугольника:

$$\omega = R - r - \frac{R^2 - r^2}{2R}$$

или

$$\omega = R - r - \frac{(R+r)(R-r)}{2R} = \frac{(R-r)^2}{2R}.$$

Чтобы компенсировать эту утяжку, необходимо высоту открытого фланца  $h_{n+1}$ , из которого металл поступает в данный закрытый фланец, сделать больше высоты  $h_n$  этого закрытого фланца на величину утяжки  $\omega$ , т. е.

$$h_{n+1} = h_n + \omega.$$

Определим по этому методу величину утяжки для разных балок.

Балка № 40. Ширина полки  $b = 144$  мм. Толщина ножки  $d = 14$  мм. Высота фланца в чистовом калибре

$$h_1 = \frac{144 - 14}{2} = 65 \text{ мм.}$$

Пусть прокатка ведется в стане 800, т. е.  $R_0 = 400$ . Очевидно,  $R = 400 - 7 = 393$  мм,  $2R = 786$  мм,  $r = 393 - 65 = 328$  мм,  $R + r = 721$  мм,  $R - r = 65$  мм.



Рис. 93. Определение утяжки в закрытой части калибра двутаврового профиля

$$(R + r)(R - r) = 721 \cdot 65 = 46\,865 \text{ мм}^2;$$

$$\omega = 65 - \frac{46\,865}{786} \approx 6 \text{ мм.}$$

Балка № 24.  $b = 116 \text{ мм}$ ;  $d = 10 \text{ мм}$ ;  $D = 700 \text{ мм}$ ;

$$h_1 = \frac{116 - 9}{2} = 53,5 \text{ мм.}$$

$$R = 350 - 5 = 345 \text{ мм}; \quad 2R = 690 \text{ мм};$$

$$r = 345 - 53,5 = 291,5 \text{ мм};$$

$$R + r = 636,5 \text{ мм};$$

$$R - r = 53,5 \text{ мм};$$

$$(R + r)(R - r) = 636,5 \cdot 53,5 \approx 34\,053 \text{ мм}^2;$$

$$\omega = 53,5 - \frac{34\,053}{690} \approx 4,2 \text{ мм.}$$

Балка № 10.  $b = 68 \text{ мм}$ ;  $d = 4 \text{ мм}$ ;  $D = 550 \text{ мм}$ ;  
 $h = \frac{68 - 4}{2} = 32 \text{ мм};$

$$R = 275 - 2 = 273 \text{ мм}; \quad 2R = 546 \text{ мм};$$

$$r = 273 - 32 = 241 \text{ мм};$$

$$R + r = 514 \text{ мм};$$

$$R - r = 32 \text{ мм};$$

$$(R + r)(R - r) = 514 \cdot 32 = 16\,448 \text{ мм}^2;$$

$$\omega = 32 - \frac{16\,448}{546} \approx 2 \text{ мм.}$$

Чем же объяснить утверждения Грум-Гржимайло о наблюдавшихся в действующих калибровках постоянства утяжки, принимаемой при калибровке разнообразных профилей?

Из примеров расчета утяжки для различных профилей мы видим, что она изменяется от 2 до 6 мм в зависимости от номера профиля и диаметра валков.

Что произойдет, если во всех случаях взять на утяжку 5 мм? Легко показать, что если не следует назначать утяжку меньше вычисленной, то брать ее немного больше вполне возможно.

Действительно, увеличение предыдущего фланца на величину утяжки преследует цель обеспечить заполнение фланца в данном калибре. Очевидно, что увеличение размера предыдущего фланца в большей мере, чем это необходимо для ком-

пенсации утяжки, будет сопровождаться в закрытом калибре прямым обжатием, равным разнице принятого и вычисленного значения утяжки. Например, если во всех рассмотренных случаях принять 5 мм, то прямое обжатие в первом случае будет  $5 - 6 = -1 \text{ мм}$ . Здесь калибр окажется незаполненным на 1 мм. Поэтому целесообразно по Грум-Гржимайло взять не 5, а 7 мм. В таком случае прямое обжатие будет  $7 - 6 = 1 \text{ мм}$ .

Столь незначительное прямое обжатие при большой высоте фланца дает неощутимо малое уширение металла в нем, и разработка калибра будет ничтожна. Если при этом даже не предусмотрен просторный калибр, то прокатка окажется вполне успешной.

Во втором случае прямое обжатие будет  $5 - 4,2 = 0,8 \text{ мм}$ . При высоте калибра 50 мм свободное уширение здесь не превышает 0,25 мм. Следовательно, если предусмотрен просторный калибр, то фланец пройдет без трения, и прокатка будет выполнена прекрасно. Если же калибр тесен, то произойдет небольшая выработка его, сопровождающаяся несколько усиленной утяжкой. Спустя некоторое время калибр получит естественные размеры.

В третьем случае прямое обжатие будет  $5 - 2 = 3 \text{ мм}$ . При высоте калибра 24,5 мм свободное уширение здесь будет около 0,6 мм.

Прокатка пройдет хорошо, если предусмотрен просторный калибр; в противном случае он будет прирабатываться в течение некоторого времени.

Из сказанного ясно, что если делать калибр в закрытой части на 0,5 мм больше задаваемого в него фланца, то можно без вреда для дела брать 5 или 7 мм на утяжку.

При прокатке фланца в открытой части калибра необходимо, чтобы вытяжка в нем, происходящая от бокового давления, не превышала вытяжки шейки; в таком случае опасность получения заусенца значительно ослабляется и вполне устраняется наличием закругления в предшествующем закрытом фланце. Тем не менее, целесообразно предусматривать увеличение в открытом калибре высоты фланца на 0,5—1 мм, получающееся при хорошей калибровке.

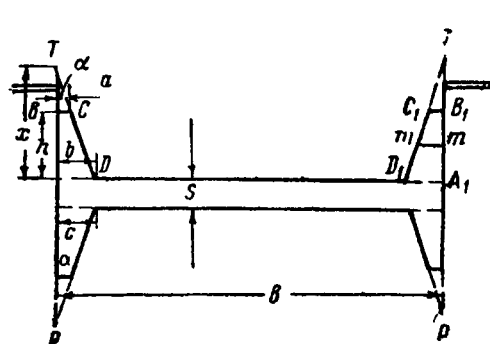
На основании сказанного будут понятны следующие формулы, рекомендуемые для расчета калибров двутаврового профиля [30].

Обозначим размеры фланцев чистового профиля в горячем состоянии через  $h$ ,  $\text{tg } \alpha$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $Q$  (рис. 94). В чистовом профиле все размеры симметричны.  $T$  — конструкционная точка.

Профиль делится на пять частей — четыре фланца и шейку, как показано на рисунке.  $Q_{\phi}$  — площадь фланца.

Построим предотделочный калибр — открытый и закрытый фланцы.

Открытый фланец предотделочного калибра. Обозначим искомые размеры калибра  $h_1$ ,  $\alpha_1$ ,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $x$  и  $m$  ( $m$  — средняя линия трапеции). Тогда (рис. 94)



$$x = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (34)$$

$$h_1 = h + \omega \quad (35)$$

(так как этот фланец утянется на  $\omega$  в закрытой части чистового калибра).

$$Q_1 = Q_{\mu 1} = Q(1 + \operatorname{tg} \alpha), \quad (36)$$

$$m_1 = \frac{Q_1}{h_1}, \quad (37)$$

Рис. 94. Обозначение размеров фланцев чистового двутаврового профиля

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}, \quad (38)$$

$$a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (39)$$

$$b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (40)$$

Закрытый фланец предотделочного калибра.

$$x = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (41)$$

$$h_1 = h - (0,5 \div 1 \text{ мм}) \quad (42)$$

(так как этот фланец уширится в открытой части чистового калибра на 0,5—1 мм),

$$Q_1 = Q_{\mu 1} = Q(1 - \operatorname{tg} \alpha) \quad (43)$$

(то же, что в открытом фланце).

$$m_1 = \frac{Q_1}{h_1}, \quad (44)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}, \quad (45)$$

$$a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (46)$$

$$c_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (47)$$

Шейка предотделочного калибра. Даны размеры шейки чистового профиля  $S$ ,  $B$  и  $Q$ .

Так как коэффициенты вытяжки шейки и полк должны быть одинаковы, то

$$\mu_1 = \frac{Q_1}{Q},$$

$$B_1 = B + \Delta B.$$

О величине  $\Delta B$  будет сказано ниже.

$$S_1 = \frac{Q_1}{B}.$$

Исходя из размеров предотделочного калибра, вычисляем размеры следующего калибра.

Открытые фланцы<sup>1</sup>:

$$x = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (48)$$

$$h_1 = h + \omega, \quad (49)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha), \quad (50)$$

$$a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (51)$$

$$b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (52)$$

$$Q_1 = h_1 \frac{a_1 + b_1}{2}. \quad (53)$$

Закрытые фланцы<sup>2</sup>:

$$h_1 = h - (0,5 \div 1 \text{ мм}), \quad (54)$$

$$m_1 = \frac{Q_1}{h_1}, \quad (55)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}, \quad (56)$$

$$c_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (57)$$

$$d_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (58)$$

По приведенным формулам построение может быть доведено большей частью только до седьмого калибра включительно, так как дальнейшее применение формул приводит к чрезмерным коэффициентам вытяжки и обжатиям, требующим слишком больших диаметров валков и мощности двигателей. Поэтому дается ряд формул для построения переходных калибров при заданном новом положении конструкционной точки:

$$h_1 = h + \omega, \quad (59)$$

$$a_1 = a + \frac{a^2}{200}, \quad (60)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{x - h_1}, \quad (61)$$

$$b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (62)$$

Приведенные формулы относятся к построению калибров в двухвалковых реверсивных станах, в которых катают балки, начиная с № 26 и выше.

<sup>1</sup> Здесь буквы без значков — размеры закрытого фланца предыдущего калибра.

<sup>2</sup> Здесь буквы без значков — размеры открытого фланца предыдущего калибра.



Балки меньших размеров обычно катают в трехвалковых станах. В последних калибры могут располагаться или сопряженно, т. е. один над другим, или независимо друг от друга, т. е. в шахматном порядке. В последнем случае калибровка тождественна с калибровкой

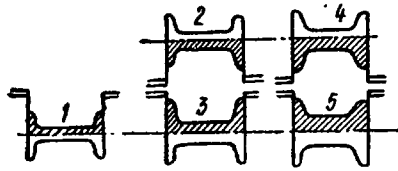


Рис. 95. Сопряженное расположение двутавровых калибров

в двухвалковых станах, т. е. с соблюдением правила одинаковых вытяжек во всех частях калибра. При сопряженном расположении калибров приходится жертвовать равномерностью вытяжки ради более полного использования полотна валков.

При сопряженном расположении калибров в трехвалковом стане расположенные в среднем валке над другим открытые фланцы попарно имеют одинаковые площади, точно также площадь каждого нижнего закрытого фланца равна площади верхнего закрытого фланца ближайшего большего калибра (рис. 95). Вычисление ведется в следующем порядке. Размеры чистового калибра известны.

Открытый фланец предотделочного калибра. Вычисление проводится по формулам (34)—(40).

Закрытый фланец предотделочного калибра. Согласно сказанному выше, имеем:

$$\begin{aligned} c_1 &= b \text{ отделочного калибра,} \\ h_1 &= h \quad \text{»} \quad \text{»} \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \operatorname{tg} \alpha \quad \text{»} \quad \text{»} \\ a_1 &= (x - h) \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned}$$

Предотделочный 2-й калибр строится по формулам (41)—(47).

Открытый фланец 3-го калибра. Открытый фланец последующего 3-го (против направления прокатки) калибра равен открытому фланцу уже найденного 2-го калибра.

Закрытый фланец 3-го калибра. Для построения закрытых фланцев 3-го и 4-го последующих калибров необходимо знать площадь, которая определяется из размеров открытого фланца того же 3-го калибра.

Исходя из размеров этого фланца, считая его закрытым, по формулам (48)—(53) строят вспомогательный открытый фланец с площадью, равновеликой искомой.

Из полученных таким образом размеров вспомогательного фланца находят, наконец, с помощью формул (54)—(58) размеры искомого закрытого фланца, который будет тождественным для 3-го и 4-го калибров.

Из размеров найденного закрытого фланца узнают размеры открытого фланца 4-го и 5-го калибров. В дальнейшем повторяется только что описанный цикл для определения закрытых фланцев 5-го и 6-го калибров и т. д.

### Пример калибровки балки № 10

Приведем пример калибровки балки № 10 на трехвалковом стане  $D = 550$  мм. Калибровка проводится в сопряженных ручьях.

Размеры профиля в холодном состоянии (рис. 96):

$$\begin{aligned} B &= 100 \text{ мм,} & a &= 4,5 \text{ мм,} \\ H &= 57,0 \text{ мм,} & b &= 8,1 \text{ мм,} \\ S &= 4,6 \text{ мм,} & R &= 4,5 \text{ мм,} \\ m &= 6,3 \text{ мм,} & r &= 2,7 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Размеры в горячем состоянии:

Фланцы	Шейка
$h = 26,6 \text{ мм,}$	$B = 100,5^1$
$a = 4,6 \text{ мм,}$	$Q = 100,5 \cdot 4,6 =$
$m = 6,4 \text{ мм,}$	$= 462 \text{ мм}^2.$
$b = 8,2 \text{ мм.}$	

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,137,$$

$$x = \frac{8,2}{0,137} = 60 \text{ мм,}$$

$$Q = 6,4 \cdot 26,6 = 170 \text{ мм}^2.$$

Определяем <sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} R_b &= 225 - 2,3 = 222,7 \text{ мм,} & R_b + r_b &= 418,8 \text{ мм,} \\ r_b &= 222,7 - 26,6 = 196,1 \text{ мм,} & R_b - r_b &= 26,6 \text{ мм.} \\ \omega &= 26,6 - \frac{418,8 \cdot 26,6}{2 \cdot 222,7} = 1,6 \text{ мм; с запасом примем } \omega = 5 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Предотделочный калибр.

Открытый фланец:

$$h_2 = h + \omega = 26,6 + 5 = 31,6 \text{ мм;}$$

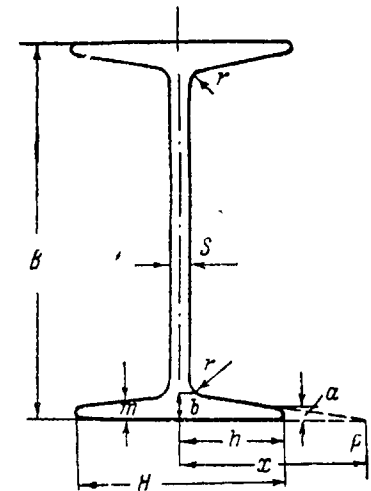


Рис. 96. Обозначение размеров готового двутаврового профиля

<sup>1</sup> По коэффициенту расширения следовало бы 101,5, но, имея в виду допуски — 1 мм и + 2 мм и износ калибра, следует брать 101,5 — 1 = 100,5 мм.

<sup>2</sup>  $R_b$  — радиус валков в шейке,  $r_b$  — во фланце балки.

$$Q_2 = Q(1 + \operatorname{tg} \alpha) = 170 \cdot 1,137 = 193 \text{ мм}^2;$$

$$m_2 = \frac{Q_2}{h_2} = \frac{193}{31,6} \approx 6,1 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_2}{x - 0,5 h_2} = \frac{6,1}{60 - 15,8} = 0,138 \approx 0,14.$$

Закрытый фланец:

$$h_2 = h = 26,6 \text{ мм}; \quad m_2 = m = 6,4 \text{ мм};$$

$$Q_2 = Q = 170 \text{ мм}^2; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \operatorname{tg} \alpha = 0,14.$$

Открытый фланец:

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \alpha_2 = (60 - 31,6) \cdot 0,14 \approx 4,0 \text{ мм};$$

$$b_2 = x \operatorname{tg} \alpha_2 = 60 \cdot 0,14 = 8,4 \text{ мм};$$

$$\mu_1 = 1,24; R = 6,1 \text{ мм}; r = 3 \text{ мм}.$$

Закрытый фланец:

$$a_2 = a = 4,6 \text{ мм};$$

$$b_2 = c = 8,4 \text{ мм};$$

$$\mu_1 = 1,0;$$

$$R = 6,4 \text{ мм};$$

$$r = 3,2 \text{ мм}.$$

Для вычисления размера шейки найдем средний коэффициент вытяжки всего калибра; два фланца имеют  $\mu=1$  и другие два —  $\mu=1,14$ , следовательно, средняя вытяжка всего профиля, а также и шейки равна  $\frac{1+1,14}{2} = 1,07$ . Поэтому

$$Q_1 = 1,07 \cdot Q = 1,07 \cdot 462 = 494 \text{ мм}^2 \approx 500 \text{ мм}^2.$$

Как видим из коэффициента вытяжки, обжатие в шейке ничтожно, поэтому также и уширение ничтожно, составляя доли миллиметра. Однако его обычно берут гораздо больше определяемого по формулам, потому что увеличение уширения ослабляет боковое давление на реборды и, следовательно, уменьшает их износ. В последних пропусках боковое обжатие невелико, оно возрастает в направлении, обратном прокатке, поэтому в последних пропусках берут малое уширение, увеличивая его в направлении первых пропусков.

Для крупных балок целесообразно брать уширение последовательно от чистового калибра: 2, 3, 4, 5 мм и т. д. или даже 2, 4, 6 мм и т. д. Для мелких балок рекомендуется ряд: 0,5, 1, 2, 3, 4 мм и т. д.

В данном случае следует придерживаться последнего ряда. Поэтому

$$B_2 = B - 0,5 = 100 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$S_2 = \frac{494}{100} = 4,94 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}.$$

3-й калибр. Открытый фланец 3-го калибра равен уже найденному открытому фланцу 2-го калибра.

Исходя из размеров открытого фланца предотделочного калибра, как-будто бы закрытого, надо построить вспомогательный открытый фланец, пользуясь формулами (48) — (53).

Вспомогательный открытый фланец:

$$h_3 = h_2 + \omega = 31,6 + 5 = 36,6 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + \operatorname{tg} \alpha_2) = 0,14 \cdot 1,14 = 0,16;$$

$$a_3 = (x - h_3) \operatorname{tg} \alpha_3 = (60 - 36,6) \cdot 0,16 = 3,8 \text{ мм};$$

$$b_3 = x \operatorname{tg} \alpha_3 = 60 \cdot 0,16 = 9,6 \text{ мм};$$

$$Q_3 = h_3 \frac{a_3 + b_3}{2} = 36,6 \frac{3,8 + 9,6}{2} \approx 245 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец 3-го и 4-го калибров:

$$h_3 = h_2 - 0,6 = 31,6 - 0,6 = 31 \text{ мм};$$

$$m_3 = \frac{Q_3}{h_3} = \frac{245}{31} = 7,9 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{m_3}{x - 0,5 h_3} = \frac{7,9}{60 - 15,5} = 0,18;$$

$$c_3 = x \operatorname{tg} \alpha_3 = 60 \cdot 0,18 = 10,8 \text{ мм};$$

$$d_3 = (x - h_3) \operatorname{tg} \alpha_3 = 5,2 \text{ мм};$$

$$Q_3 = 245 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки открытого фланца 3-го калибра в закрытом 2-м калибре

$$\mu_2 = \frac{193}{170} = 1,138.$$

Коэффициент вытяжки закрытого фланца 3-го калибра в открытом 2-м калибре

$$\mu_2 = \frac{245}{193} = 1,27.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu_2 = \frac{1,138 + 1,27}{2} = 1,21;$$

$$Q_3 = 500 \cdot 1,21 = 605 \text{ мм}^2;$$

$$B_3 = 100 - 1 = 99 \text{ мм};$$

$$S_3 = \frac{605}{99} \approx 6 \text{ мм}.$$

4-й калибр. Открытый фланец 4-го калибра определяется из закрытого фланца 3-го калибра. Он будет тождественен с открытым фланцем 5-го калибра.

$$h_4 = h_3 + \omega = 31 + 5 = 36 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \operatorname{tg} \alpha_3 (1 + \operatorname{tg} \alpha_3) = 0,18 \cdot 1,18 \approx 0,22;$$

$$a_4 = (x - h_4) \operatorname{tg} \alpha_4 = (60 - 36) \cdot 0,22 \approx 5,3 \text{ мм};$$

$$b_4 = x \operatorname{tg} \alpha_4 = 60 \cdot 0,22 = 13,2 \text{ мм};$$

$$Q_4 = h_4 \frac{a_4 + b_4}{2} = 36 \frac{5,3 + 13,2}{2} = 333 \text{ мм}^2;$$

$$\mu_4 = \frac{333}{245} \approx 1,36.$$

Шейка:

$$\mu_4 = \frac{1,36 + 1,27}{2} \approx 1,32;$$

$$Q_4 = 1,32 \cdot 605 \approx 800 \text{ мм}^2;$$

$$B_4 = 99 - 2 = 97 \text{ мм};$$

$$S_5 = \frac{800}{97} \approx 8,25 \text{ мм}.$$

5-й калибр. Открытый фланец 5-го калибра тождественен с открытым фланцем 4-го калибра.

Для определения элементов закрытого фланца найдем вспомогательный калибр, аналогично тому, как поступали при вычислении закрытого фланца 3-го калибра.

Вспомогательный фланец:

$$h_5 = h_4 + \omega = 36 + 5 = 41 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \operatorname{tg} \alpha_4 (1 + \operatorname{tg} \alpha_4) = 0,22 \cdot 1,22 \approx 0,27;$$

$$a_5 = (x - h_5) \operatorname{tg} \alpha_5 = (60 - 41) \cdot 0,27 \approx 5,2 \text{ мм};$$

$$b_5 = x \operatorname{tg} \alpha_5 = 60 \cdot 0,27 = 16,2 \text{ мм};$$

$$Q_5 = 41 \frac{5,2 + 16,2}{2} \approx 440 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец 5-го и 6-го калибров:

$$h_5 = h_4 - 0,5 = 36 - 0,5 = 35,5 \text{ мм};$$

$$m_5 = \frac{Q_4}{h_4} = \frac{440}{35,5} = 12,4 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \frac{12,4}{60 - 17,75} = 0,30;$$

$$c_5 = 60 \cdot 0,30 = 18 \text{ мм};$$

$$\alpha_5 = (60 - 35,5) \cdot 0,3 = 7,35 \text{ мм};$$

$$\mu_4 = \frac{440}{333} = 1,32.$$

Коэффициент вытяжки открытого фланца 5-го калибра в закрытом 4-м калибре

$$\mu = \frac{333}{245} = 1,36.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu = 1,34.$$

Шейка:

$$Q_5 = 1,34 \cdot 800 \approx 1070;$$

$$B_5 = 97 - 3 = 94 \text{ мм};$$

$$S_5 = \frac{1070}{94} = 11,4 \text{ мм}.$$

6-й калибр. Открытый фланец 6-го и 7-го калибров:

$$h_6 = h_5 + \omega = 35,5 + 5 = 40,5 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_6 = \operatorname{tg} \alpha_5 (1 + \operatorname{tg} \alpha_5) = 0,3 \cdot 1,3 = 0,39;$$

$$a_6 = (60 - 41,5) \cdot 0,39 = 7,22 \text{ мм};$$

$$b_6 = 60 \cdot 0,39 = 23,4 \text{ мм};$$

$$Q_6 = 41,5 \frac{7,22 + 23,4}{2} \approx 635 \text{ мм}^2;$$

$$\mu_5 = \frac{635}{440} \approx 1,45.$$

Шейка:

$$\mu = \frac{1,45 + 1,32}{2} = 1,39;$$

$$Q_6 = 1,39 \cdot 1070 \approx 1490 \text{ мм}^2;$$

$$B_6 = 94 - 4 = 90 \text{ мм};$$

$$S_6 = \frac{1490}{90} = 16,6 \text{ мм}.$$

Для скорейшего получения разрезающего калибра в последующих калибрах приближаем проекционную точку на 10%, т. е. берем  $x = 54$  мм.

7-й калибр. Открытый фланец 7-го калибра уже найден: он равен открытому фланцу 6-го калибра. Для определения элементов закрытого фланца найдем вспомогательный калибр.

Вспомогательный фланец:

$$h_7 = h_6 + \omega = 41,5 + 5 = 46,5 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_7 = \operatorname{tg} \alpha_6 (1 + \operatorname{tg} \alpha_6) = 0,39 \cdot 1,39 = 0,54;$$

$$a_7 = (54 - 46,5) \cdot 0,54 = 4,1 \text{ мм};$$

$$b_7 = 54 \cdot 0,54 = 29,2 \text{ мм};$$

$$Q_7 = 46,5 \frac{4,1 + 29,2}{2} \approx 775 \text{ мм}^2.$$

Закрытый фланец 7-го и 8-го калибров:

$$h_7 = h_6 - 0,5 = 41 \text{ мм};$$

$$m_7 = \frac{Q_7}{h_7} = \frac{775}{41} = 18,9 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_7 = \frac{18,9}{54 - 20,5} = 0,56;$$

$$c_7 = 54 \cdot 0,56 \approx 30 \text{ мм};$$

$$d_7 = (54 - 41) \cdot 0,56 = 7,3 \text{ мм};$$

$$\mu_6 = \frac{775}{635} = 1,22.$$

Коэффициент вытяжки открытого фланца 7-го калибра в закрытом фланце 6-го калибра

$$\mu_6 = \frac{635}{440} = 1,45.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{1,22 + 1,45}{2} = 1,33.$$

Шейка 7-го калибра:

$$Q_7 = 1,33 \cdot 1490 = 1980 \text{ мм}^2;$$

$$B_7 = 90 - 5 = 85 \text{ мм};$$

$$S_7 = \frac{1980}{85} = 23,3 \text{ мм}.$$

Найдем размеры открытого фланца 8-го калибра, который является разрезающим, так как сумма высот в 7-м калибре  $41 + 23,3 + 41,5 = 105,8$  мм приблизительно равна двойной ширине полки готового профиля.

$$h_8 = h_7 + \omega = 41 + 5 = 46 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_8 = 0,56 \cdot 1,56 = 0,87;$$

$$a_8 = (54 - 46) \cdot 0,87 = 7,0 \text{ мм};$$

$$b_8 = 54 \cdot 0,87 = 47 \text{ мм};$$

$$Q_8 = \frac{47 + 7}{2} 46 \approx 1240 \text{ мм}^2;$$

$$\mu_7 = \frac{1240}{775} = 1,6.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{1,6 + 1,22}{2} = 1,41.$$

Шейка 8-го калибра:

$$Q_8 = 1,41 \cdot 1980 \approx 2800 \text{ мм}^2;$$

$$B_8 = 85 - 5 = 80 \text{ мм};$$

$$S_8 = \frac{2800}{80} = 35 \text{ мм}.$$

Суммарная площадь 8-го калибра

$$Q = 2800 + 1240 + 775 = 4815 \text{ мм}^2.$$

Общая высота

$$H = 46 + 41 + 35 = 122 \text{ мм}.$$

Примем заготовку  $78 \times 115$  мм.

В разрезающем калибре  $H - h = 115 - 35 = 80$  мм. При прокатке в трехвалковом стане  $D = 550$  мм заготовку следует разрезать в два приема (рис. 97).

В первом пропуске  $H - h = 40$  мм и во втором пропуске  $H - h = 40$  мм.

Таблица 76

Калибровка двутаврового профиля № 10 в трехвалковом стане

Элементы	Открытые фланцы				Закрытые фланцы				Шейка				Закругления				
	a мм	b мм	h мм	tg α	Q мм <sup>2</sup>	μ	d мм	c мм	h мм	tg α	Q мм <sup>2</sup>	μ	Q мм <sup>2</sup>	B мм	S мм	R мм	R <sub>1</sub> мм
1	4,6	8,2	26,6	0,137	170	1,14	4,6	8,2	26,6	0,137	170	1,0	462	100,5	4,6	4,6	4,6
2	4	8,4	31,6	0,14	193	1,27	4,6	8,4	26,6	0,14	170	1,138	500	100	6,1	6,4	6,4
3	4	8,4	31,6	0,14	193	1,27	5,2	10,8	31	0,18	245	1,36	605	99	6,1	7,9	7,9
4	5,3	13,2	36	0,22	333	1,32	5,2	10,8	31	0,18	245	1,36	800	97	8,25	9,3	7,9
5	5,3	13,2	36	0,22	333	1,32	7,35	18	35,5	0,30	440	1,45	1070	94	11,4	9,3	12,4
6	7,22	23,4	41,5	0,39	635	1,22	7,35	18	35,5	0,30	440	1,45	1490	90	16,6	12,4	12,4
7	7,22	23,4	41,5	0,39	635	1,22	7,3	30	41	0,56	775	1,6	1980	85	23,3	15,3	18,9
8	7,0	27	46	0,87	1240	—	7,3	30	41	0,56	775	—	2800	80	35	27	18,9

Сведем полученные результаты в табл. 76, дополненную радиусами закруглений:  $R$  — между открытым фланцем и шейкой и  $R_1$  — между шейкой и закрытым фланцем.  $R - R_1 = m$  — средняя линия трапеции соответствующего фланца. Радиус закругления в вершине закрытого и открытого фланцев с внутренней стороны  $r = 0,5$  мм, а с наружной стороны закрытого фланца  $r_1 = 0,25$  мм.

В чистовом калибре закругления задаются по сортаменту.

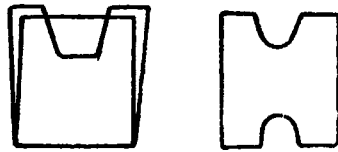


Рис. 97. Два последовательных разрезных калибра

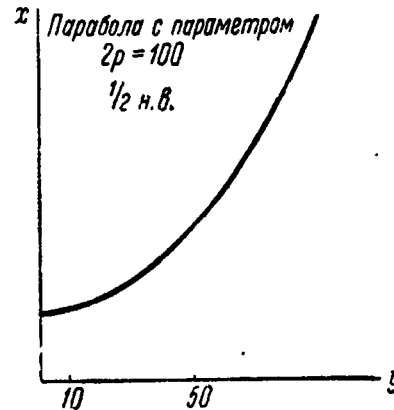


Рис. 98. Парабола перехода фланца к шейке

Кроме того, рекомендуют переход от фланца к шейке делать по параболе с параметром  $2p = 100$  (рис. 98) [30]. Прикладывают параболу таким образом, чтобы основание трапеции полу-

чило уширение  $E = \frac{b^2}{200}$  или  $E_1 = \frac{c^2}{200}$  (рис. 99).

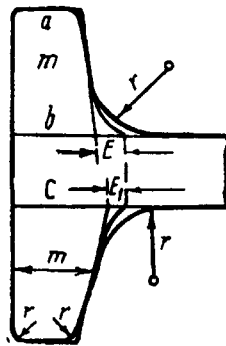


Рис. 99. Применение параболы перехода фланца к шейке

Для нахождения величины  $E$  и  $E_1$  применяют табл. 77. Отложив отрезок  $E$  на продолжении основания трапеции, прикладывают к концу этого отрезка параболу ее вершиной и доводят кривую до соприкосновения с внутренней частью открытого фланца. В закрытом фланце поступают таким же образом, взяв  $E$ , но прикладывают параболу к концу отрезка точкой, расположенной несколько далее от вершины, чтобы получить более широкую часть ручья для облегчения поступления в нее задаваемого фланца.

Смысл применения параболы здесь заключается, как было указано выше, в разнице температур у основания и у концов фланцев. Впрочем, другие авторы не прибегают к применению параболы при построении закруглений, ограничиваясь только радиусами, указанными выше.

Применение параболы с параметром  $2p = 100$

Таблица 77

$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$	$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$
0	0,000	0,000	45	10,125	55,125
1	0,005	1,005	46	10,580	56,580
2	0,020	2,020	47	11,045	58,045
3	0,045	3,045	48	11,520	59,520
4	0,080	4,080	49	12,005	61,005
5	0,125	5,125	50	12,500	62,500
6	0,180	6,180	51	13,005	64,005
7	0,245	7,245	52	13,520	65,520
8	0,320	8,320	53	14,045	67,045
9	0,405	9,405	54	14,580	68,580
10	0,500	10,500	55	15,125	70,125
11	0,605	11,605	56	15,680	71,680
12	0,720	12,720	57	16,245	73,245
13	0,845	13,845	58	16,820	74,820
14	0,980	14,980	59	17,405	76,405
15	1,125	16,125	60	18,000	78,000
16	1,280	17,280	61	18,605	79,605
17	1,445	18,445	62	19,220	81,220
18	1,620	19,620	63	19,845	82,845
19	1,805	20,805	64	20,480	84,480
20	2,000	22,000	65	21,125	86,125
21	2,205	23,205	66	21,780	87,780
22	2,420	24,420	67	22,445	89,445
23	2,645	25,645	68	23,120	91,120
24	2,880	26,880	69	23,805	92,805
25	3,125	28,125	70	24,500	94,500
26	3,380	29,380	71	25,205	96,205
27	3,645	30,645	72	25,920	97,920
28	3,920	31,920	73	26,645	99,645
29	4,205	33,205	74	27,380	101,380
30	4,500	34,500	75	28,125	103,125
31	4,805	35,805	76	28,880	104,880
32	5,120	37,120	77	29,645	106,645
33	5,445	39,445	78	30,420	108,420
34	5,780	39,780	79	31,205	110,205
35	6,125	41,125	80	32,000	112,000
36	6,480	42,480	81	32,805	113,805
37	6,845	43,845	82	33,620	115,620
38	7,220	45,220	83	34,445	117,445
39	7,605	46,605	84	35,280	119,280
40	8,000	48,000	85	36,125	121,125
41	8,405	49,405	86	36,980	122,980
42	8,820	50,820	87	37,845	124,845
43	9,245	52,245	88	38,720	126,720
44	9,680	53,680	89	39,605	128,605

<sup>1</sup>  $E$  и  $E_1$  — уширения.

Продолжение табл. 77

$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$	$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$
90	49,500	130,500	137	93,845	230,845
91	41,505	132,405	138	95,220	233,220
92	42,320	134,320	139	96,605	235,605
93	43,245	136,245	140	98,000	238,000
94	44,180	138,180	141	99,405	240,405
95	45,125	140,125	142	100,820	242,820
96	46,080	142,180	143	102,245	245,245
97	47,045	144,045	144	103,680	247,680
98	48,020	146,020	145	105,125	250,125
99	49,005	148,005	146	106,520	252,520
100	50,000	150,000	147	108,045	255,045
101	51,005	152,005	148	109,520	257,520
102	52,020	154,020	149	111,005	260,005
103	53,045	156,045	150	112,500	262,500
104	54,080	158,080	151	114,030	265,030
105	55,125	160,125	152	115,520	267,520
106	56,180	162,180	153	117,045	270,045
107	57,245	164,245	154	118,580	272,580
108	58,320	166,320	155	120,125	275,125
109	59,405	168,405	156	121,680	277,680
110	60,500	170,500	157	123,245	280,245
111	61,605	172,605	158	124,820	282,820
112	62,720	174,720	159	126,405	285,405
113	63,845	176,845	160	128,000	288,000
114	64,980	178,980	161	129,605	290,605
115	66,125	181,125	162	131,220	293,220
116	67,280	183,280	163	132,995	295,995
117	68,445	185,445	164	134,480	298,480
118	69,620	187,620	165	136,125	301,125
119	70,805	189,805	166	137,780	303,780
120	72,000	192,000	167	139,495	306,495
121	73,205	192,205	168	141,120	309,120
122	74,420	196,420	169	142,805	311,805
123	75,645	198,645	170	144,500	314,500
124	76,880	200,880	171	146,205	317,205
125	78,125	203,125	172	147,920	319,920
126	79,380	205,380	173	149,645	322,645
127	80,645	207,645	174	151,380	325,380
128	82,920	209,920	175	153,125	328,125
129	83,205	212,205	176	154,880	330,880
130	84,560	214,560	177	156,645	333,645
131	85,805	216,805	178	158,420	336,420
132	87,120	219,120	179	160,205	339,205
133	88,445	221,445	180	162,000	342,000
134	89,780	223,780	181	163,808	344,808
135	91,125	226,125	182	165,620	347,620
136	92,480	228,480	183	167,445	350,445

<sup>1</sup>  $E$  и  $E_1$  — уширения

Продолжение табл. 77

$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$	$b$ или $c$	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$
184	169,280	353,280	193	186,245	379,245
185	171,125	356,125	194	188,180	382,180
186	172,980	358,980	195	190,125	385,125
187	174,845	361,845	196	192,080	388,080
188	176,720	364,720	197	194,045	391,045
189	178,605	367,605	198	196,020	394,020
190	180,500	370,500	199	198,005	397,005
191	182,405	373,405	200	200,000	400,000
192	184,320	376,320			

<sup>1</sup>  $E$  и  $E_1$  — уширения

Благодаря применению парабол и закруглений в разрезающем калибре, закругления левой и правой сторон пересекаются, вследствие чего врезы получаются менее глубокими и возможно обойтись одним разрезающим калибром вместо двух.

Очертание 8-го калибра представлено на рис. 100.

В случае, когда для данного профиля приходится исходить из вполне определенного размера заготовки и вести процесс в определенное число пропусков, наиболее подходящее в данных условиях производства, применяют несколько иной метод калибровки.

Если задаться исходным сечением  $Q_0$  и конечным сечением

$Q_1$  и в то же время определенным числом пропусков, то можно найти по известной формуле средний коэффициент вытяжки. Однако вместо коэффициента вытяжки оперируют с коэффициентом уменьшения сечения  $f$ , подразумевая под таковым отношение

$$f = \frac{1}{\mu}$$

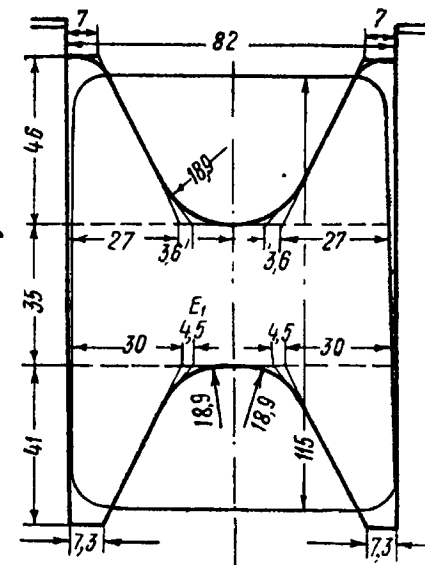


Рис. 100. Разрезной калибр

Для того, чтобы не отступать от принятого в этой книге способа расчета по коэффициенту вытяжки, изложение этого метода сведем к принятому нами<sup>1</sup> способу.

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре должен быть мал и не должен зависеть от числа пропусков, поэтому для определения среднего коэффициента вытяжки будем исходить из сечений  $Q_2$  и  $Q_n$ ; число пропусков, за исключением чистового, будет  $n-1$ .

Отсюда средний коэффициент вытяжки

$$\mu_m = \sqrt[n-1]{\frac{Q_n}{Q_2}}$$

Предположим, что определенный таким образом средний коэффициент вытяжки  $\mu_m = 1,333$ . Разумеется, работать с постоянным коэффициентом вытяжки нельзя, так как в последних пропусках возникают значительные напряжения. К сожалению, до сих пор не выработано теоретически обоснованного способа распределения постепенно возрастающих вытяжек между пропусками, однако ясно, что произведение всех вытяжек должно быть равно  $\mu_m^{n-1}$ .

Это делается следующим образом:  $\mu = 1,333$  отвечает  $f = \frac{1}{1,333} = 0,75$ , а уменьшение сечения равно  $1 - 0,75 = 0,25$ , или 25%. За  $n-1$  пропусков, например за  $7-1=6$  пропусков, имеем уменьшение сечения, равное  $6 \cdot 25 = 150\%$ .

Эту сумму распределяют, например, так:

	%	$f$	$\mu$
От 2 к 3 калибру . . . . .	22	0,78	1,28
» 3 » 4 » . . . . .	23	0,77	1,30
» 4 » 5 » . . . . .	24	0,76	1,317
» 5 » 6 » . . . . .	25,5	0,745	1,34
» 6 » 7 » . . . . .	27	0,73	1,37
» 7 » заготовке . . . . .	28,5	0,715	1,40
Сумма . . . . .	150,0		$5,62 = 1,333^6$

Выбор коэффициента  $\mu$  для разрезающего 7-го калибра определяется диаметром валков, углом захвата, мощностью двигателя и числом оборотов валков.

Найденные коэффициенты по закону равенства коэффициентов вытяжки отдельных частей профиля дают возможность опре-

<sup>1</sup> А. П. Виноградовым.

делить сечения фланцев и сечения шеек в каждом калибре, а именно:

$$Q_3 = \mu_2 Q_2; Q_4 = \mu_3 Q_3 \text{ и т. д. } S_3 = \mu_2 S_2 \text{ и т. д.}$$

Размеры фланцев определяются по формулам (для несвязанных калибров):

$$m = \frac{Q}{h},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{x - \frac{h}{2}},$$

$$b = x \operatorname{tg} \alpha,$$

$$a = (x - h) \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $x$  — положение конструкционной точки, а все прочие обозначения — принятые ранее.

Для связанных калибров в трехвалковом стане следует, кроме того, иметь в виду тождество сопряженных калибров, как было указано ниже.

Итак, в основе калибровки по этому методу лежит подбор коэффициентов вытяжек на-глаз, поэтому рекомендуется полученные результаты проверить по правилу [30]

$$d_y = d_x + \frac{d_x^2}{200}; \quad \mu = \frac{d_y}{d_x} = 1 + \frac{d_x}{200}$$

и допускать отступление от этой формулы не более как на 5% в сторону увеличения. В случае большего отклонения следует произвести новое распределение  $\mu$  или же изменить число пропусков.

Приведем пример калибровки балки № 10 на стане  $D = 650$  мм в пять пропусков и на стане  $D = 500$  мм в семь пропусков [60].

Прокатка в пять пропусков (табл. 78). Обжимной стан  $D = 650$  мм выпускает заготовку  $88 \times 75$  мм. Мощность двигателя — 2000 л. с.;  $n = 70-80$  об/мин.; маховик 65 т.

Столь мощный стан допускает прокатку в пять пропусков. При этом прокатку можно вести в трехвалковом стане только в несвязанных ручьях.

Сечение готового профиля  $Q_1 = 1087$  мм<sup>2</sup>. Коэффициент вытяжки

$$\mu_1 = 1,177; f = 85\%; Q_2 = 1087 \cdot 1,177 = 1280 \text{ мм}^2.$$

Сечение фланцев

$$Q_{1ф} = 158,7 \text{ мм}^2 \text{ и } Q_{2ф} = 158,7 \cdot 1,177 = 187 \text{ мм}^2.$$

Сечение шейки

$$q_1 = 452 \text{ мм}^2 \text{ и } q_2 = 452 \cdot 1,177 = 532 \text{ мм}^2.$$

Калибровка балки № 10 в пять пропусков

№ калибра	а %	μ	Q мм <sup>3</sup>	Q <sub>ф</sub> мм <sup>3</sup>	q мм <sup>3</sup>	B мм	R мм	Открытый фланец				Закрытый фланец				Шейка	
								a мм	b мм	h мм	tg α	d мм	c мм	h мм	tg α	S мм	
1	(15)	(1,177)	1987	158,7	452	100,5	4,5	5,3	8,5	23	0,14	5,3	8,5	23	0,14	4,5	
2	26	1,352	1290	187	532	99	5,4	6,2	10,1	23	0,17,2	4,6	8,75	28	0,1484	5,37	
3	26	1,352	1730	252,5	720	97	7,4	6,2	11,8	28	0,2004	6,6	12,1	27	0,2056	7,42	
4	37,7	1,606	2336	341	972	95	10,25	8,9	16,4	27	0,2777	6,7	14,6	32	0,2478	10,25	
5	43,2	1,762	3750	—	—	92	—	—	Разрезающий	—	—	—	—	—	—	18,0	
Заготовка	132,9	5,165	6600	—	—	88	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Таблица 79

Калибровка балки № 10 в семь пропусков

№ калибра	а %	f	Q, мм <sup>3</sup>	Q <sub>ф</sub> мм <sup>3</sup>	q мм <sup>3</sup>	B, мм	r мм
1	15	0,85	1087	158,7	452	100,5	4,5
2	23	0,77	1280	187,0	532	99	5,4
3	24,5	0,775	1663	243,0	691	97	7,0
4	25	0,75	2204	322,0	916	95	9,6
5	26	0,74	2938	429,5	1220	92,5	12,5
6	30	0,70	3970	580,5	1648	89,5	18,4
7	23,1	0,769	5670	—	—	86	—
Заготовка	—	—	7380	—	—	82	—

Сечение заготовки

$$Q_n = 88 \cdot 75 = 6600 \text{ мм}^2; \quad n - 1 = 4.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu_m = \sqrt[4]{\frac{6600}{1280}} = 1,51;$$

$$f_m = 0,6636 \text{ и } a_m = 33,64\%.$$

Вычисление площадей и закруглений приведем в таблице на основе распределения коэффициента вытяжки при условии, чтобы их произведение было равно  $\mu_m$ ;  $\Sigma a = 4 \cdot 33,64 = 134,56\%$ .

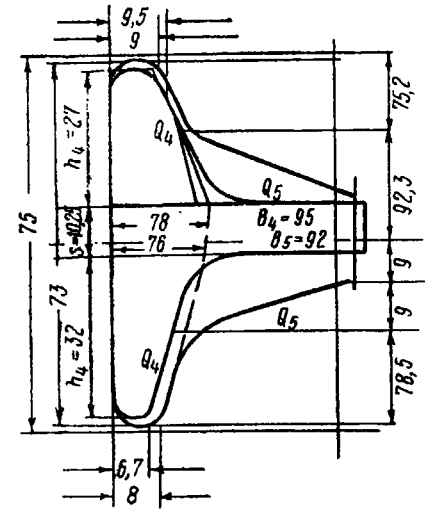


Рис. 101. Построение 5-го разрезающего калибра

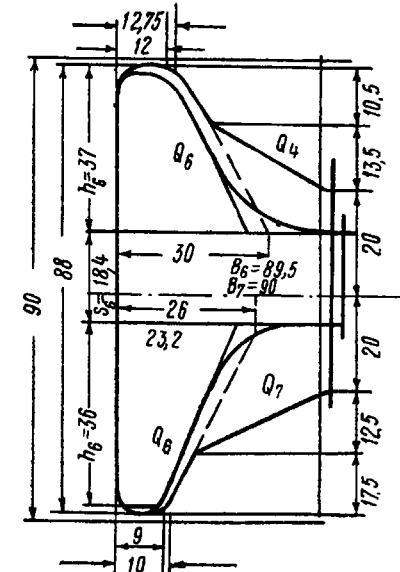


Рис. 102. Построение 7-го разрезающего калибра

Произведение  $\mu$ , а именно  $1,352 \cdot 1,352 \cdot 1,606 \cdot 1,762 = 5,165 = 1,51^4$ .

Элементы калибров вычислены по приведенным выше формулам.

$$^1 f_m = \frac{1}{\mu_m}; \quad a_m = (1 - f_m) 100\%. \text{ Ред.}$$



Построение 5-го разрезающего калибра представлено на рис. 101.

Прокатка в семь пропусков (табл. 79). Обжимной стан  $D=500$  мм выпускает заготовку  $90 \times 82$  мм. Мощность двигателя — 1500 л. с.;  $n=120$  об/мин.; маховик 40 т.

$$Q_2 = 1280 \text{ мм}^2;$$

$$Q_n = 90 \times 82 = 7380 \text{ мм}^2;$$

$$\mu_m = \sqrt[6]{\frac{7380}{1280}} = 1,34;$$

$$f_m = 0,7468; a_m = 25,3\%; \Sigma a = 6 \cdot 25,3 = 157,6\%.$$

Результаты подсчетов сведены в табл. 79.

Здесь калибры также несвязанные. Расчет аналогичен предыдущему. Угол захвата в разрезающем калибре  $27,5^\circ$ , после обточки валков до размера 475 мм —  $28,75^\circ$ .

Рекомендуется на разрезающем гребне делать насечку.

Построение 7-го разрезающего калибра представлено на рис. 102.

Приведенные выше примеры расчета калибровок двутавровых балок дают представление о применяемых для этого приемах.

Калибровка балок в двухвалковых станах, т. е. крупных номеров выше № 24, производится подобным же образом, но без применения вспомогательных калибров.

Ввиду того, что ход расчета был достаточно подробно рассмотрен при разборе калибровки балки № 10, примера калибровки балки в двухвалковом стане не приводим.

## ГЛАВА 16

### КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРА

Швеллер, или корытный профиль, как и двутавровая балка, состоит из ножки и двух фланцев, расположенных, однако, только с одной стороны ножки.

Сравнивая швеллер с балкой с точки зрения удобства для калибровки, отметим, что фланцы швеллера значительно шире, чем фланцы балки того же номера, т. е. глубже врезаются в валки. Кроме того, угол уклона их только 8% вместо 14% для балок. Вследствие этого фланцы корытного железа склонны к защемлению при прокатке и требуют применения меньших вытяжек в последних пропусках. Наконец, затруднение при прокатке представляют углы  $A$  и  $B$  (рис. 103), склонные к сильному охлаждению.

Ножка швеллера несколько толще, чем ножка балки соответствующего номера, что более благоприятно для прокатки, но зато вес погонного метра швеллера почти равен весу балки. Это в связи с увеличением числа пропусков снижает производительность стана при прокатке швеллеров по сравнению с производительностью при прокатке балок того же номера.

Указанные трудности прокатки швеллера вызвали несколько методов калибровки его, из которых главные: 1) калибровка швеллера как двутавровой балки с парой ложных фланцев, 2) калибровка из полосы с постепенным загибом фланцев. Первый метод является наиболее распространенным.

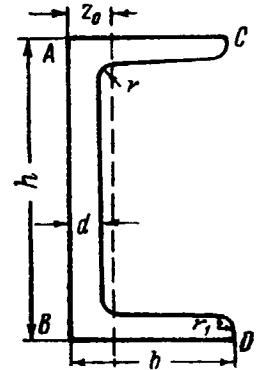


Рис. 103. Обозначение размеров швеллера

#### 1. Калибровка швеллера с ложными фланцами

В первом пропуске имеем разрезающие ручки, дающие черновой двутавровый профиль с более короткими нижними фланцами. Это, во-первых, позволяет иметь сравнительно короткие верхние фланцы, так как, выдавливая нижний (ложный) фланец вверх, можно быстро в нужный момент увеличить высоту верхних

(настоящих) фланцев, а во-вторых, наличие нижних ложных фланцев предохраняет от охлаждения углы  $A$  и  $B$  (рис. 103). Постепенно в следующих пропусках ложные фланцы уменьшаются по высоте и толщине так, что в предотделочном калибре уже совершенно отсутствуют. Чтобы ускорить переход от чистового профиля к заготовке, целесообразно конструкционную точку настоящих фланцев сохранить постоянной

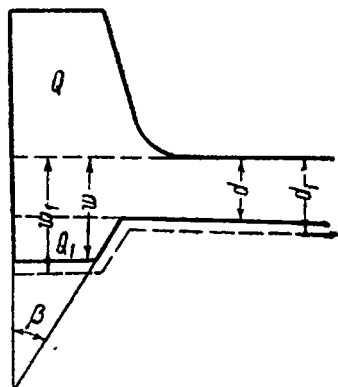


Рис. 104. Построение ложных фланцев

только для чистового и предотделочного калибров, в остальных же калибрах постепенно ее приближать к фланцам. Что же касается уклона ложных фланцев, то приближение конструкционной точки здесь следует вести более энергично, чтобы не иметь в разрезающем калибре слишком высоких фланцев.

Кроме того, вообще конструкционные точки должны лежать гораздо ближе к ложным фланцам, чем к настоящим фланцам, при этом, если положение конструкционной точки в чистовом калибре определяется  $\operatorname{tg} \alpha = 0,08$ , то положение конструкционной точки ложного фланца в последнем пропуске перед уничтожением его определяется  $\operatorname{tg} \beta = 0,7$ .

Что касается высоты ложных фланцев (рис. 104), то при расчете можно пользоваться следующей формулой:

$$w_1 = w \frac{Q_1}{Q} + 2(d_1 - d). \quad (63)$$

Здесь высота полки отсчитывается всегда от основания верхнего фланца меньшего калибра  $Q$  и  $\frac{Q_1}{Q}$  есть отношение площадей истинных фланцев в соседних калибрах.

Разрезающий калибр и первые за ним калибры можно иметь общими для двутавровых балок и швеллеров одного и того же номера, если это отвечает интересам производства, так как в первых пропусках имеет значение для профиля только ширина калибра, которая должна более или менее отвечать высоте ножки профиля. Но в этом отношении допустимы и довольно широкие отклонения в сторону меньшей ширины калибра в черновых пропусках, так как нужную высоту ножки можно получить соответствующим уширением в последующих калибрах.

Если хотят прокатывать несколько профилей различной высоты в одних и тех же черновых валках, то это достигается лучше всего сужением калибров черновых валков, т. е. применением черновых калибров наименьшего профиля для всей серии профилей путем уширения от калибра к калибру. Уширение при этом может быть настолько велико, что в одних и тех же черновых валках можно получить профили с разницей 20—30 мм по высоте, т. е. по сортаменту ОСТ из одних и тех же черновых калибров можно получить 2—3 номера швеллеров и 2—3 номера двутавровых балок.

Пользуясь сделанными указаниями, нетрудно провести расчет калибровки швеллера как двутавровой балки.

Коэффициент вытяжки в чистовом профиле можно брать 1,08 согласно формуле  $\mu = 1 + \operatorname{tg} \alpha$ .

Первый ложный фланец определяют построением, исходя из  $\operatorname{tg} \beta = 0,7$  и высоты  $w_3 = \frac{Q_3}{Q_2}$ , где значки указывают порядковый номер калибра, начиная от чистового.

Рекомендуют ложным фланцам толщину у основания и уклон придавать одинаковые с таковыми настоящих фланцев, но высоту их определяют как приблизительную сумму утяжек настоящих фланцев. Так, если утяжка равна 4 мм, а число пропусков, содержащих ложные фланцы, равно пяти, то высота первого по порядку прокатки ложного фланца должна быть  $4 \cdot 5 = 20$  мм, не меньше.

Одни авторы проектируют ложные фланцы начиная с предотделочного калибра [52]. Другие толщину ложных фланцев в их основании для последнего пропуска обычно делают равной толщине основания соответствующего настоящего фланца [58].

Все эти определения размеров ложных фланцев приводят к разным результатам в смысле их геометрических очертаний и площадей и по свидетельству соответствующих авторов дают калибровки вполне удовлетворительные. На основании анализа действующих калибровок швеллеров можно заключить, что главное, чего нужно придерживаться при определении размеров ложных фланцев (или, как их называют, противофланцев), — это чтобы суммарная площадь настоящего и ложного фланца давала коэффициент вытяжки, равный коэффициенту вытяжки шейки. В чистовом профиле при этом часто дают несколько меньший коэффициент в шейке, чтобы улучшить заполнение профиля фланца, а в остальных пропусках, наоборот, в шейке дают несколько больший коэффициент, чтобы предотвратить образование заусенцев в промежуточных профилях.

Большее значение имеет правильное положение калибра в отношении линии прокатки, чем колебания в размерах ложного фланца.

Калибровка швеллера № 24

№ набора	Лонный фланец			Настоящий фланец			$\Sigma Q$ мм <sup>2</sup>	$\Sigma \mu$	Ножка			
	$a_1$ мм	$b_1$ мм	$h_1$ мм	$a$ мм	$b$ мм	$h$ мм			$d$ мм	$h$ мм	$Q$ мм <sup>2</sup>	$\mu$
1	—	—	—	9,7	15,85	76,5	977	—	9,5	241,75	2297	1,06
2	15,5	18,75	—	9,75	16,75	83,0	1100	—	10,25	238	2440	1,18
3	17,0	21,5	4,5	10,75	18,75	82,0	1297	1,126	12,25	235	2878	1,20
4	18,0	26,0	6,0	11,25	21,5	86,0	1408	1,175	15,0	231	3465	1,30
5	19,0	32,0	10,0	13,0	26,0	83,75	1633	1,216	19,5	228	4436	1,3
6	20,0	40,0	16,0	14,0	30,5	86,0	1914	1,254	25,0	225	5625	1,3
7	22,0	48,0	23,0	16,0	37,0	81,5	2322	1,227	32,5	217,5	7068	1,3
8	25,0	60,0	31,0	17,0	43,0	82,5	2850	1,225	42,5	213,5	9053	1,3
9	—	—	39,0	20,0	51,0	74,0	3575	—	57,0	208,0	11856	—

Таблица 81

Суммарные коэффициенты вытяжки фланцев и коэффициенты вытяжки ножки

№ калибра	№ 30—24		№ 22		№ 20—18		№ 16—12		№ 10		№ 6 1/2—5	
	$\Sigma \mu$	$\mu$	$\Sigma \mu$	$\mu$	$\Sigma \mu$	$\mu$	$\Sigma \mu$	$\mu$	$\Sigma \mu$	$\mu$	$\Sigma \mu$	$\mu$
1	1,13	1,06	1,14	1,06	1,15	1,06	1,15	1,06	1,16	1,15	1,17	1,17
2	1,16	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19	1,21	1,22	1,23
3	1,19	1,24	1,20	1,24	1,21	1,24	1,21	1,24	1,22	1,25	1,26	1,26
4	1,22	1,30	1,23	1,30	1,24	1,30	1,24	1,30	1,25	1,33	1,34	1,35
5	1,25	1,30	1,26	1,30	1,27	1,30	1,27	1,36	1,28	1,40	1,34	1,41
6	—	—	—	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,31	1,37	1,46	1,47

Для иллюстрации соотношения указанных коэффициентов вытяжки воспользуемся приводимым ниже примером калибровки швеллера № 24 (табл. 80).

На основании анализа действующих калибровок швеллеров можно принять для первых 5—6 пропусков нашего сортамента, начиная от чистового, указанные в табл. 81 суммарные коэффициенты вытяжки ложных и настоящих фланцев  $\Sigma \mu$  и коэффициент вытяжки ножки  $\mu$ . В остальных калибрах, близких к обжиму, можно пользоваться совершенно произвольными коэффициентами вытяжки.

Пользуясь этими коэффициентами, исходя из чистового профиля, можно легко найти все площади ножек, а также суммарные площади пары фланцев: настоящего и ложного.

В 1-м и 2-м калибрах последние площади относятся только к настоящим фланцам, так как ложные здесь отсутствуют.

Начиная с 3-го калибра появляется ложный фланец, площадь которого  $Q_1$  можно принимать в процентах от суммарной площади  $Q + Q_1$  (рис. 105) по табл. 82.

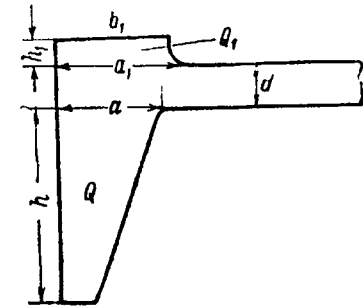


Рис. 105. Определение площади ложного фланца

Таблица 82

Площадь ложного фланца		
№ швеллера	$\frac{Q_1}{Q + Q_1} 100\%$	Отношения процентов
30—18	6	1 : 1,5 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 6 9 12 18 24 30 36 42 48
16—12	6	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 6 12 18 24 30 36 42 48
10—5	8	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 8 16 24 32 40 48 56

Определив площади первых ложных фланцев  $Q_1$  в 3-м калибре, находим площади следующих ложных фланцев, пользуясь отношениями процентов, указанными в табл. 82.

Таким образом определяются все элементы калибров вплоть до того калибра, в котором площадь  $Q_1 = Q$  (точнее, составляет  $6 \times 8 = 48\%$  от  $Q_1 + Q$ ). Такой калибр вполне пригоден также и для двутавровых балок. Зная площади элементов, нетрудно найти их геометрические размеры.

## 2. Расчет калибровки швеллера

Для примера рассчитаем калибровку швеллера № 24 и сравним результаты, приведенные в табл. 83, с данными табл. 80.

Таблица 83

Площади фланцев швеллера № 24

№ калибра	Σr	$Q + Q_1$ мм <sup>2</sup>	%	$Q_1$ мм <sup>2</sup>	$Q$ мм <sup>2</sup>
1	1,13	977	—	—	977
2	1,16	1105	—	—	1105
3	1,19	1282	6	77	1205
4	1,22	1524	9	137	1387
5	1,25	1903	12	228	1675
6	1,25	2380	18	428	1954
7	1,25	2970	24	712	2250
8	1,25	3700	30	1110	2600
9	1,2	4450	36	1600	2850

Сравнивая полученные данные с данными табл. 80, находим весьма близкое совпадение площадей как ложных, так и настоящих фланцев.

Геометрические размеры можно определять по формулам, как было показано на примере калибровки двутавровых балок,



Рис. 106. Замкнутый калибр

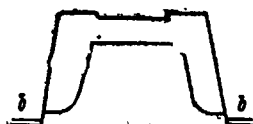


Рис. 107. Открытый калибр

и принимая во внимание сказанное выше относительно смещения конструкционной точки и размеров элементов ложного фланца.

Что касается расположения калибров, то прокатку швеллеров следует всегда вести настоящими фланцами вниз, вслед-

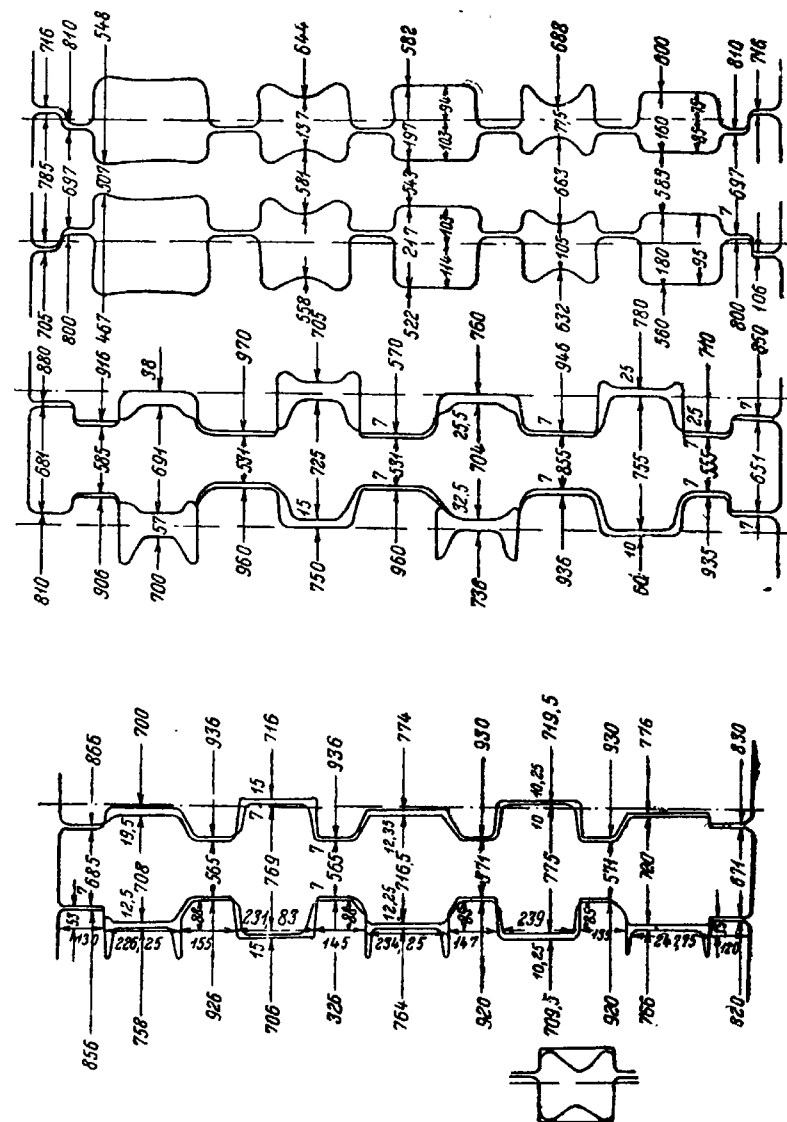
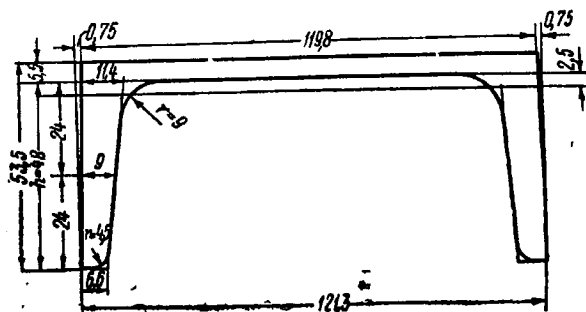
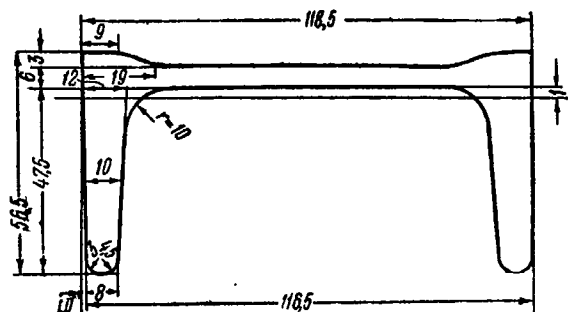


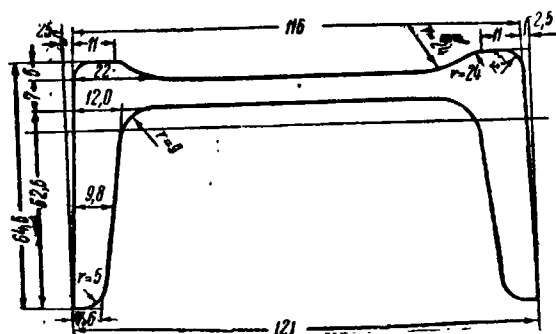
Рис. 108—109. Калибровка швеллера № 24



1-й калибр

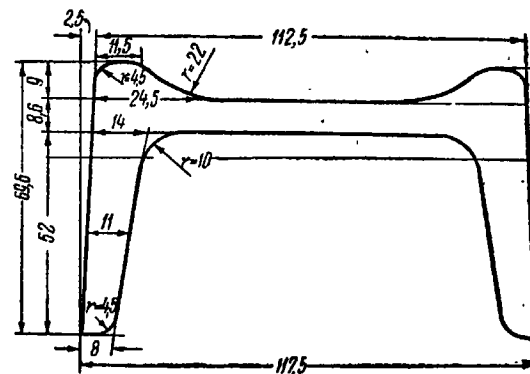


2-й калибр

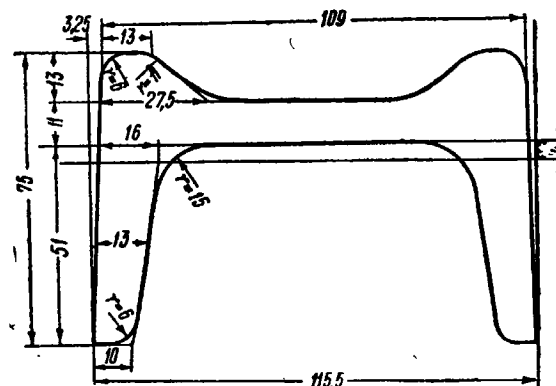


3-й калибр

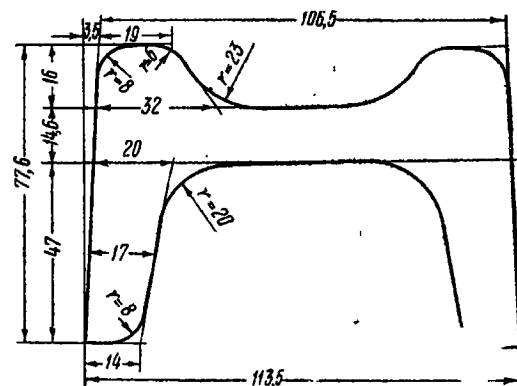
Рис. 110—112. Калибровка швеллера № 12



4-й калибр



5-й калибр



6-й калибр

Рис. 113—115. Калибровка швеллера № 12

ствие чего в трехвалковом стане прокатку можно проводить только в несвязанных ручьях.

Различают два рода калибров при прокатке швеллеров — закрытые и открытые<sup>1</sup>. В закрытых калибрах настоящие фланцы врезаны в одном валке, разрез же валков приходится в углах ложных фланцев (рис. 106). В открытых калибрах настоящие фланцы образуются ребрами разных валков (рис. 107).

Как уже было выяснено выше, толщина фланцев в закрытых калибрах не может сильно уменьшаться. В них происходит главным образом уменьшение высоты. Поэтому необходимо чередовать закрытые и открытые калибры, чтобы регулировать высоту фланцев и одновременно энергично уменьшать толщину их в открытых калибрах и давать в них сильную осадку ложных фланцев.

Сильная осадка ложных фланцев в закрытых калибрах не должна иметь места во избежание заусенцев.

В чистовом калибре одни авторы применяют исключительно закрытые калибры, другие предпочитают делать их открытыми [61], так как полагают, что в закрытом калибре при швеллере очень трудно получить острые кромки *a* (рис. 106) без образования заусенцев, а в открытом калибре — легко. В открытом калибре вследствие малого обжатия образование заусенцев при *b* (рис. 107) не должно иметь места.

В отношении швеллеров с высокими и узкими фланцами рекомендуют [61] во всех пропусках применять по возможности открытые калибры, только изредка располагая между ними закрытые для регулирования высоты фланцев.

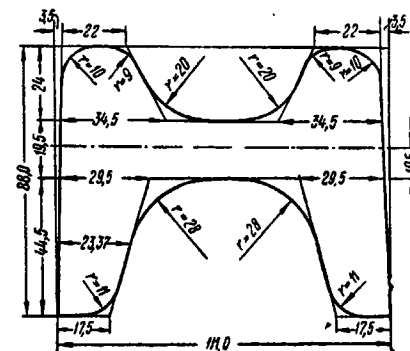
На рис. 108 и 109 приведено расположение калибров и калибровка швеллера № 24 [58].

Действующая калибровка швеллера № 12 с подробным указанием размеров и формы калибров приведена в табл. 84 и на рис. 110—118 (калибровщик А. И. Силиверстиков).

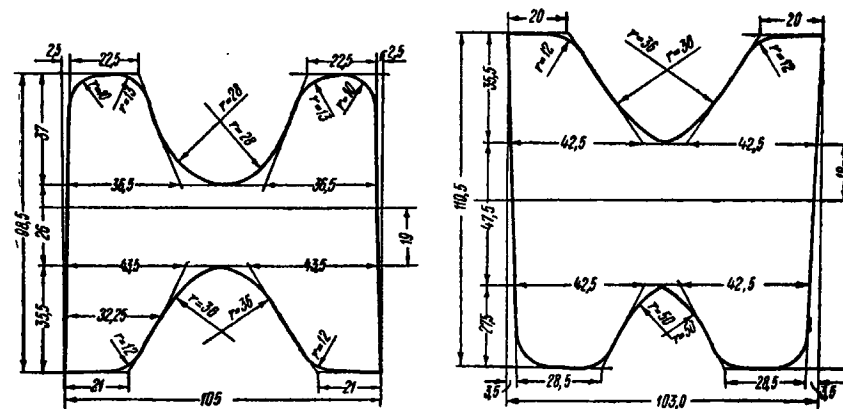
### 3. Калибровка швеллера с загибом фланцев

Метод калибровки, заключающийся в постепенном загибе фланцев на специально подготовленной полосе, применяется редко, так как калибры занимают много места на валках.

<sup>1</sup> Название определяется по положению в валках настоящих фланцев. Поэтому, например, в закрытом калибре ложный фланец помещается в открытой части калибра.



7-й калибр



8-й калибр

9-й калибр

Рис. 116—118. Калибровка швеллера № 12

Калибровка швеллера № 12

№ калибра	Лонный фланец				Настоящий фланец				$\Sigma Q$ мм <sup>2</sup>	$\Sigma \mu$	Полна				$Q_{\text{общ}}$ мм <sup>2</sup>	$\mu_n$
	$a_1$ мм	$b_1$ мм	$h_1$ мм	$Q$ мм <sup>2</sup>	$a$ мм	$b$ мм	$h$ мм	обж.- тис, %	$Q$ мм <sup>2</sup>	$\mu$	$d$ мм	$B$ мм	обж.- тис, %	$Q$ мм <sup>2</sup>	$\mu$	
1	—	—	—	—	6,6	11,4	48,0	11,0	457	1,09	914	1,15	8,0	6,58	1,10	1,12
2	9	19	3	28	8,0	12,0	47,5	—	498	1,08	1052	1,17	14,0	7,11	1,15	1,16
3	11	22	5	80	7,6	12,0	52,5	10,9	539	1,07	1238	1,20	19,0	8,15	1,20	1,20
4	11,5	24,5	9	165	8,0	14,0	52,0	15,3	580	1,19	1490	1,27	21,0	9,76	1,25	1,26
5	13	27,5	13	260	10,0	16,0	51,0	23,5	690	1,23	1900	1,31	24,0	12,21	1,30	1,31
6	19	32	16	400	14,0	20,0	47,0	27,0	850	1,29	2500	1,24	25,6	15,91	1,30	1,36
7	22	34,5	24	680	17,5	29,3	44,5	27,5	110	—	3560	1,26	25,0	20,6	1,20	1,27
8	22,5	36,5	37	1100	21,0	43,5	35,5	—	115	—	4500	—	—	26,52	—	1,25
9	20	42,5	35,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46,53	—	1,20

Заготовка из обжима 115×95 мм,  $Q = 10\,925 \text{ мм}^2$ 

На рис. 119 приведен пример калибровки валков по этому методу [58] для швеллера № 26. Утолщения на полосе сделаны для аккумуляции тепла в местах будущих угловых кромок ножки и фланцев.

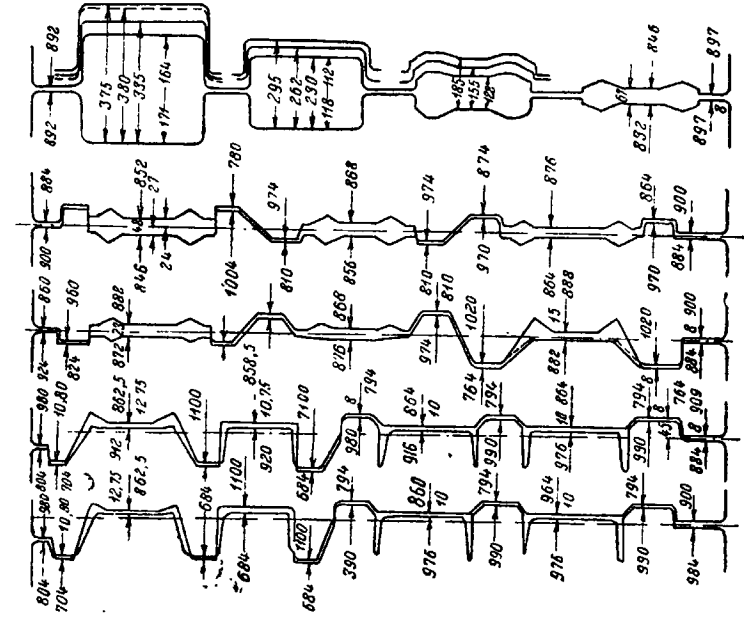


Рис. 119. Калибровка швеллера № 26 методом загиба полок

Высота исходной заготовки может быть принята равной высоте заготовки, применяемой для того же номера двутавровой балки.

## ГЛАВА 17

## КАЛИБРОВКА РЕЛЬСОВ

## 1. Особенности профиля рельсов

Рельс — один из самых сложных и несимметричных относительно поперечной оси профилей; поэтому при прокатке в нем происходит наиболее сложное течение металла из одной части профиля в другую; по этой же причине металл в нем более, чем в каком-либо другом профиле, чувствителен к появлению рванин и трещин. Ослабить указанные пороки, помимо улучшения качества металла в слитках, можно хорошим и равномерным прогревом, более равномерным распределением обжатий в отдельных местах профиля в одном и том же пропуске, особенно при пониженной температуре, а также более высокой температурой прокатки и более тщательной установкой валков.

При рассмотрении основных правил фасонной калибровки мы уже отметили, что неравномерность вытяжек, в особенности в первых пропусках, по необходимости весьма значительна и в последних пропусках она не может быть вполне устранена. Поэтому неизбежные внутренние напряжения в готовом профиле ослабляются тем, что в последних пропусках даются весьма малые вытяжки, чего особенно тщательно приходится придерживаться при калибровке рельсов.

Там, где наблюдается значительная разница в вытяжке отдельных частей профиля, необходимо придавать наиболее ответственной части, а именно головке, больший коэффициент вытяжки, чтобы растягивающие напряжения сосредоточить не в головке, а в шейке и в пяте. Обычно это правило и соблюдается. Однако чрезмерное увеличение этой разницы может при не вполне доброкачественном металле вызвать образование поперечных рванин в пяте, имеющей более низкую температуру, чем головка. Части профиля, более массивные и получающие большую вытяжку, тянут за собой менее массивные части, где вытяжка меньше. Если металл очень горяч, то он перетекает из головки в шейку и в пяту, и напряжения исчезают. Если же прокатываемый металл слишком холоден, то в головке он будет упруго сжат, а в шейке и в пяте — упруго растянут. Эта разница напряжений обнаруживается в том, что, отрезав головку рельса тотчас же после прокатки, всегда наблюдают сокра-

щение длины шейки и пяты, освобожденных от растяжения их головкой. После охлаждения рельса с правкой на холодильниках, благодаря большему сокращению головки, а также выравниванию температуры, растягивающие напряжения в шейке и пяте несколько ослабляются. Таким образом, правка на холодильниках с шаблоном должна благоприятно влиять на ослабление пороков, возникающих под влиянием внутренних напряжений и являющихся одной из причин хрупкости рельсов в их дальнейшей службе.

## 2. Схемы калибровки рельсов

Калибровка рельсов построена по схеме рис. 120.

В первом фасонном калибре полоса получает трапециoidalную (калибровки № 6, 9, 12, 13, 15 и 16) или близкую к ней

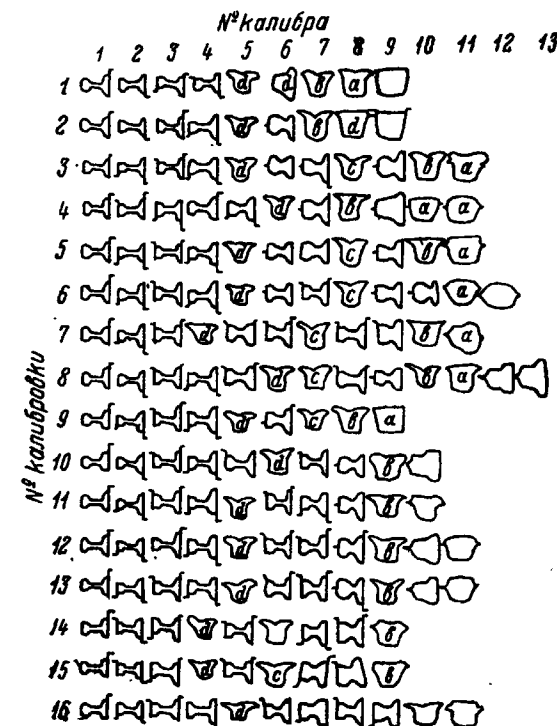


Рис. 120. Схема калибровки рельсов

форму (калибровки № 3, 5, 7, 8, 10, 11 и 14), причем широкое основание трапеции предназначено для облегчения выработки необходимой ширины пяты, а узкое основание — для выработки головки (калибровки № 3, 5, 10, 11 и 16). В следующем (иногда)



да в следующих двух) проходе (калибровки № 1, 2, 4, 8, 9, 12 и 13), большей частью в ребровом проходе (*a* и *b*), уже более определенно намечается выработка пяты; в то же время будущему рельсу дается приблизительная высота. Иногда выработка пяты начинается уже в первом калибре (калибровки № 3, 5, 7, 8, 10, 11, 14), который делается или ребровым, или пластовым. Иногда же первый ребровой калибр отсутствует.

Следующий калибр — разрезной (калибровки № 2—16), в котором профиль разрезается на три части: пяту, шейку и головку. От этого профиля в дальнейшем идет правильная калибровка, имеющая целью осуществить равномерное распределение вытяжки во всех частях профиля.

Вслед за разрезным калибром следует третий ребровой (*c*), предназначенный для тех же целей, что и первый и второй ребровой калибры; но в большинстве случаев третьему ребровому калибру предшествует опять пластовой для лучшей выработки начерно головки, шейки и пяты (калибровки № 7, 8, 10—16). Иногда для той же цели (калибровка № 16) следуют четыре пластовые калибра, не предусматривающие второго ребрового.

Для лучшей выработки фланцев пяты и уменьшения уширения по высоте рельса эти два калибра устанавливаются с наклоном оси симметрии профиля (калибровка № 15).

После третьего ребрового калибра (*c*), если он имеется, следуют опять один или два пластовых калибра (калибровки № 3, 5—7), предшествующие последнему и всегда обязательному ребровому калибру (*d*). Этот ребровой калибр в большинстве случаев является пятым с конца, реже шестым (калибровки № 4, 6, 10) или четвертым (калибровки № 7, 14, 15).

Назначение последнего ребрового калибра — придать точную высоту рельсу и в последний раз раздавить пяту.

Последние три-четыре калибра вырабатывают точный профиль рельса.

Итак, мы видим, что особенностью калибровки рельса по сравнению с балкой является не только чередование расположения открытых и закрытых калибров, заменяющее кантование полосы на 180°, но и неоднократное кантование полосы на 90° для лучшей выработки фланца пяты и высоты рельса.

Для этой цели применяются четыре, три или два ребровых пропуска (иногда называемых тавровыми), из которых последний (*d*) является самым важным и имеет почти одно и то же положение во всех калибровках. Обычно его стараются поместить в пятом или шестом пропуске от конца.

Последние четыре калибра (иногда три или пять) в большинстве случаев тождественны, но иногда второй и третий от конца располагаются с наклонной осью симметрии (калибровки № 1, 14 и 15), что облегчает и улучшает расточку валков,

а также повышает срок их службы. Кроме того, в них хорошо обрабатываются фланцы пяты, а это позволяет уменьшить число ребровых пропусков.

Уменьшение числа ребровых пропусков следует считать целесообразным, так как в них неизбежна значительная неравномерность вытяжки отдельных частей профиля, а следовательно, при понижении температуры тонких частей (в особенности фланцев пяты) — и возникновение значительных внутренних напряжений. В таком случае при не вполне однородном или недостаточно раскисленном и чистом металле возможно появление рванин во фланцах пяты рельса и в других частях профиля. Широкое применение косоугольного расположения оси симметрии калибров привело к выработке калибровки, в которой ребровые калибры (*c* и *d*) совершенно устраняются, как предложено калибровщиками А. А. Корнибером и Э. К. Крикентом. Калибровка эта представлена на рис. 121<sup>1</sup>.

На рис. 122 дана обычная калибровка.

В косоугольной калибровке (рис. 121) оставлены только два ребровых калибра *a* и *b*, из которых калибр *a* является, собственно, не ребровым, а разрезающим, наподобие первого калибра в угловом профиле. Этот калибр значительно упрощает деформацию в ребровом калибре *b*, где вытяжка фланцев может быть сравнена с общей вытяжкой профиля.

Дальнейшая выработка ширины и толщины фланцев пяты хорошо осуществляется в косо расположенных калибрах, так как фланцы поочередно обрабатываются ребрами разных калибров, а вследствие чередования пропусков фланцев в закрытых частях калибра уточняются размеры фланцев по их длине.

Раскрытие калибров, благодаря значительному уклону граней реборд, облегчает задачу полосы в калибр и позволяет свести до минимума уширение по высоте рельсов и даже в некоторых случаях делать его отрицательным для лучшей проработки материала. Изношенные грани реборд здесь легко ремонтируются, благодаря их значительному уклону.

Однако выбрать схему калибровки, дающей наибольшие возможности избежать значительных внутренних напряжений, еще недостаточно. Необходимо пропорционировать отдельные части профиля каждого калибра так, чтобы вытяжки в них были одинаковы.

Это легко осуществить на чертеже калибровки, исходя из чистового калибра и пользуясь правилами построения фланцев и шейки, применяемыми при калибровке двутавровых балок.

Правильность калибровки первых по порядку прокатки про-

<sup>1</sup> Подобная калибровка была сделана инж. С. П. Миковым на заводе им. Петровского.

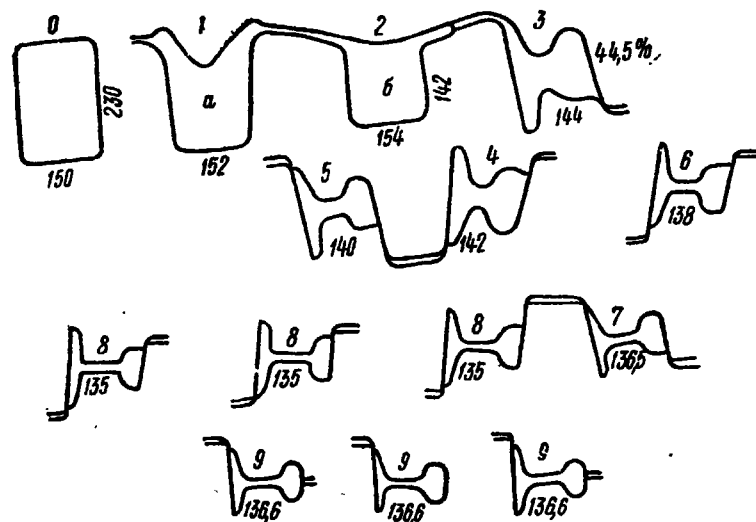


Рис. 121. Косое расположение рельсовых калибров

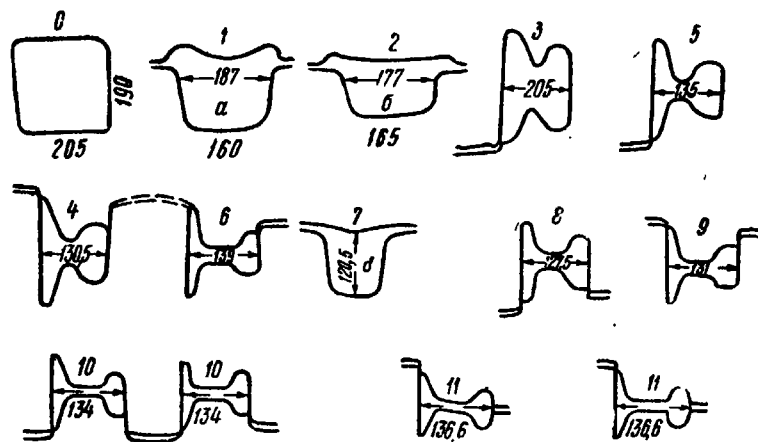


Рис. 122. Прямое расположение рельсовых калибров

пусков до калибра, предшествующего последнему ребровому калибру (d), в отношении распределения вытяжек особого значения не имеет: здесь не угрожает возбуждение опасных внутренних напряжений, так как температура металла в этих калибрах обыкновенно не ниже 1000°. Но правильность распределения вытяжек в калибрах после последнего ребрового пропуска (d) играет большую роль в отношении состояния металла после прокатки, так как в этих калибрах тонкие части — ножка и фланцы пяты — быстро охлаждаются. Обычно температура конца прокатки головки рельса колеблется в пределах 900—980°, а температура фланцев ножки, когда они находятся в калибре, около 850—930°. Но иногда температура конца прокатки головки падает до 800°, и тогда фланцы пяты могут охладиться до 750° или даже ниже. В последнем случае в рельсе могут возникнуть весьма значительные напряжения.

Наиболее опасным является последний ребровой калибр (d), в котором никогда не бывает правильного распределения вытяжек. В нем и после него при пониженной температуре прокатки и при недоброкачественном металле можно ожидать возникновения рванин и трещин.

Калибровка рельсов, как и всяких других профилей, не только имеет целью получить точный профиль и ненапряженный металл, но и преследует задачи экономического порядка: сократить парк валков и уменьшить их износ, достигнуть менее частой и более удобной переточки валков, удлинить срок службы их и т. д. Для этого пользуются ребровыми калибрами, косой калибровкой и другими приемами.

### 3. Пример калибровки рельсов

Сечение заготовки для рельсов определяют по следующим формулам:

$$H = 1,6 H_0,$$

$$B = B_0 - \sum \Delta B,$$

где  $H_0$  — ширина пяты холодного рельса,  
 $B_0$  — высота шейки горячего рельса,  
 $\sum \Delta B$  — суммарное уширение при прокатке.

В качестве примера приведем расчет калибровки рудничного рельса № 3 в пять пропусков<sup>1</sup>.

Обозначения холодного профиля даны на рис. 123.

Размеры рельса в холодном состоянии (в мм) следующие.  
 Пята:

$$h = \frac{54 - 7}{2} = 23,5 \text{ мм},$$

<sup>1</sup> Расчет сделан инж. Сарманом.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3,5} = 0,286,$$

$$x = \frac{12}{0,286} = 38,5 \text{ мм},$$

$$a = (x - h) \operatorname{tg} \alpha = (38,5 - 23,5) \cdot 0,286 = 4,29 \text{ мм},$$

$$b = x \operatorname{tg} \alpha = 38,5 \cdot 0,286 = 11,02 \text{ мм}.$$

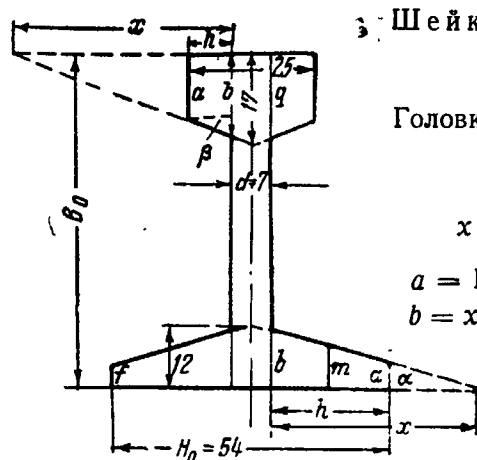


Рис. 123. Обозначение элементов рельса

Шейка:

$$B_0 = 65 \text{ мм}, \\ d = 7 \text{ мм}.$$

Головка:

$$h = 12,5 - 3,5 = 9 \text{ мм},$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,286,$$

$$x = \frac{17}{0,286} - 3,5 = 55,94 \text{ мм},$$

$$a = 17 - 12,5 \cdot 0,286 = 13,42 \text{ мм},$$

$$b = x \operatorname{tg} \beta = 55,94 \cdot 0,286 \approx 16,0 \text{ мм}.$$

Размеры готового профиля в горячем состоянии получают умножением  $h, a, b, B$  и  $d$  на 1,0125. Отсюда имеем следующие размеры.

$$h_1 = 23,8 \text{ мм}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = 0,286,$$

$$a_1 = 4,34 \text{ мм}, \quad x = \frac{b_1}{\operatorname{tg} \alpha} = 38,9 \text{ мм},$$

$$b_1 = 11,16 \text{ мм}, \quad Q_{\Pi} = \frac{1}{2} (4,34 + 11,16) \cdot 23,8 = 185 \text{ мм}^2.$$

Шейка:

$$B_1 = 65,8 \text{ мм}, \quad d_1 = 7,09 \text{ мм}, \quad Q_{III} = 65,8 \cdot 7,09 = 466 \text{ мм}^2.$$

Головка:

$$a_1 = 13,6 \text{ мм}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = 0,286,$$

$$b_1 = 16,2 \text{ мм}, \quad x = \frac{b_1}{\operatorname{tg} \alpha} = 56,8 \text{ мм}.$$

$$h_1 = 9,11 \text{ мм}, \quad Q_{\Gamma} = \frac{13,6 + 16,2}{2} \cdot 9,11 \approx 136 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь  $Q_1 = 1108 \text{ мм}^2$ .

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре примем  $\mu_1 = 1,11$ ; коэффициент  $k = \frac{1}{1,11} = 0,9$  как для всего профиля, так и для его элементов.

Находим теперь площадь элементов и полную площадь пред-отделочного калибра:

$$Q_{\Gamma II} = 1,11 \cdot 136 = 151 \text{ мм}^2 \text{ (дважды)}$$

$$Q_{\Pi II} = 1,11 \cdot 185 = 206 \text{ мм}^2 \quad \gg$$

$$Q_{III II} = 1,11 \cdot 466 = 518 \text{ мм}^2$$

$$Q_2 \approx 1232 \text{ мм}^2$$

Размер заготовки:

$$H = 1,6 \cdot 54 = 86,4 \approx 85 \text{ мм}.$$

Для определения ширины заготовки задаемся суммарным уширением  $\Sigma \Delta B = 10 \text{ мм}$ , считая на пропуск  $\sim 2 \text{ мм}$  (в среднем). Как выяснено раньше, уширение можно довольно свободно варьировать в широких пределах, так как здесь имеем дело с несвободным и вынужденным уширением.

Следовательно,

$$B = 65 - 10 = 55 \text{ мм}.$$

Итак, исходная заготовка

$$BH = 55 \times 85 \text{ мм}; \quad Q = 4675 \text{ мм}^2.$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\mu_m = \sqrt[4]{\frac{4675}{1232}} = 1,395 \text{ или } k_m = 0,717.$$

Среднее относительное уменьшение сечения:

$$a_m = 100 - 71,7 = 28,3\%.$$

Распределим получаемые  $4 \times 28,3 \approx 113\%$  между четырьмя пропусками, как показано в расчетной табл. 85.

Принимаем схему калибров без ребрового пропуска, так как точность высоты рудничных рельсов может быть выдержана менее строго, чем тяжелых. Кроме того, абсолютные давления, истирающие калибры, здесь значительно меньше, чем при прокатке тяжелых профилей, а следовательно, меньше износ валков.

Схема представлена на рис. 124. Закрытые части калибров показаны жирными линиями. В них утяжку фланцев пяты и головки принимаем 2,2—5 мм. Уширение в открытых фланцах пяты принимаем 1 мм, а в остальных частях головки — утяжку или вертикальное обжатие 1 мм.

Распределение площадей калибров по пропускам

Таблица 85

№ калибра	a %	k	μ	Q мм <sup>2</sup>	Q <sub>Г</sub> мм <sup>2</sup>	Q <sub>П</sub> мм <sup>2</sup>	Q <sub>Ш</sub> мм <sup>2</sup>	ΔB мм	B мм	d мм
1	10	0,9	1,11	1108	136	185	466	1,8	65,8	7,1
2	27	0,73	1,37	1232	151	206	518	2	64	8,1
3	29	0,71	1,41	1688	207	282	710	2	62	11,5
4	31	0,69	1,45	2377	291	397	1000	2,5	60	16,7
5	26	0,74	1,35	3445	421	576	1480	2,5	57,5	23,7
Заготовка	—	—	—	4675	—	—	—	—	55	—

Расчет размеров калибров

Таблица 86

Калибры	1	2	3	4	5
Размеры, мм	$h_I$	$h_{II}$	$h_{III}$	$h_{IV}$	$h_V$
Верхняя часть головки Верхний фланец пяты	9,1 23,8	$9,1+1=10,1$ $23,8-0,3=23,5$	$10,1+3,5=13,6$ $23,5+3,5=27$	$13,6+1=14,6$ $27-1=26$	$14,6+5=19,6$ $26+5=31$
Размеры, мм	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$
Нижний фланец головки Нижний фланец пяты	9,1 23,8	$9,1+2,9=12$ $23,8+2,2=26$	$12+1=13$ $26-1=25$	$13+5=18$ $25+5=30$	$18+1=19$ $30-1=29$

Расчет размеров приводим в табл. 86.

Прочие линейные размеры элементов калибров, кроме шеек, размеры которых указаны в табл. 85, определяем исходя из пло-

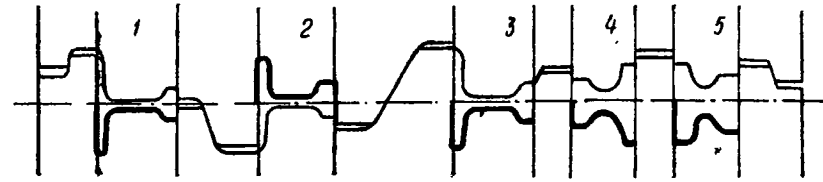


Рис. 124. Положение калибров в валках: жирными линиями наведены закрытие части калибров

щадей, положения конструкционной точки и только что найденных высот.

К а л и б р 2

Головка, верхняя часть:

$$x = 56,8 \text{ мм}$$

$$h_{II} = 10,1 \text{ мм}$$

$$Q_{Г II} = 151 \text{ мм}^2$$

$$m_{II} = \frac{Q_{Г II}}{h_{II}} = \frac{151}{10,1} = 14,95 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_{II}}{x - 0,5h_{II}} = 0,289;$$

$$a_{II} = (x - h_{II}) \operatorname{tg} \alpha = 13,5 \text{ мм};$$

$$b_{II} = x \operatorname{tg} \alpha = 16,8 \text{ мм};$$

Пята, верхний фланец:

$$x = \frac{b_I}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{11 \cdot 16}{0,286} = 38,9 \text{ мм};$$

$$h_{II} = 23,5 \text{ мм (табл. 86);}$$

$$Q_{П II} = 206 \text{ мм}^2 \text{ (табл. 85);}$$

$$m_{II} = \frac{Q_{П II}}{h_{II}} = \frac{206}{23,5} = 8,766 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_{II}}{x - 0,5h_{II}} = 0,3229;$$

$$a_{II} = (x - h_2) \operatorname{tg} \alpha = 5 \text{ мм};$$

$$b_{II} = x \operatorname{tg} \alpha = 12,6 \text{ мм};$$

Головка, нижняя часть:

$$x = 56,8 \text{ мм.}$$

$$h_2 = 12 \text{ мм.}$$

$$Q_{Г 2} = 151 \text{ мм}^2.$$

$$m_2 = \frac{151}{12} = 12,59 \text{ мм.}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m_2}{x - 0,5h_2} = 0,2487.$$

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \beta = 11,1 \text{ мм.}$$

$$b_2 = x \operatorname{tg} \beta = 14,1 \text{ мм.}$$

Пята, нижний фланец:

$$x = 38,9 \text{ мм.}$$

$$h_2 = 26 \text{ мм (табл. 86).}$$

$$Q_{П 2} = 206 \text{ мм}^2 \text{ (табл. 85).}$$

$$m_2 = \frac{206}{26} = 7,923 \text{ мм.}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m_2}{x - 0,5h_2} = 0,3059.$$

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \beta = 3,9 \text{ мм.}$$

$$b_2 = x \operatorname{tg} \beta = 11,9 \text{ мм.}$$

Таким же образом определяем размеры остальных калибров.

Все размеры сведены в табл. 87. Римскими цифрами обозначены верхние части, арабскими — нижние.

Таблица 87

Сводная таблица площадей и размеров калибров  
(пять пропусков)

№ калибра	Элементы		$m = \frac{Q}{h}$	$\operatorname{tg} \alpha$ или $\operatorname{tg} \beta$	$a$ мм	$b$ мм
	обозначения	площадь мм <sup>2</sup>				
1	$Q_{ГI}$	136	—	0,285	13,6	16,2
	$Q_{Г1}$	136	—	0,285	13,6	16,2
	$Q_{ПI}$	185	—	0,286	4,34	11,16
	$Q_{П1}$	185	—	0,286	4,34	11,16
2	$Q_{ГII}$	151	13,95	0,289	13,5	16,8
	$Q_{Г2}$	151	12,59	0,2487	11,1	14,1
	$Q_{ПII}$	206	8,766	0,3229	4,9	12,6
	$Q_{П2}$	206	7,923	0,3059	3,9	11,9
3	$Q_{ГIII}$	207	15,22	0,3044	13,2	17
	$Q_{Г3}$	207	15,92	0,3165	13,9	18,0
	$Q_{ПIII}$	282	10,44	0,4112	4,9	16,0
	$Q_{П3}$	282	11,28	0,4273	5,94	16,6
4	$Q_{ГIV}$	291	19,93	0,4027	17,0	17,0
	$Q_{Г4}$	291	17,12	0,3544	14,1	20,0
	$Q_{ПIV}$	397	15,27	0,3895	7,6	22,9
	$Q_{П4}$	397	13,70	0,5611	5,6	21,8
5	$Q_{GV}$	424	21,18	0,457	17,0	26,0
	$Q_{Г5}$	424	22,31	0,468	17,7	21,1
	$Q_{ПV}$	576	18,58	0,794	6,3	30,9
	$Q_{П5}$	576	19,86	0,833	8,1	32,4

Правильность выбранных коэффициентов вытяжки, а следовательно, размеров калибров и числа пропусков, проверяется по правилу  $d_y = d_x + \frac{d_x^2}{200}$  (рис. 92). Если отступления будут превышать 5% против данных расчетной табл. 77, то необходимо будет изменить коэффициенты и число пропусков.

Подставляя вместо  $d_y$  и  $d_x$  значение  $b$  из открытой в закрытую часть, например, для 5-го калибра, где  $d_y = 32,4$  и  $d_x = 21,8$ , находим:

$$30,9 = 22,9 + \frac{22,9^2}{200},$$

$$30,9 > 25,5.$$

Отступление больше 5%. Такое же отступление находим и для остальных калибров. Следовательно, надо увеличить число пропусков. Сделанный таким же способом расчет на семь пропусков дает после проверки удовлетворительные результаты. Эта калибровка, представленная в табл. 88 и 89, может быть принята как удовлетворительная.

Для этого случая имеем

$$\mu_m = \sqrt[6]{\frac{4675}{1,25}} \approx 1,24 \text{ или } k_m = 0,805.$$

Среднее относительное уменьшение сечения

$$a_m = 100 - 80,5 = 19,5\%.$$

Распределяем  $6 \cdot 19,5 = 117\%$  на шесть неравных частей, как указано в табл. 88.

Таблица 88

Распределение площадей на 7 калибров

№ калибра	$a$ %	$k$	$\mu$	$Q$ мм <sup>2</sup>	$Q_{Г}$ мм <sup>2</sup>	$Q_{П}$ мм <sup>2</sup>	$Q_{III}$ мм <sup>2</sup>	$B$ мм	$d$ мм	$\Delta B$ мм
1	10	0,90	1,11	1108	136	185	466	65,8	4,1	1,8
2	18	0,82	1,22	1232	151	206	518	65,0	8,0	1
3	10	0,90	1,11	1503	185	250	632	64,0	9,9	1,2
4	11	0,89	1,125	1670	205	275	702	62,8	11,2	1,5
5	31	0,69	1,45	1876	230	310	798	61,3	13,0	1,8
6	31	0,69	1,45	2718	333	450	1156	59,5	19,4	2
7	16	0,84	1,19	3940	483	652	1676	57,5	29,2	2,5
Заготовка	—	—	—	4675	—	—	—	55,0	—	—

Подсчеты показывают, что весьма трудно, даже за счет изменения  $h$ , всегда удовлетворить правилу  $d_y = d_x + \frac{d_x^2}{200}$ . Впрочем, уже и ранее было указано, что не всегда следует держаться параметра 200.

Исследования действующих калибровок рельсов, балок и швеллеров небольшого развеса на наших заводах показывают, что можно придерживаться зависимости

$$d_y = d_x + \frac{d_x^2}{100}$$

$$d_y = d_x + \frac{d_x^2}{60}.$$

Таблица 89

Сводная таблица площадей и размеров калибров (семь пропусков)

№ калибра	Обозначения	Q мм <sup>2</sup>	m	tg α или tg β	a мм	b мм	h мм
1	Q <sub>ГI</sub> = Q <sub>ГI</sub>	136	—	0,285	13,6	16,2	9,1
	Q <sub>ПI</sub> = Q <sub>ПI</sub>	185	—	0,286	4,34	11,6	23,8
2	Q <sub>ГII</sub>	151	14,35	0,289	13,5	16,8	10,1
	Q <sub>ГII</sub>	151	12,59	0,2487	11,1	14,1	12,0
	Q <sub>ПII</sub>	206	8,766	0,3229	4,9	12,6	23,7
	Q <sub>ПII</sub>	206	7,716	0,3026	3,7	11,8	26,7
3	Q <sub>ГIII</sub>	185	11,5	0,2383	12,5	16,0	12,4
	Q <sub>ГIII</sub>	185	14,23	0,283	12,4	16,1	13,5
	Q <sub>ПIII</sub>	250	9,07	0,362	4,1	14,1	27,7
	Q <sub>ПIII</sub>	250	9,775	0,3753	4,9	14,6	25,7
4	Q <sub>ГIV</sub>	205	15,3	0,3055	13,1	17,2	13,4
	Q <sub>ГIV</sub>	205	13,67	0,2772	11,6	15,8	17,0
	Q <sub>ПIV</sub>	275	10,09	0,3996	4,7	15,5	27,2
	Q <sub>ПIV</sub>	275	9,477	0,394	3,4	15,1	29,7
5	Q <sub>ГV</sub>	230	14,94	0,4794	12,6	17,3	15,4
	Q <sub>ГV</sub>	230	14,38	0,2946	12,0	16,8	18,0
	Q <sub>ПV</sub>	310	9,936	0,4456	3,3	16,6	31,2
	Q <sub>ПV</sub>	310	10,62	0,4369	4,1	17,0	29,2
6	Q <sub>ГVI</sub>	333	20,30	0,6622	16,9	23,7	16,4
	Q <sub>ГVI</sub>	333	15,49	0,3363	11,9	19,1	22,5
	Q <sub>ПVI</sub>	450	14,66	0,6224	5,1	24,1	30,7
	Q <sub>ПVI</sub>	450	13,35	0,6056	3,2	23,5	33,7
7	Q <sub>ГVII</sub>	483	21,09	0,4651	15,8	26,4	22,9
	Q <sub>ГVII</sub>	483	20,55	0,4276	15,2	25,4	23,5
	Q <sub>ПVII</sub>	652	18,53	0,8749	3,2	26,9	35,2
	Q <sub>ПVII</sub>	652	19,76	0,8362	5,2	35,1	33,0

Эти зависимости удовлетворяются вполне для прокатки рельса № 3 в семь пропусков. Если при этом  $d_y > d_x + \frac{d_x^2}{60}$  на 5% или имеется равенство, то калибровка удовлетворительна в смысле напряжений в закрытом фланце.

В открытом фланце  $d_y$  может быть значительно больше, так как там между ребрами разных валков нет волочения.

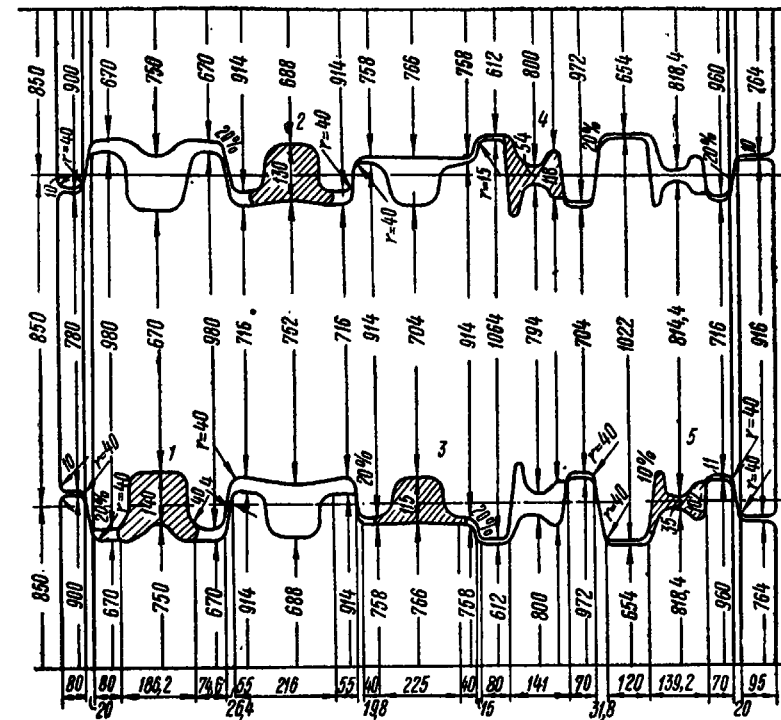
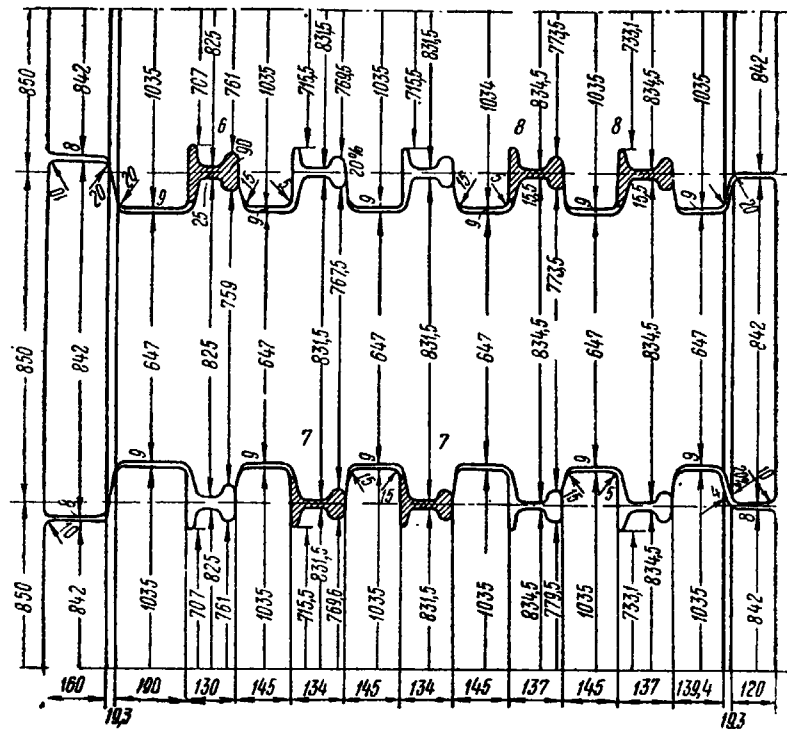


Рис. 125. Калибровка рельса. Клеть 1

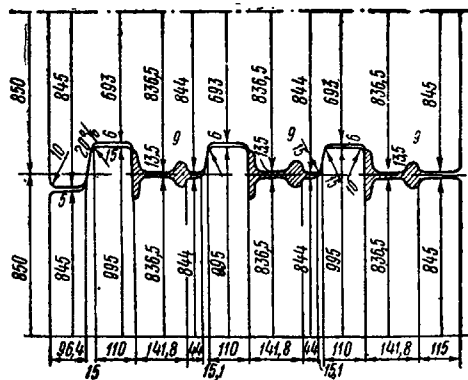
Изложенные выше методы калибровки дают возможность легко разобраться в таблицах и чертежах калибровок рельсов и других специальных профилей.

Действующая калибровка рельсов типа Р-43 приведена на рис. 125—136 (калибровщик тов. Винокуров).

Прокатка производится в трех клетях стана  $D = 800$  мм за девять пропусков. Нумерация калибров здесь сделана по ходу прокатки.

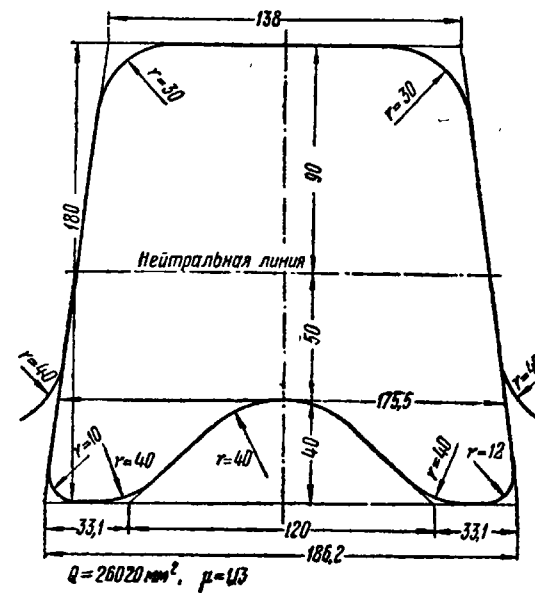


Клеть II

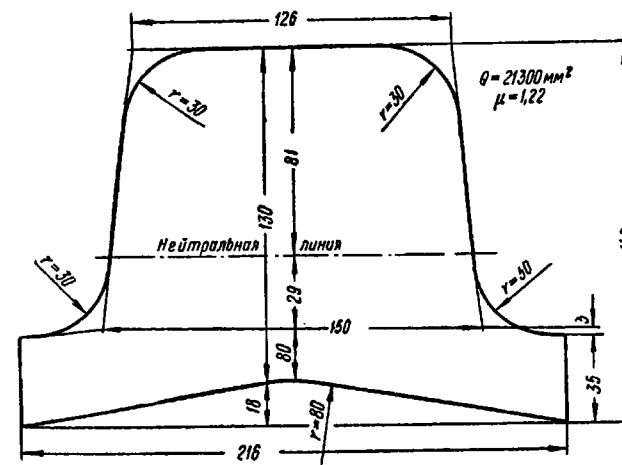


Клеть III

Рис. 126—127. Калибровка рельса

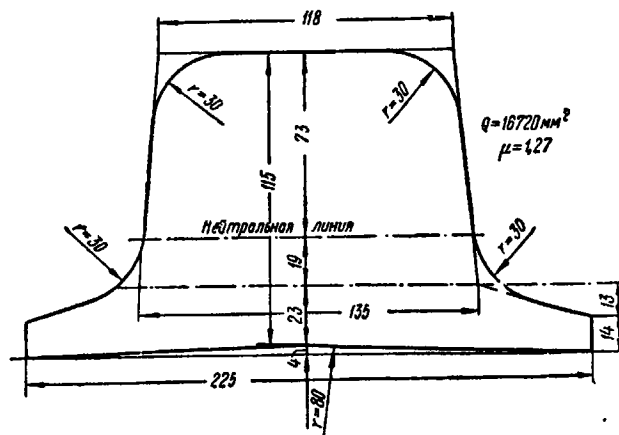


1-й калибр

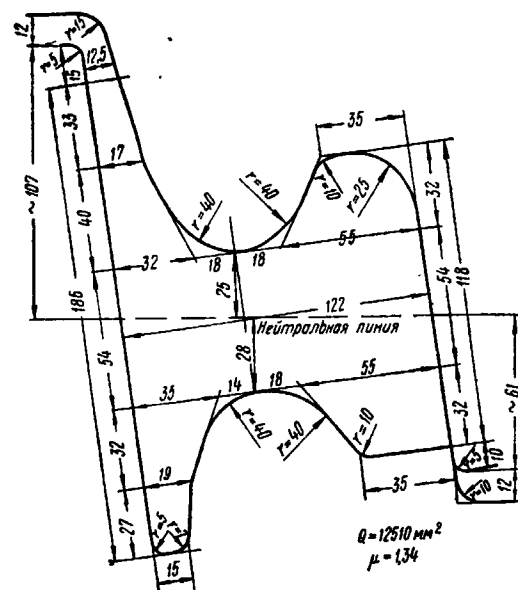


2-й калибр

Рис. 128—129. Калибровка рельса

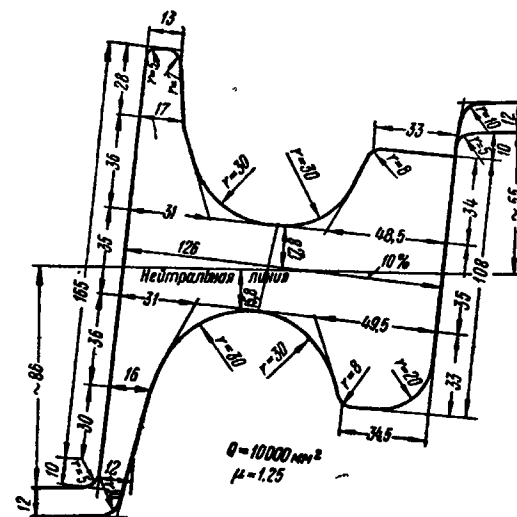


3-й калибр

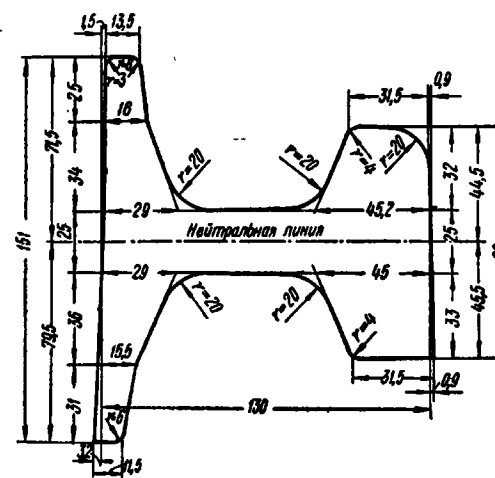


4-й калибр

Рис. 130—131. Калибровка рельса



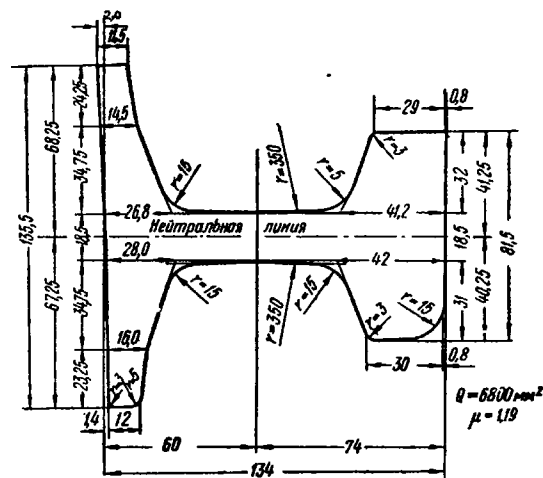
5-й калибр



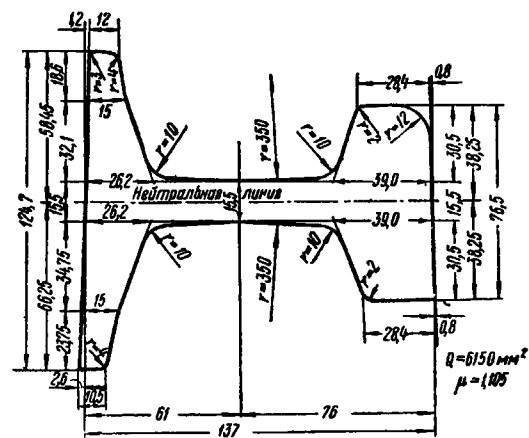
6-й калибр

Рис. 132—133. Калибровка рельса





7-й калибр



8-й калибр

Рис. 134—135. Калибровка рельса

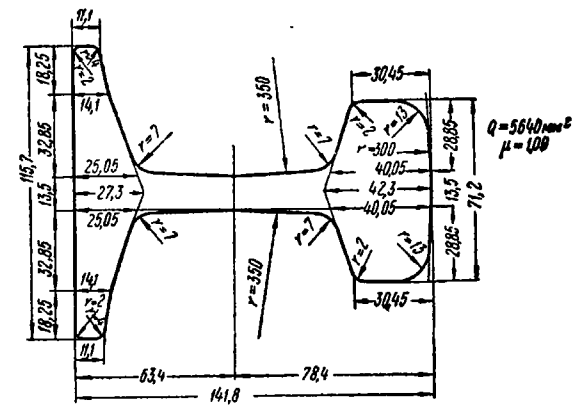


Рис. 136. Калибровка рельса. 9-й калибр — чистовой

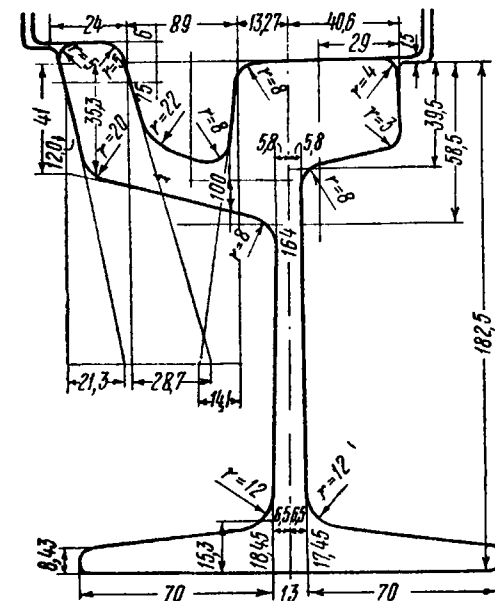


Рис. 137. Профиль желобчатого рельса

#### 4. Калибровка желобчатых рельсов

Профиль желобчатого (трамвайного) рельса значительно отличается от профиля обычного железнодорожного рельса. Как видно из рис. 137, рассматриваемый профиль имеет глубокий жолоб на головке, делящий последнюю на собственно головку и перо (губу), высокую, относительно тонкую шейку, широкую подошву с тонкими фланцами и большой периметр; он асимметричен относительно вертикальной и горизонтальной осей.

Эти особенности рельса усложняют калибровку настолько, что без специального устройства выработка профиля не может быть осуществлена.

Особенность калибровки желобчатых трамвайных рельсов заключается в выдавливании жолобка в головке рельса. Это

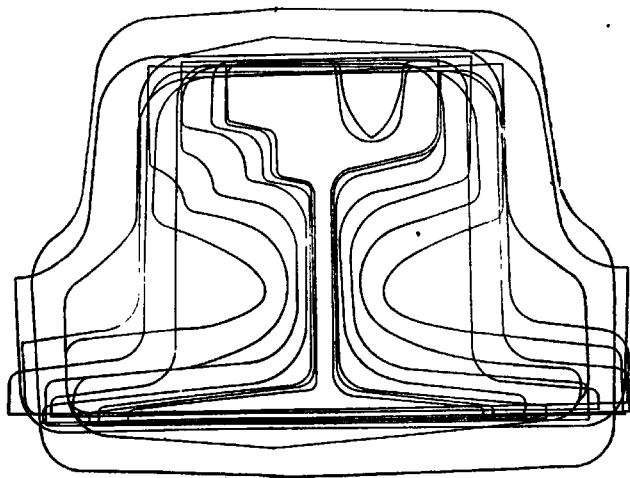


Рис. 138. Последовательное наложение обводов калибров желобчатого рельса

выдавливание производится при помощи специального ролика с вертикальной осью. При этом для образования правильного профиля ролик должен не столько вдавливаясь в металл, сколько раздвигать его. В противном случае очень трудно получить нужного размера «перо», которое или утягивается, т. е. делается короче чем следует, или, наоборот, чрезмерно удлиняется. Поэтому необходимо в последнем пропуске врезать ролик по возможности без уменьшения сечения рельса и во всяком случае строго соблюдать равенство естественных вытяжек.

Вопрос о калибровке желобчатых рельсов почти совершенно не освещен в литературе.

На рис. 138 приводится калибровка желобчатых рельсов, где жолобок образуется в последних двух пропусках нажимом ролика. В предпоследнем пропуске разрезание сопровождается вытяжкой головки, согласованной с вытяжкой пяты и шейки. В последнем пропуске ролик разрабатывает выемку также с небольшой равномерно распределенной вытяжкой всего профиля, причем происходит некоторая утяжка «пера». Для уменьшения этой утяжки следует осторожно усилить вытяжку шейки.

В табл. 90 приведены линейные размеры калибров желобчатого рельса [62].

При калибровке желобчатых рельсов требуется увеличенное число фасонных пропусков, предотвращение бокового смещения валков и пр. Большая высота профиля ослабляет прочность валков.

И. И. Кучко [63] разработал и применил на рельсобалочном стане оригинальную калибровку желобчатого рельса. Прямоугольная заготовка деформируется в ряде трапециoidalных калибров. Назначение этих калибров — интенсивное образование будущей широкой и тонкой подошвы рельса. За трапециoidalными калибрами следует не менее пяти рельсовых калибров, в которых оформляются подошва, шейка и частично головка.

В процессе разрезки головки рельса ролик, выдавливающий жолобок, воспринимает значительное давление, поэтому он должен быть укреплен весьма прочно и устойчиво.

Размещение такой конструкции между валками приводит к нерациональному использованию длины и ослаблению прочности валков, так как в этом случае большую часть длины бочки занимает разрезающее приспособление, а глубокие вырезы в теле валков, необходимые для размещения коробки, сильно уменьшают диаметр последних. Поэтому коробка с разрезающим роликом помещена между шейками валков.

Для предотвращения продольного смещения валков применен бурт на шейке валка, в качестве опоры для разрезающего приспособления. В этом случае продольное перемещение валков по отношению к ролику исключается, так как усилия, возникающие при разрезке головки и отталкивающие разрезающий ролик, уравниваются реакцией опорного бурта на тех же валках.

Приведенная ниже калибровка желобчатого рельса разработана Кучко для рельсобалочного стана с четырьмя клетями, расположенными в три линии:

1) линия 900 — одна реверсивная двухвалковая клеть; длина рабочей части валка — 2300 мм, средний диаметр валков — 940 мм, мощность двигателя — 1250 л. с.;

Линейные размеры калибров

№ прогнуса	Шейка				По	
	высота		толщина		высота	
	мм	отношение высот	мм	отношение толщин	мм	отношение высот
0	225	—	350	—	—	—
1	235	—1,04	244	+1,43	295	±0
2	190	+1,23	240	+1,02	313	—1,06
3	208	—1,09	186,5	+1,28	267	+1,17
4	169	+1,23	187	—1,00	309	—1,16
5	173	—1,02	58	+3,22	285,5	+1,08
6	171	+1,01	59	—1,02	318,5	—1,11
7	178,5	—1,04	38	+1,55	275,5	+1,16
8	182,5	+1,02	27	+1,41	264	+1,04
9	178	+1,02	28	—1,04	282	—1,07
10	179	—1,01	17,3	+1,62	248,5	+1,13
11	182	—1,02	12,5	+1,38	229,5	+1,08
12	182,5	—1,01	11	+1,14	207	+1,11
13	182,5	±1,00	10	+1,10	182	+1,14

Таблица 90

желобчатого рельса

дошва					
половина высоты		толщина у шейки		толщина у конца	
мм	отношение высот	мм	отношение толщин	мм	отношение толщин
—	—	—	—	—	—
в. 147,5 н. 147,5	±0	130 130	±0	107 107	— —
в. 156,5 н. 156,5	—1,06 —1,06	90 90	+1,44 +1,44	80 80	+1,34 +1,34
в. 133,5 н. 133,5	+1,17 ±1,17	102,5 97,3	—1,08 —1,14	70,2 67,5	+1,14 +1,18
в. 154 н. 155	—1,15 —1,16	44,5 44,5	+2,3 +2,18	36,5 36	+1,92 +1,88
в. 152,5 н. 133	+1,02 +1,16	47 46	—1,06 —1,03	33 36,5	±1,09 +1,00
в. 155,5 н. 163	—1,02 —1,22	47 46	±1,00 ±1,00	22 22	+1,50 +1,66
в. 143,5 н. 132	+1,14 +1,18	30,5 34,5	+1,54 +1,33	22 22	±1,00 ±1,00
в. 136 н. 128	—1,03 +1,12	29 30,5	+1,19 ±1,00	18 23	+1,22 —1,05
в. 144 н. 138	—1,06 —1,08	29 30,5	±1,00 ±1,00	10 10	+1,80 +2,30
в. 104 н. 144,5	+1,38 —1,05	17,5 19,5	+1,66 +1,05	10,5 8,5	—1,05 +1,15
в. 114,5 н. 115	—1,10 +1,26	16,5 18,7	+1,06 +1,04	7,7 8,5	+1,36 ±1,00
в. 87 н. 120	+1,3 —1,04	16 17	+1,03 +1,10	8 6	—1,04 +1,42
в. 82 н. 100	+1,06 +1,20	14,7 16,5	+9,09 +1,03	7 7	+1,14 —1,17

№ прокатки	Подошва		Го			
	расстояние от шейки		высота		половина высоты	
	мм	отношение расстояний	мм	отношение высот	мм	отношение высот
0	—	—	—	—	—	—
1	25,5 25,5	— —	220 —	±0	110 110	— —
2	36,5 36,5	-1,43 -1,43	215 —	+1,02	107,5 107,5	+1,02 +1,02
3	40,25 40,25	-1,10 -1,10	186,5 —	+1,15	93,25 93,25	+1,15 +1,15
4	60,5 61,5	-1,50 -1,52	184 —	+1,01	92 92	+1,02 +1,02
5	123,5 104	-2,01 -1,72	178 —	+1,03	93,5 84,5	-1,02 +1,09
6	126 133,5	-1,02 -1,28	177 —	+1,01	93 84	+1,01 +1,01
7	124,5 113	+1,07 +1,12	167,5 —	+1,06	88,5 79	-1,05 +1,18
8	122,5 114,5	-1,08 +1,09	148,5 —	+1,13	77,5 71	+1,04 +1,25
9	130 124	-1,06 -1,08	148,5 —	+1,00	77,5 71	±1,00
10	95,35 135,85	+1,06 -1,09	134 —	+1,11	62,5 71,5	+1,25 -1,01
11	108,25 108,25	-1,14 +1,25	115 —	+1,16	59,5 55,5	+1,05 +1,29
12	81,55 114,5	+1,33 -1,05	109 —	+1,05	60 49	-1,01 +1,13
3	77 95	+1,06 +1,21	109,3 —	-1,00	61,3 48	-1,02 +1,02

Продолжение табл. 90

Подошва						Жолоб	
толщина у шейки		толщина у конца		расстояние от шейки		глубина	ширина
мм	отношение толщин	мм	отношение толщин	мм	отношение расстояний	мм	мм
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0	—	—	—
—	—	—	—	0	—	—	—
—	—	—	—	0	—	—	—
—	—	—	—	0	—	—	—
—	—	—	—	0	—	—	—
97	—	77,5	—	64,5	—	—	—
97	—	72	—	55,5	—	—	—
97	±1,00	77,5	±1,00	63,5	+1,02	—	—
97	—	72	—	54,5	+1,02	—	—
82,5	+1,18	68,5	+1,05	69,5	-1,28	—	—
86,5	+1,12	68	+1,14	60	+1,06	—	—
77	+1,12	62	+1,12	64	-1,17	—	—
74	+1,11	63	+1,11	57,5	+1,21	—	—
77	±1,00	62	±1,00	63,5	+1,0	—	—
74	—	63	—	57	+1,01	—	—
69	+1,12	56,5	+1,10	53,85	+1,18	—	—
63,7	+1,16	32,5	+1,94	62,8	-1,10	—	—
59	+1,17	50	+1,13	53,25	+1,01	—	—
63,5	+1,01	32	+1,02	49,25	+1,28	—	—
57,5	+1,03	74	+1,16	54,5	-1,02	40	35
61	+1,01	31	+1,03	43,5	+1,03	—	24
56,8	+1,01	46	+1,02	56,3	-1,03	41	36
60	+1,02	29,5	+1,05	43	+1,01	—	25

2) линия 800 — две одинаковые трехвалковые клетки, расположенные в одну линию; длина рабочей части валков—1800 мм, средний диаметр — 802,5 мм, мощность двигателя — 6200 л. с.;  
3) линия 750 — одна двухвалковая клеть; длина рабочей части валка — 1100 мм, средний диаметр — 747,5 мм, мощность двигателя — 1750 л. с.

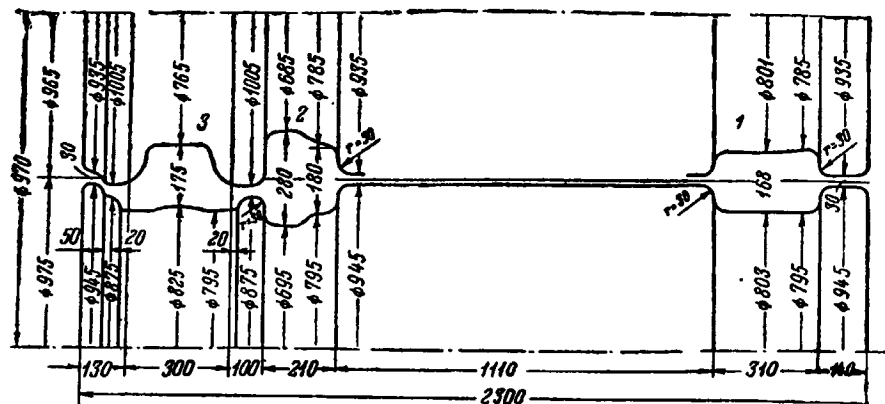


Рис. 139. Размещение калибров в клетях 900

В обжимной клетке 900 (рис. 139) имеется гладкая бочка, один ящичный калибр и два трапециевидных.

В первой клетке линии 800 размещено 5 калибров (рис. 140), а во второй клетке — 4 калибра (рис. 141).

По условиям стана, для обеспечения процесса прокатки желобчатых рельсов, в первой клетке первые два калибра (или вообще четное число калибров) должны быть трапециевидными.

Поэтому обычный монтаж (шахматное расположение пяти калибров при двух широких трапециевидных) невозможен из-за недостаточной длины рабочей части валков.

Вопрос решен здесь применением метода сопряжения фасонных рельсов калибров. Сопряжение калибров широко применяется в трехвалковых клетях только при прокатке симметричных профилей. В данном случае сопряжение третьего и четвертого калибров позволило рационально распределить нужное число калибров по клетям.

Сама калибровка желобчатого рельса выполнена по общепринятому методу для фланцевых профилей, с учетом указанных выше особенностей данного профиля.

Ввиду трудности получения подошвы с тонкими и высокими фланцами, вертикальное обжатие в закрытых фланцах значительно увеличено против обычного. Применены четыре трапециевидных калибра, в которых за счет вынужденного уширения происходит образование широкой подошвы.

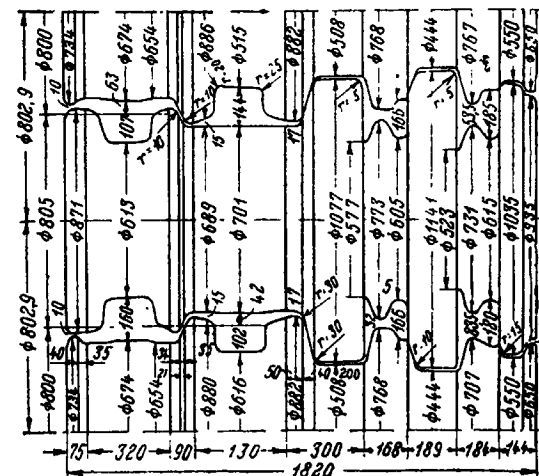


Рис. 140. Размещение калибров в первой клетке линии 800

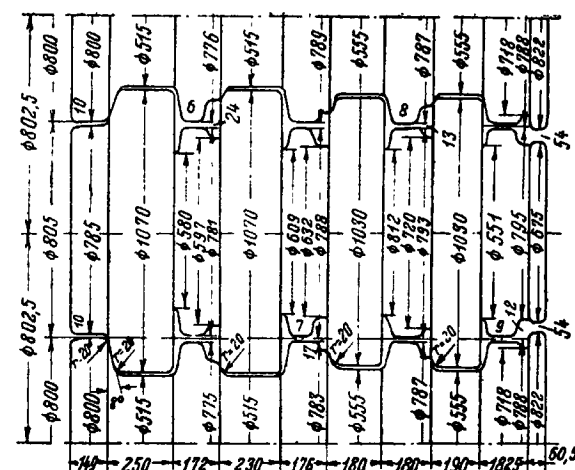


Рис. 141. Размещение калибров во второй клетке линии 800

Размещение калибров в валках линии 750 представлено на рис. 142.

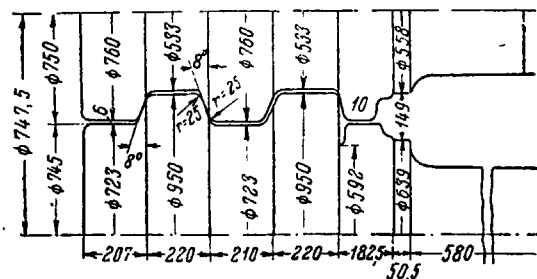


Рис. 142. Размещение калибров в чистовой клети 750

Таким образом, в этой оригинальной калибровке осуществлено сопряжение фасонных асимметричных калибров и применено расположение разрезающего ролика между шейками валков чистовой клети с остроумным способом предотвращения продольных смещений валков.

## РАСХОД ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОКАТКЕ И МОЩНОСТЬ СТАНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ<sup>1</sup>

### ГЛАВА 18

#### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТЫ ПРОКАТКИ

Разрабатывая калибровку профиля, необходимо учитывать расход энергии на прокатку и требующуюся мощность двигателя.

Точно определить расход энергии во всех случаях прокатки простых и сложных фасонных профилей из слитков или обжатой заготовки, углеродистой или легированной стали, при различных скоростях процесса и температуре металла, — все еще достаточно трудно, несмотря на большие достижения в этой области советских ученых.

Вопрос осложняется, в частности, тем, что кроме собственно работы деформации двигатель должен быть рассчитан также на выполнение:

- 1) работы на преодоление внутренних напряжений в металле, возникающих вследствие сложного перемещения его под действием неравномерного обжатия в разных частях профиля;
- 2) работы трения металла в ручьях, являющейся функцией многих переменных факторов прокатки;
- 3) работы на преодоление трения вращающихся деталей стана (работы холостого хода);
- 4) дополнительной работы на преодоление трения во время пропусков, сверх работы холостого хода;
- 5) работы ускорения движущихся частей стана.

На помощь в трудном деле теоретического определения работы прокатки приходит статистический метод исследования работы существующих прокатных станов в сочетании с анализом статистических данных при помощи аналитических методов исследования.

Такой комбинированный метод дает возможность установить некоторые практические коэффициенты, обобщение которых позволяет уже более точно определить работу прокатки и требующуюся мощность двигателей станов.

<sup>1</sup> По статье А. П. Виноградова, Расход энергии при прокатке и мощность двигателей при станах, «Металлург», 1929, № 2, 3, 4.

Перечисленные слагаемые работы прокатки можно разбить на две группы:

- 1) чистая работа прокатки  $A_ч$ , в которую входят:
  - а) работа деформации металла  $A_1$  (включая работу сложных перемещений),
  - б) работа трения металла в калибрах  $A_2$ ,
  - в) дополнительная работа трения вращающихся деталей стана  $A_3$ , вызванная давлением металла на валки во время пропусков;
- 2) работа холостого хода  $A_0$ , в которую входят:
  - а) работа на преодоление трения вращающихся деталей стана при холостом ходе  $A_4$ ,
  - б) работа ускорения вращающихся деталей стана  $A_5$ .

### 1. Теоретические методы определения работы прокатки

#### а) Работа деформации ( $A_1$ )

Для теоретического определения работы деформации при прокатке необходимо знать сопротивление металла деформации, распределение полного давления на валок по дуге захвата, направление равнодействующей этого давления в каждом отдельном случае расчетов.

Общие теоретические положения, законы и формулы, касающиеся перечисленных факторов, разрабатывались многими авторами, которым удалось внести значительную ясность в этот вопрос [15, 24, 65—78].

Не вдаваясь в подробное описание указанных работ, отметим лишь главнейшие из формул для определения работы деформации, описанные в отечественной и иностранной литературе, начиная с первых русских исследований теоретических методов расчета работы прокатки, выполненных Тиме, Верещагиным, Тонковым, Гавриленко, Германом и Петровым, Мещерским и Родзевич-Белевичем, Грум-Гржимайло и Голвиным.

Все формулы для определения работы деформации имеют общие множители  $p$ ,  $V$  и  $f(\partial)$ :

$$A_1 = pVf(\partial),$$

где  $p$  — статическое сопротивление деформации,

$V$  — объем прокатываемого металла,

$f(\partial)$  — функция деформации, различающаяся (по Павлову) в конкретном выражении у различных авторов

$$\left( \frac{H-h}{H}; \frac{H-h}{h}; \ln \frac{H}{h}; \ln \frac{L}{l} \right).$$

Формула Верещагина:

$$A_1 = \frac{2,5}{3} pV(1-k), \quad (64)$$

где  $k = \frac{1}{\mu}$  или, в случае отсутствия уширения,  $k = \frac{h}{H}$ ,

$V$  — объем слитка.

Эта формула не учитывает работы уширения, а также работы формоизменения в фасонных калибрах. Кроме того, коэффициент  $\frac{2,5}{3}$  должен быть удвоен, так как автор формулы неправильно принял, что удельное давление на одном валке равно половине удельного давления на обоих валках.

Формула Гавриленко:

$$A_1 = pV\mu\zeta, \quad (65)$$

где  $\zeta$  — коэффициент относительного уменьшения сечения  $\frac{Q-q}{Q}$ .

Аналогичные формулы дали Герман и Мещерский. Недостатком этих формул является то, что они также не учитывают уширения.

Формула Финка:

$$A_1 = pV \ln \frac{H}{h}. \quad (66)$$

Формула Финка учитывает уширение (причем работа уширения рассматривается как эквивалентная работа вытяжки), но не учитывает работы сложных истечений в фасонных калибрах. Кроме того, формула требует скоростной поправки в связи с тем, что она не учитывает опережения. В ней учитывается средняя арифметическая скорость движения переднего и заднего концов проката, которая ниже, чем горизонтальная скорость металла в критическом сечении [15]. Формула пригодна для распределения мощности двигателя по пропускам пропорционированием ее  $A_1$ .

Формула Киссельбаха:

$$A_1 = pV \ln \mu. \quad (67)$$

Формула Киссельбаха близка к формуле Финка и совпадает с последней при отсутствии уширения ( $\Delta B = 0$ ;  $\frac{H}{h} = \frac{L}{l}$ ).

Нетрудно убедиться, что разность работы прокатки, вычисленной по Финку и Киссельбаку, равна работе, затраченной на уширение:

$$pV \left( \ln \frac{H}{h} - \ln \frac{L}{l} \right) = pV \ln \frac{HL}{hl} = pV \ln \frac{b}{B} = A_{уш}.$$

Формула Прейслера в наиболее общем виде:

$$A_1 = pV \ln \frac{\ln b_n V_u^n}{l_{n-1} b_{n-1} V_u^{(n-1)}}, \quad (68)$$

где  $V_u$  — объем параллелепипеда с измерениями внешнего очертания фасонного профиля.

Формула Прейслера дает более точный, чем другие формулы, расчет работы деформации при прокатке фасонных профилей, так как учитывает работу сложных истечений металла при формоизменении полосы.

Все рассмотренные формулы, кроме формулы Верещагина, имеют один общий недостаток, а именно — все они принимают в расчет статическое сопротивление деформации  $p$ ; между тем, правильнее было бы учитывать динамическое сопротивление деформации, которое можно выразить в дополнительном множителе  $m$  (больше единицы). Кроме того, эти формулы учитывают лишь радиальные силы и не учитывают горизонтальные [15]<sup>1</sup>.

Напомним, что приведенные формулы позволяют определять только одну из составляющих полной работы прокатки — работу деформации металла в валках.

Для вычисления полной работы прокатки требуется учесть еще дополнительную работу, затрачиваемую на трение металла о валки, увеличенное трение в подшипниках в момент пропуска и холостой ход стана

#### б) Работа трения металла в калибрах ( $A_2$ )

В работе «Деформация металла при продольной прокатке в гладких валках» [79] было показано, что даже при прокатке в гладких валках металл идет со скоростью, не совпадающей с окружной скоростью валков, подвергаясь опережению и скольжению<sup>2</sup> и, следовательно, испытывая более или менее значительное трение в различных точках по дуге захвата.

Явление уширения вызывает также трение металла на поверхности соприкосновения, направленное вдоль образующей цилиндрической поверхности валков.

В случае прокатки в калиброванных валках к сказанному добавляется трение металла о боковые стенки ручьев. Здесь трение может быть выражено еще сильнее, так как различные по радиусу точки боковых стенок ручьев имеют различную окружную скорость, в то время как металл идет с постоянной скоростью во всех частях данного сечения; боковое трение мо-

жет быть сильно ослаблено или устранено вовсе, если уширение правильно рассчитано.

Если прокатка ведется в фасонных калибрах с работающими наклонными стенками, то они испытывают еще большее трение о металл, в особенности, когда обработка профиля производится с помощью бокового давления.

Таким образом, требуется значительная работа на преодоление сил трения металла о цилиндрические поверхности ручьев ( $F_{\pi}$ ) и о боковые поверхности ручьев ( $F_6$ ).

Верещагин предложил следующую формулу для определения работы трения металла в калибрах:

$$A_2 = (40 \div 60) (\mu - 1) \sqrt{P_{ст} F_{\pi}} \left( 1 + \psi \frac{0,5 S - b}{b} \right),$$

где  $\mu$  — коэффициент вытяжки,

$P_{ст} = \frac{1}{4} p F_{\pi}$  — статическое давление на валок, кг,

$p$  — сопротивление деформации, кг/мм<sup>2</sup>,

$F_{\pi}$  — цилиндрическая поверхность соприкосновения между металлом и валком, мм<sup>2</sup>,

$S$  — длина периметра калибра, мм,

$b$  — ширина калибра, мм,

$\psi$  — отношение работы трения на боковых поверхностях калибра к работе трения на цилиндрических поверхностях (табл. 91).

Таблица 91

Таблица для выбора значений  $\psi$ <sup>1</sup>

Для каких условий деформации	$\psi$
Для прокатки в гладких валках . . . . .	0
Для ручьев, плохо заполняемых, и ручьев для тонких профилей	0,5
Для ручьев толстых профилей без вынужденного уширения . .	1
То же с вынужденным уширением (угловой профиль) . . . . .	2
Для ручьев с наклонными гранями в зависимости от толщины и распределения обжатия . . . . .	1—2
Для ручьев фланцевой прокатки в зависимости от толщины и распределения обжатия . . . . .	2—3

<sup>1</sup> Обобщение формул, приведение их к четырем основным типам и критический разбор их сделаны И. М. Павловым [15]. Ред.

<sup>2</sup> В работе А. П. Виноградова [79] — «попятному движению». Г. В.

<sup>1</sup> Составлена А. П. Виноградовым; имеет приближенное значение.



в) *Дополнительная работа трения вращающихся деталей стана ( $A_3$ )*

Главными вращающимися деталями стана являются валки, шестерни и маховик (если таковой имеется).

Очевидно, что дополнительная работа трения, вызванная дополнительной нагрузкой стана — давлением металла на валки при пропуске, имеет место главным образом на шейках валков и зубьях шестерен.

Остальные слагаемые работы трения указанных вращающихся деталей стана можно принять без особой погрешности за слагаемые холостого хода, к которому относится и работа трения на шейках валков под действием собственного веса валков, муфт шпинделей.

Таким образом, для вычисления дополнительной работы трения вращающихся деталей стана достаточно определить работу трения на шейках валков под нагрузкой валков при пропуске.

Для этого можно пользоваться формулой Гавриленко:

$$A_3 = 2fP_0(l_2 - l_1) \frac{d}{D},$$

где  $f$  — коэффициент трения (при хорошей смазке равный 0,075),

$P_0$  — равнодействующая полного давления на валок, кг,

$l_1$  и  $l_2$  — длина полосы до и после пропуска, м,

$d$  — диаметр шейки валка, мм,

$D$  — рабочий диаметр валка, мм.

Определив работу  $A_3$ , производят расчет чистой работы прокатки как суммы  $A_1 + A_2 + A_3$ . Однако при этом требуется учесть дополнительную работу трения в зубьях приводных шестерен стана.

Дополнительная работа трения в зубьях шестерен в момент прохода металла между валками может быть взята как определенная часть всей чистой работы прокатки (табл. 92).

Таблица 92

Коэффициенты полезного действия передач

Тип шестерни	К.п.д. $\eta$ %	$\frac{100}{\eta} = m$
С шевронным литым зубом при угле $25^\circ$ . . . . .	95	1,050
С прямым литым зубом . . . . .	95,2	1,050
С шевронным фрезерованным зубом при угле $25^\circ$ . . . . .	97,5	1,025
С прямым фрезерованным зубом . . . . .	97,6	1,025
С шевронным фрезерованным зубом при угле $45^\circ$ . . . . .	94,9	1,05

Таким образом, дополнительная работа трения в зубьях шестерен увеличивает чистую работу прокатки  $A_{\text{ч}}$  на множитель  $m$

$$A_{\text{ч}} = m(A_1 + A_2 + A_3).$$

г) *Работа холостого хода ( $A_0$ )*

Работа холостого хода складывается из работы на преодоление сил трения под действием веса вращающихся деталей стана в подшипниках и трения в зубьях шестеренной передачи привода ( $A_5$ ), а также из работы ускорения вращающихся масс ( $A_6$ ).

Работа трения в подшипниках равна произведению веса всех вращающихся деталей стана плюс сила зажима валков во вкладышах на путь их вращения в подшипниках.

Работа трения в зубьях увеличивает работу трения в подшипниках, как показано в табл. 92.

Сила зажима шеек валков вкладышами учитывается умножением работы трения на коэффициент  $n \approx 1,25$ .

Работа ускорения вращающихся деталей стана во время холостого хода приобретает существенное значение в реверсивных станах, где после каждого пропуска требуется остановка валков, перемена направления вращения на обратное и быстрый разгон двигателя.

В станах нереверсивных, снабженных маховиком, работа ускорения движущихся деталей имеет меньшее значение, так как во время пропуска скорость вращения маховых масс падает сравнительно мало и во время пауз имеется достаточно времени, чтобы плавно восстановить требуемую скорость.

Если обозначить через  $M$  массу маховика и всех прочих маховых частей стана, приведенную к ободу маховика, через  $v_1$  — максимальную окружную скорость маховика в момент начала пропуска и через  $v_2$  — минимальную окружную скорость его в конце пропуска, то можно написать выражение живой силы для промежутка времени  $\tau$  (паузы), равной работе ускорения движущихся масс за этот период времени:

$$A_6 = M \left( \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \right).$$

В случае отсутствия маховика, например в реверсивных станах, можно вес всех маховых сил привести к диаметру валков.

В этом случае  $v_2 = 0$  и

$$A_6 = \frac{Mv_1^2}{2}.$$

### д) Определение работы прокатки по крутящему моменту

Среди теоретических методов определения работы прокатки следует отметить метод расчета расхода энергии по величине крутящего момента, для чего различными авторами было предложено несколько формул.

Не останавливаясь на всех этих формулах, достаточно полно описанных в литературе, приведем лишь наиболее точную из них.

И. М. Павлов предложил следующую формулу для определения мощности прокатки [15]:

$$N = pBD\omega v \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \text{ кгм/сек}, \quad (69)$$

где  $v$  — окружная скорость валков.

Здесь сразу определяется мощность, требующаяся на прокатку, причем учитывается не только работа деформации, но и работа трения металла о цилиндрическую часть калибра в момент пропуска. Для перехода от мощности на валках к мощности двигателя следует лишь дополнительно учесть потери на трение, а именно:

- 1) потери в подшипниках валков,
- 2) потери в передаче (трение в муфтах, шестернях и т. д.),
- 3) потери в двигателе.

Формула Павлова основана на определении крутящего момента, правильно учитывает коэффициент трения (в отличие от неверной формулы Кодрона) и дает наиболее точные результаты по сравнению с другими теоретическими методами определения расхода энергии при прокатке, так как учитывает не только радиальные, но и горизонтальные силы при прокатке.

## 2. Статистические методы определения работы прокатки

### а) Метод коэффициентов прокатки

Одним из статистических методов определения расхода энергии при прокатке является метод И. А. Тиме [80], который ввел новое понятие о «коэффициенте прокатки».

Полная работа, необходимая для прокатки металла, по Тиме выражается следующей формулой:

$$A = G(\mu_n - 1) \Delta, \quad (70)$$

где  $G$  — вес слитка (заготовки),

$\mu_n$  — коэффициент полной вытяжки за всю прокатку,

$\Delta$  — коэффициент прокатки в единицах мощности или работы на 1 т проката при  $\mu_n = 2$ , т. е. удельный расход энергии.

Коэффициент прокатки включает в себя все слагаемые полной работы прокатки и, кроме того, температуру металла по пропускам, скорость прокатки, диаметр валков и калибровку и устанавливается статистически по материалам наблюдений за работой действующих станов.

В связи с изменениями состояния техники прокатного дела коэффициент  $\Delta$  может изменяться с течением времени. Однако длительность периодов неизменного  $\Delta$  может быть весьма значительной, так как тяжелое прокатное оборудование, будучи раз установленным, очень редко подвергается существенной реконструкции.

Вполне удовлетворительную точность расчетов формула Тиме дает, если уточнить коэффициент  $\Delta$  следующим образом:

$$\Delta = k \Delta_0,$$

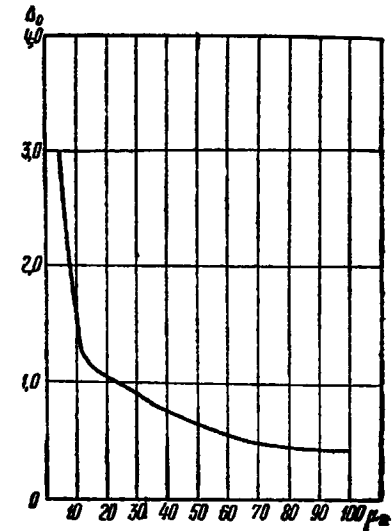


Рис. 143. Зависимость  $\Delta_0$  от  $\mu_n$

где  $k$  и  $\Delta_0$  берутся по установленным статистическим данным различными, в зависимости от вида и размеров прокатываемой продукции, а также в зависимости от коэффициента общей вытяжки  $\mu_n$  (рис. 143 и табл. 93).

Таблица 93

Значения коэффициента  $k$

Профиль прокатной продукции	$k$
Заготовка из крупных слитков (больше $200 \times 200$ мм) . . . . .	0,6—1,0 (ближе к 0,6)
Заготовка из мелких слитков ( $200 \times 200$ мм) . . . . .	0,6—1,0 ( » » 1,0)
Квадратный средне- и крупносортовый . . . . .	0,7—1,0
Круглый, полосовой, и средне- и крупносортовый . . . . .	0,7—1,4
Рельс, тавр, уголок, шпалы (более 13 кг/пог. м) . . . . .	1,4—1,6
Двутавровый, корытный (более 13 кг/пог. м) . . . . .	1,6—1,9
Квадрат и круг мелкосортный (до 0,75 кг/пог. м) . . . . .	1,6—2,4
Тавровый, угловой (менее 13 кг/пог. м) . . . . .	1,8—4,0
Двутавровый, корытный (менее 13 кг/пог. м) . . . . .	2,2—4,0
Проволока и круглый диаметром до 10 мм . . . . .	1,2—2,6

Тогда формула (70) приобретает такой вид:

$$A = G (\mu_n - 1) k \Delta_0, \quad (71)$$

где  $A$  — выражено в квт-ч,  $G$  — в т и  $\Delta_0$  — в квт-ч/т при коэффициенте общей вытяжки  $\mu_n = 2$ . Вместо определения  $k$  по табл. 93 и  $\Delta_0$  — по диаграмме рис. 143 расчет полного расхода энергии на прокатку  $A$  можно производить, беря  $\Delta$  по новейшим данным Центроремонтажа или другим опубликованным данным [81]. От этого метод расчета Тиме не изменяется.

#### б) Метод смещенного объема

Под смещенным объемом  $V_c$  при прокатке часто подразумевают произведение разницы поперечных сечений полосы до пропуска  $Q$  и после пропуска  $q$  на длину полосы до пропуска  $L_1$ :

$$V_c = (Q - q) L_1. \quad (72)$$

В этом определении кроется ошибка, так как формула (72) не учитывает уширения.

Действительный смещенный объем с учетом уширения должен определяться следующим образом:

$$V_c = (Q - q + q_y) L_1 = B_1 (H - h) L_1, \quad (73)$$

где  $q_y$  — площадь уширения,  
 $B_1$  — ширина полосы до пропуска,  
 $H$  и  $h$  — высота полосы до и после пропуска,  
 $L_1$  — длина полосы до пропуска.

Указанное выше неточное выражение (72) смещенного объема было принято Пуппе за основу при обработке статистических данных комиссии германских металлургов с целью установления коэффициентов работы прокатки.

На основании опытных данных и их статистических исследований Пуппе установил, что отношение смещенного объема при прокатке к затраченной чистой работе прокатки является для всякой данной температуры величиной, близкой к постоянной, и зависит главным образом от температуры металла.

Это отношение было названо удельным смещенным объемом:

$$\frac{V_c}{A_q} = K. \quad (74)$$

Работа собственно деформации не могла быть определена Пуппе вследствие невозможности опытным путем выделить ее из прочих слагаемых чистой работы прокатки. Между тем,

отнесение чистой работы прокатки к смещенному объему делает результаты сравнимыми лишь в том случае, если чистая работа прокатки состоит только из одной работы деформации.

В действительности смещенный объем не пропорционален поверхности соприкосновения металла с валками, а также не пропорционален работе сложного течения металла в фасонных профилях и дополнительной работе трения деталей стана. Поэтому сама идея отнесения всей чистой работы прокатки к смещенному объему, положенная в основу метода Пуппе, включает в себе источник весьма значительной приближенности метода, не говоря уже о большой неточности в определении смещенного объема.

Кроме того, трудность производства самих наблюдений за быстро текущими процессами прокатки явилась причиной недостаточной точности результатов. Поэтому повторные опыты в тождественных условиях часто приводили к сильно различающимся значениям удельного смещенного объема.

## ГЛАВА 19

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ СТАНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Мощность двигателя прокатного стана в значительной мере зависит от того, имеется при нем маховик или не имеется.

Применение маховика целесообразно в тех случаях, когда отношение продолжительности холостого хода (пауз) к продолжительности рабочего хода (пропуска) достаточно велико, и маховик может накопить запас живой силы, необходимой для срезания пик нагрузки двигателя во время каждого последующего пропуска. В этих случаях применение маховика дает возможность использовать двигатели меньшей мощности, чем при станах без маховика.

При неблагоприятном соотношении продолжительности пауз и пропусков применение маховика теряет смысл, так как в этом случае потребовались бы слишком большие маховые массы и скорости, со всеми вытекающими отсюда неудобствами в конструкции и эксплуатации прокатного стана.

В основе определения мощности станкового двигателя лежит расчет мощности для случая отсутствия маховика.

Для определения мощности двигателя применяются следующие основные методы:

- 1) метод определения максимальной мощности пропусков,
- 2) метод определения средней мощности пропусков,
- 3) статистический метод.

## 1. Метод определения максимальной мощности пропусков

Метод заключается в том, что вычисляется полная работа прокатки на главной муфте при каждом пропуске  $A$  и, вместе с тем, определяется средняя мощность пропуска  $N_{пр}$  путем деления  $A$  на время  $\tau$  пребывания металла в калибре, которое определяется из длины полосы  $l$  и скорости прокатки  $v$ :

$$\tau = \frac{l}{v} \quad \text{и} \quad N_{пр} = \frac{A}{\tau}.$$

Расчет производится для ряда профилей с наиболее тяжелыми условиями работы, т. е. с максимальными пиками нагрузки и скоростями прокатки в данном стане.

Из всех найденных  $N_{пр}$  выбирается наибольшая, которая после деления на коэффициент полезного действия двигателя и является максимальной мощностью его в случае отсутствия маховика.

Нормальная мощность двигателя  $N_{нр}$  может быть ниже вычисленной  $N_{макс}$  на 30—50%, так как электродвигатели могут выдерживать кратковременную (мгновенную) перегрузку до 250% и длительную (до 3 минут) — до 50% от нормальной мощности.

При определении этим методом средней мощности пропусков не следует забывать, что полная работа прокатки в два-три раза превышает чистую работу деформации.

## 2. Метод определения средней мощности пропусков

Метод заключается в том, что определяется суммарная работа деформации  $A_1$ , требующаяся для прокатки данной заготовки (слитка) до конечного профиля, и затем по числу прокатываемых в час заготовок  $n$  определяется средняя мощность чистой деформации:

$$N_0 = nA_1.$$

Деля  $N_0$  на коэффициент полезного действия стана  $\eta_2$ , получают нужную мощность двигателя на главной соединительной муфте в предположении непрерывности процесса:

$$N_c = \frac{N_0}{\eta_2}.$$

Под коэффициентом полезного действия стана разумеется отношение чистой работы деформации к полной работе стана, затрачиваемой во время пропуска.

Ввиду того, что процесс прокатки не является непрерывным, — для выполнения действительной мощности  $N_d$  на главной муфте необходимо  $N_c$  разделить на коэффициент полезного действия процесса  $\alpha^1$ , т. е. на отношение продолжительности всех пропусков  $\tau$  к продолжительности всей прокатки  $t$ .

Этот коэффициент  $\alpha = \frac{\tau}{t}$  колеблется в очень широких пределах — от 0,07 до 0,60, в зависимости от профиля проката, устройства стана и метода работы.

Присоединяя сюда мощность холостого хода  $N_x$  и деля сумму на коэффициент полезного действия двигателя  $\eta_1$ , получаем действительную среднюю мощность двигателя

$$N_d = \left( \frac{N_0}{\eta_2 \alpha} + N_x \right) : \eta_1. \quad (75)$$

<sup>1</sup> Это есть коэффициент машинного времени. *Ред.*

Описанный метод весьма неточен, поскольку результаты расчетов зависят от величины  $\alpha$ , колеблющейся в широких пределах.

Этот недостаток устраняется при применении такого статистического метода определения полной работы прокатки, как метод коэффициентов прокатки.

Коэффициент  $\alpha$  может быть вычислен на основе хронометража или по данным калибровки и скоростей прокатки.

### 3. Метод статистической обработки по формуле Тиме

#### а) Определение средней мощности пропусков

Статистический метод определения расхода энергии на прокатку дает возможность вычислить среднюю мощность двигателя. Для этого надо знать часовую производительность стана при нормальной прокатке, и тогда по формуле Тиме, с коэффициентами, рекомендуемыми А. П. Виноградовым, можно получить требуемый полный расход энергии в час, т. е. мощность на главной соединительной муфте, при условии непрерывности процесса:

$$A = G(\mu_n - 1) \Delta \text{ квт.} \quad (76)$$

Принимая в расчет отношение времени пребывания металла в валках ко всему времени прокатки  $\alpha$ , определяемое хронометражем или расчетом по скорости прокатки и калибровке, а также коэффициент полезного действия двигателя ( $\eta_{11} = 0,85 \div 0,90$ ), рассчитывают требующуюся среднюю мощность двигателя:

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{\eta_{11} \alpha}. \quad (77)$$

При этом предполагается, что нагрузка равномерно распределена по пропускам, чего в действительности не бывает.

Можно принять, что максимальная нагрузка превышает среднюю на 30—50%, следовательно, потребная нормальная мощность двигателя будет:

$$N_{\text{н}} = 1,3 \div 2,0 \frac{A}{\eta_{11} \alpha}. \quad (78)$$

Этот метод дает вполне удовлетворительную точность расчета.

#### б) Определение максимальной мощности пропусков

Формула Тиме, с применением предложенного способа определения коэффициента прокатки, дает возможность рассчитать лишь валовой расход энергии при прокатке за всю сумму пропусков при данной вытяжке, но не дает возможности непосредственно определить расход энергии при каждом пропуске в отдельности.

Однако можно весьма легко определить расход энергии по пропускам, если допустить, что полная работа прокатки распределяется по пропускам пропорционально затраченной в них энергии на собственно работу деформации  $A_1$ .

Это допущение должно весьма близко отвечать истине, так как среди всех других слагаемых чистой работы прокатки наибольшее значение имеет работа трения металла в ручьях  $A_2$ , но  $A_2$  несомненно в известной мере пропорциональна работе деформации  $A_1$ , определяемой по формуле (68), учитывающей работу сложных перемещений металла при прокатке фасонных профилей, или по формуле (66) для простых профилей.

Некоторую неточность вносит определение расхода энергии на холостой ход стана, обычно составляющего 10—20% от полного расхода энергии, но эта неточность большого практического значения не имеет.

### 4. Распределение расхода энергии по пропускам

В качестве примера найдем распределение расхода энергии и мощности по пропускам при прокатке заготовки углеродистой стали сечением  $100 \times 100$  мм из слитка объемом  $300 \times 300 \times 1500$  мм на блюминге  $D = 900$  мм в 15 пропусков (табл. 94).

Для определения сопротивления стали деформации  $p$  задаемся распределением температуры по пропускам, ориентируясь по практическим данным.

Для определения мощности по пропускам задаемся: 1) постоянным числом оборотов  $n = 60$  об/мин; 2) регулируемым числом оборотов от 30 до 80 об/мин.

Вес слитка  $G = 1,053$  т. Коэффициент общей вытяжки  $\mu_n = 9$ . Объем болванки  $V = 30 \times 30 \times 150 = 135\,000$  см<sup>3</sup>. Поскольку  $V$  есть величина постоянная для всех пропусков, то нет необходимости вводить ее в выражение для  $A_1$ , так как нам нужно лишь определить пропорциональный ряд для расхода энергии по пропускам, а не абсолютное значение  $A_1$ .

Для удобства вычислений умножаем числа в графе  $p \ln \frac{H'}{h}$  на 1000.

Полную работу прокатки определяем по формуле

$$A = G(\mu_n - 1) \Delta.$$

По диаграмме рис. 143 находим  $\Delta = 1,87$ . Подставляя  $G = 1,053$  и  $\mu_n = 9$ , получаем:

$$A = 1,053 \cdot 8 \cdot 1,87 = 15,8 \text{ квт-ч.}$$

<sup>1</sup> Натуральный логарифм здесь может быть заменен десятичным.

Определение расхода энергии

№ пропускa	H мм	B мм	D мм	Размеры калибров (H, B) мм	$\mu$	l мм	T°	$\frac{H}{h}$	$\ln \frac{H}{h}$	p кг/мм <sup>2</sup>	$1000 p \ln \frac{H}{h}$
1	255	303	695	1 215×307	1,165	1750	1150	1,176	0,0719	3,6	259
2	215	307	695		1,172	2050	1140	1,186	0,0756	3,8	287
3	262	218	695		1,155	2370	1130	1,172	0,0682	4,0	273
4	220	222	695		1,170	2770	1120	1,190	0,0756	4,1	310
5	184	224	749	2 151×228	1,185	3280	1110	1,206	0,0792	4,3	340
6	159	228	749		1,195	3920	1100	1,209	0,0864	4,5	389
7	190	155	749		1,165	4580	1090	1,200	0,0790	4,8	415
8	156	159	749		1,187	5430	1080	1,219	0,0864	5,1	445
9	129	160	797	3 103×164	1,200	6502	1070	1,232	0,0899	5,4	485
10	103	164	797		1,222	7960	1060	1,250	0,0969	5,7	552
11	133	107	797	4 99×111	1,187	9460	1050	1,232	0,0899	6,0	539
12	106	111	797		1,210	11450	1040	1,255	0,1003	6,4	642
13	103	108	801		1,057	12100	1030	1,078	0,0334	6,7	224
14	99	109	801		1,030	12460	1020	1,040	0,0170	7,1	121
15	100	100	800	5 100×100	1,080	13500	1010	1,090	0,0374	7,5	280
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma = 5561$	—

и мощности по пропускам

Таблица 94

A кгм	$n_1$ об/мин	$\tau_1 = \frac{l \cdot 60}{\pi D n_1}$ сек.	$N_0 = \frac{A}{75 \tau_1}$ л. с.	$n_2$ об/мин	$\tau = \frac{l \cdot 60}{\pi D n_2}$ сек.	$N_0 = \frac{A}{75 \tau}$ л. с.	$N = N_0 + N_x$ л. с.
243 000	60	0,89	4050	30	1,60	2035	2200
269 000	60	0,99	3820	30	1,88	1910	2058
256 000	60	1,10	3100	40	1,65	2070	2245
291 000	60	1,27	3050	40	1,91	2030	2205
319 000	60	1,40	3040	40	2,10	2025	2200
365 000	60	1,67	2915	40	2,50	1950	2125
390 000	60	1,95	2670	40	2,93	1775	1950
418 000	60	2,31	2415	50	2,77	2015	2190
455 000	60	2,60	2335	50	3,12	1945	2120
518 000	60	3,17	2180	50	3,80	1820	1995
506 000	60	3,77	1790	60	3,77	1790	1965
602 000	60	4,56	1760	60	4,56	1760	1935
210 000	60	4,80	587	80	3,60	778	953
114 000	60	4,96	307	80	3,72	410	685
263 000	60	5,40	650	80	4,05	866	1041
5 220 000	—	$\Sigma = 40,7$	$N_x = 190$	—	$\Sigma = 44,0$	$N_x = 175$	—

Для пересчета в кгм умножаем на  $3600 \cdot 102$ :

$$A = 15,8 \cdot 3600 \cdot 102 \approx 5\,800\,000 \text{ кгм.}$$

Примем, что холостой ход<sup>1</sup> поглощает 10% работы, т. е. 580 000 кгм, тогда

$$A = 5\,800\,000 - 580\,000 = 5\,220\,000 \text{ кгм.}$$

Суммарное значение  $p \ln \frac{H}{h} = 5561$ .

Коэффициент пропорциональности равен

$$\frac{5\,220\,000}{5561} \approx 938.$$

Умножая на этот коэффициент числа пропорционального ряда, получаем  $A$  для каждого пропуска. Вычисление следует вести с точностью до трех значащих цифр.

Определяя продолжительность каждого пропуска

$$\tau = \frac{l \cdot 60}{\pi D n},$$

находим общую продолжительность пребывания металла в валках равной 40,7 сек. Отсюда определяется и мощность холостого хода стана

$$N_x = \frac{580\,000}{40,7 \cdot 75} = 190 \text{ л. с.}$$

Мощность отдельных пропусков без мощности холостого хода определяется по формуле

$$N_0 = \frac{A}{75\tau} \text{ л. с.}$$

При постоянном числе оборотов мощность по пропускам плавно падает, причем в первых пропусках она держится около 4200 л. с. вместе с холостым ходом.

Регулирование числа оборотов, почти не удлиняя процесса, дает более равномерное распределение мощности и менее высокую максимальную мощность, что видно из последних четырех граф табл. 94. При указанном в таблице регулировании числа оборотов все пропуски имеют близкую друг к другу мощность от 2200 до 1935 л. с., за исключением трех последних пропусков малой мощности.

Этот пример показывает, какое большое значение для работы прокатки имеет регулирование числа оборотов двигателя. При регулировании числа оборотов мощность двигателя на главной соединительной муфте может быть принята 2200 л. с., между тем как при постоянном числе оборотов (60 об/мин) пришлось бы взять 4240 л. с. без изменения производительности стана ( $\Sigma \tau = 40$  сек).

<sup>1</sup> В реверсивном стане можно не учитывать.

## ГЛАВА 20

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ДВИГАТЕЛЕМ И МАХОВЫМИ МАССАМИ

Если обозначить мощность прокатки на главной соединительной муфте через  $N$ , мощность двигателя через  $N_d$  и мощность маховика через  $N_m$ , то, очевидно, можно написать:

$$N = N_d + N_m. \quad (79)$$

Разделив обе части уравнения на  $N_d$ , получим

$$\frac{N}{N_d} = 1 + \frac{N_m}{N_d}.$$

Для ориентировочного решения вопроса о величине  $N_d$  можно пользоваться данными Тиме для  $\frac{N_m}{N_d} = 0,5\beta$ , где  $\beta$  — отношение времени пауз к времени пребывания металла в валках, которое для трехвалковых станов равно от 0,5 до 1,5, а для двухвалковых станов — от 3 до 4 или определяется хронометражем.

Таким образом, мощность двигателя

$$N_d = \frac{N}{1 + 0,5\beta}. \quad (80)$$

Мощность маховика

$$N_m = 0,5\beta N_d \quad (81)$$

и зависит от веса обода маховика  $G$ , неравномерности вращения маховика  $i$ , обычно составляющей  $\frac{1}{25} \div \frac{1}{40}$ , а также от окружной скорости вращения маховика, равной обычно  $25 \div 30 \text{ м/сек}$ , но доходящей в особо прочных конструкциях до  $90 \text{ м/сек}$ .

Принцип действия системы двигатель — маховик основан на неравномерности числа оборотов стана во время пропусков и пауз.

Во время пропуска число оборотов маховика уменьшается, причем живая сила маховика производит работу вращения стана; затем во время паузы маховик, подгоняемый двигателем, увеличивает число оборотов, накапливая запас живой силы для расходования ее во время следующего пропуска.

При данном весе и диаметре маховика чем больше указанная разница скоростей, тем больше запас живой силы маховика, и наоборот.

Очевидно, при условии постоянства числа оборотов стана роль маховика становится отрицательной.

Выражение  $T_{име} \frac{N_m}{N_d}$  основано на устаревших условиях прокатного производства, поэтому приведенный прием решения задачи не всегда приводит к удовлетворительному результату.

Это объясняется тем, что средняя величина  $\beta$  может быть меньше 0,5 при прокатке с перекрытиями, а также в связи с увеличением скоростей прокатки и сокращением пауз при механизации стана.

Из выражения (79) видно, что чем меньше  $N_m$ , тем больше  $N_d$ . Из выражения (81) следует, чем меньше  $\beta$ , т. е. относительная величина пауз, тем меньше должно быть  $N_m$ , и при очень малом  $\beta$  маховик утрачивает свое положительное значение.

Пока полоса коротка (в первых пропусках) —  $\beta$  обычно велико, но по мере удлинения прокатываемой полосы время пребывания металла в калибрах увеличивается, а абсолютная величина пауз, оставаясь величиной, примерно, постоянной, дает сильное понижение  $\beta$ .

Это показывает, что положительная роль маховика понижается к концу прокатки и нагрузка на двигатель повышается.

При весьма малом значении  $\beta$  двигатель должен будет не только преодолевать сопротивление стана, но и поддерживать равномерный ход вращения маховика (всех маховых масс).

Таким образом, для правильного решения вопроса необходимо изучить нагрузку стана во времени, например, вычертить кривую нагрузки и аналитически найти наивыгоднейшее распределение работы между двигателем и маховиком.

Рассмотрим явление сначала в его простейшем виде. Предположим, что во время каждого пропуска затрачивается одна и та же работа (рис. 144)

$$A = abcd$$

и что продолжительность пребывания металла в каждом ручье  $\tau$  также одинакова, одинаковы и паузы между пропусками  $\tau_0$ .

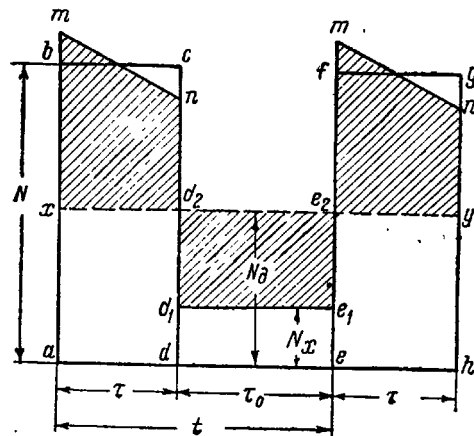


Рис. 144. Диаграмма средней мощности пропуска

Тогда продолжительность повторяющегося цикла прокатки

$$t = \tau + \tau_0.$$

Если, далее, примем, что работа внутри каждого пропуска распределена во времени равномерно, то расходуемая во время пропуска мощность  $N$ , очевидно, будет равна:

$$N = \frac{A}{\tau}. \quad (82)$$

В случае неравномерного распределения работы внутри каждого пропуска, например по кривой  $mn$  (рис. 144), очевидно, выражение (82) будет определять среднюю мощность пропуска.

В случае весьма малой продолжительности пропуска  $\tau$  достаточно ограничиваться нахождением среднего значения  $N$ , так как мгновенная перегрузка двигателя не сказывается заметно на его работе и может достигать большой величины; тем более это относится к работе маховика.

Обозначим мощность холостого хода через  $N_x$  и искомую мощность двигателя через  $N_d$ . Тогда средняя мощность, воспринимаемая маховиком, будет равна:

$$N_m = N_d - N_x$$

на основании следующих соображений.

Проведем линию  $x-y$  так, чтобы площадь  $xbcd_2$  была равна площади  $d_1d_2e_2e_1 = e_2fgy$ .

Тогда двигатель, развивая во время паузы  $\tau_0$  работу  $dd_2e_2e$ , расходует часть ее  $dd_1e_1e$  на холостой ход стана, а остальную часть  $d_1d_2e_2e_1$  отдает маховику, увеличивает число его оборотов и накапливает запас живой силы, эквивалентной площади

$$d_1d_2e_2e_1 = e_2fgy.$$

Во время второго пропуска маховик отдает накопленную живую силу  $e_2fgy$ , дополняя работу двигателя  $ee_2yh$  до потребной  $efgh$ . Очевидно, живая сила маховика, деленная на время  $\tau = \tau_0$ , равна мощности маховика  $N_m$  и, следовательно,  $N = N_d + N_m$ . Число оборотов маховика в момент задачи полосы в валки является наивысшим  $n_{макс}$ , затем во время пропуска падает до тех пор, пока не будет израсходована приобретенная во время холостого хода живая сила и тогда оно получит значение  $n_{мин}$ .

В этот момент полоса оставляет валки, и маховик вновь начинает увеличивать число оборотов от  $n_{мин}$  до  $n_{макс}$ , накапливая вновь требуемую живую силу.

Отношение

$$i = \frac{n_{макс} - n_{мин}}{n_{ср}}, \quad \text{т. е.} \quad i = 2 \frac{n_{макс} - n_{мин}}{n_{макс} + n_{мин}}$$



называется коэффициентом неравномерности вращения маховика или коэффициентом скольжения.

Коэффициентом неравномерности вращения или скольжения называют также отношение

$$i = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{v_{\max}}$$

или

$$i = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max}},$$

что значительно удобнее.

Степень неравномерности вращения или скольжения маховика вполне определяет процент отдаваемой маховиком запасенной в нем живой силы.

Действительно, пусть  $\varepsilon_1$  — запас энергии маховика в момент захвата полосы валками и  $\varepsilon_2$  — оставшийся в нем запас энергии в момент выхода полосы из валков.

Тогда

$$\varepsilon_1 = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{m}{2} \left( \frac{\pi D n}{60} \right)^2 = \frac{G}{9,81} \cdot \frac{\pi^2 D^2 n^2}{2 \cdot 60^2},$$

где  $m$  — масса маховика,

$G$  — вес маховика, кг,

$D$  — диаметр обода, м,

$n$  — число оборотов в минуту.

Приравнявая  $\pi^2 = 9,81$ , имеем

$$\varepsilon_1 = \frac{G}{2} D^2 \left( \frac{n_{\max}}{60} \right)^2 \text{ кгм.} \quad (83)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{G}{2} D^2 \left( \frac{n_{\min}}{60} \right)^2 \text{ кгм.} \quad (84)$$

Относительная отдача живой силы

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{n_{\max}^2 - n_{\min}^2}{n_{\max}^2} = \frac{n_{\max} + n_{\min}}{n_{\max}} \cdot \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max}},$$

но  $\frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max}} = i$ , а из этого выражения имеем

$$n_{\min} = n_{\max}(1 - i);$$

поэтому

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1} = i \frac{n_{\max} + n_{\max}(1 - i)}{n_{\max}} = 2i - i^2. \quad (85)$$

Таким образом, относительная отдача маховиком запасенной в нем энергии зависит только от степени скольжения  $i$ .

Живая сила, приобретаемая маховиком во время паузы, может быть выражена через окружную скорость маховика и его массу:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\pi D n_{\text{ср}}}{60} \text{ м/сек,}$$

$$v_{\max} = \frac{\pi D n_{\max}}{60} \text{ м/сек,}$$

$$v_{\min} = \frac{\pi D n_{\min}}{60} \text{ м/сек.}$$

Переменная живая сила маховика равна

$$m \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{2} \text{ кгм.}$$

Теперь можно написать равенства работ во время холостого хода (а) и во время пропуска (б):

$$\text{а) } 75 N_d \tau_0 - m \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{2} = 75 N_x \tau_0;$$

$$\text{б) } 75 N_d \tau + m \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{2} = 75 N \tau.$$

Решая эту систему уравнений относительно  $N_d$ , получим:

$$N_d = \frac{N \tau + N_x \tau_0}{\tau + \tau_0} = N \frac{1 + \frac{N_x}{N} \cdot \frac{\tau_0}{\tau}}{1 + \frac{\tau_0}{\tau}}, \quad (86)$$

но  $\frac{\tau_0}{\tau} = \beta$ , поэтому

$$N_d = N \frac{1 + \beta \frac{N_x}{N}}{1 + \beta}. \quad (87)$$

Если принять  $\beta$  в пределах от 0,5 до 1,5 и отношение  $\frac{N_x}{N}$  от 0,2 до 0,1, то получим для данного  $\beta$  крайние значения  $N_d$

$$N_d = (0,46 \div 0,73) N. \quad (88)$$

При  $\beta < 0,5$ , очевидно,  $N_d$  стремится к  $N$ , т. е. к потребной мощности двигателя без маховика.

Пользуясь формулами (86) и (87), определяем минимальное значение мощности двигателя  $N_d$ , при котором маховик получается наиболее мощным.

Но тяжелые маховики затрудняют пуск двигателя, увеличивают вредные сопротивления трения и пр. Поэтому обычно увеличивают мощность двигателя, уменьшая вес маховика. Это тем более надо делать при значительной длине прокатываемых полос или малой продолжительности пауз.

При современных проволочных и мелкосортных станах, на которых ведут прокатку весьма длинных полос и в большинстве случаев одновременно нескольких, маховик является совершенно лишним, если обжимная клеть выделена в отдельную

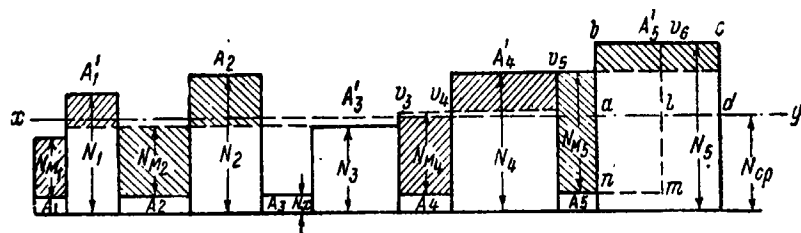


Рис. 145. Диаграммы работы и средних мощностей

линию. Если все линии приводятся в движение одним двигателем, то для смягчения пиков нагрузки на сеть при работе обжимной клетки может быть применен небольшой маховик.

Рассмотрим более сложный случай, обычно отвечающий действительным условиям производства: продолжительность пропусков различна, различны также продолжительность пауз и расход энергии во время отдельных пропусков.

Тогда диаграмма работы и средних мощностей будет иметь вид, показанный на рис. 145, где средние мощности прокатки, например, весьма закономерно изменяются от пропуска к пропуску. Остается постоянной лишь мощность холостого хода  $N_x$ .

При работе без маховика следовало бы применить двигатель мощностью  $N_5$ . Но в этом случае большую часть всего времени прокатки двигатель работал бы со значительной недогрузкой.

При работе с маховиком потребная мощность двигателя определяется следующим образом.

Средняя потребная мощность двигателя

$$N_{cp} = \frac{A_1' + A_2' + A_3' + A_4' + A_5' + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{\Sigma \tau + \Sigma \tau_0} \quad (89)$$

Линия  $xy$  определяет уровень  $N_{cp}$ .

Независимо от этого строим диаграммы мощности маховика для каждого соседнего цикла ( $\tau_0 + \tau$ ) по методу, рассмотренному выше.

Находим

$$N_{M1}, N_{M2}, N_{M3} \text{ и } N_{M5}^1.$$

По масштабу диаграммы приближенно определяем:

- 1)  $N_{cp} > N_{M1} + N_x$  на 22 %;
- 2)  $N_{cp} > N_{M2} + N_x$  на 10 %;
- 3)  $N_{cp} > N_{M3} + N_x$  на 10 %;
- 4)  $N_{cp} < N_{M4} + N_x$  на 10 %;
- 5)  $N_{cp} < N_{M5} + N_x$  на 30 %.

Ввиду того, что двигатель может работать с длительной перегрузкой в 50 % и что коэффициент полезного действия его незначительно понижается при недогрузке в 22 %, можно принять

$$N_d = N_{cp} \quad (90)$$

Что касается размеров маховика, то они определяются по последнему циклу, где маховик должен отдать максимум живой силы — в данном случае  $abcd$  (рис. 145).

Чтобы получить площадь  $almn = abcd$ , необходимо удлинить паузу  $\tau_{05}$  приблизительно в три раза и тогда определить размеры маховика, пользуясь выражением

$$75 N_{M5} \tau_{05} = m \frac{v_5^2 - v_6^2}{2} \quad (91)$$

Из равенства (91) находим массу маховика, задаваясь  $v_5$  и  $v_6$  или  $v_{cp}$  и  $i$ , а следовательно, размеры обода и диаметр маховика.

Вычислив основные размеры маховика и приняв этот маховик, следует увеличить расчетную мощность двигателя на 25 %, имея в виду возможность форсирования работы стана.

Точно построить график работы проектируемого стана весьма трудно, так как теоретическое определение расхода энергии по пропускам не дает полного совпадения с действительным расходом. Поэтому изложенный метод, так же как другой, излагаемый ниже, может прочно базироваться только на графиках, полученных наблюдением за работающим станом, если требуется проанализировать в нем роль маховика в изменившихся условиях производства.

<sup>1</sup> Очевидно нет надобности находить  $N_{M3}$ .

Указанные задачи исследования работы агрегата двигатель—маховик выходят из области компетенции металлурга и должны разрешаться энергетиками. Однако в общих чертах и металлургу необходимо ознакомиться с точным построением графика работы станков и методами исследования работы системы двигатель—маховик.

В заключение рассмотрим более точный метод решения задачи распределения работы прокатки между двигателем и маховиком.

Пусть работа прокатки изображена незаштрихованными прямоугольниками на рис. 146.

В момент захвата полосы двигатель мгновенно загружается до мощности, определяемой необходимым моментом вращения. В момент выхода полосы из валков двигатель так же мгновенно разгружается до мощности холостого хода. Таким образом, в случае отсутствия маховика работа двигателя характеризуется резкими ударными колебаниями мощности от минимальной до максимальной, и обратно.

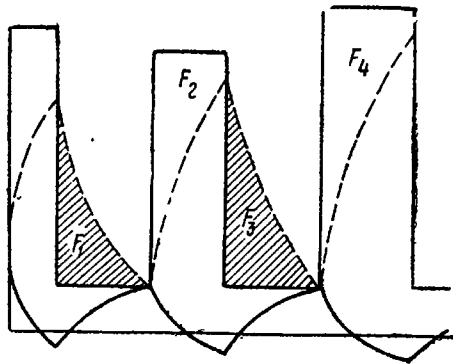


Рис. 146. График работы прокатки

Число оборотов двигателя быстро уменьшается с момента захвата полосы до величины, соответствующей требуемому моменту вращения, а по выходе полосы из валков, во время паузы, вновь увеличивается до величины, соответствующей моменту вращения при холостом ходе стана.

Наличие маховика коренным образом меняет картину: торможение вращения в момент захвата полосы в значительной степени умеряется, почти предотвращается вследствие большой

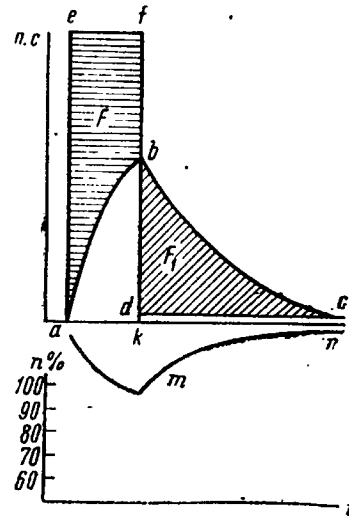


Рис. 147. Диаграмма работы двигателя и маховика за один цикл пропуска полосы

инерции маховика. Во всяком случае число оборотов валков при захвате полосы убывает медленно и постепенно (рис. 147).

Вследствие этого и нарастание нагрузки двигателя становится постепенным и достигает своего максимума в момент выхода полосы из валков. Этот максимальный момент двигателя ниже момента прокатки. С этого мгновения двигатель начинает отдавать энергию маховику, разгоняя его до максимальной скорости, и сам разгружается. Сказанное изображается диаграммой работы маховика и двигателя за один цикл пропуска полосы (рис. 147), где:

$aefb$  — работа  $F$ , отдаваемая маховиком и поощающая потребляемую мощность двигателя;

$abk$  — работа, расходуемая двигателем во время пропуска;

$bdc$  — работа  $F_1$ , отдаваемая двигателем маховику;

$am$  — постепенное падение числа оборотов при пропуске;

$mn$  — постепенное увеличение числа оборотов во время паузы.

Графическое изображение распределения энергии между двигателем и маховиком для нескольких пропусков представлено на рис. 146. При этом необходимо, чтобы  $F_1 = F_2$ ;  $F_3 = F_4$ , и т. д.

Если известна мощность пропуска  $N$  и число оборотов валков  $n$ , то момент вращения, необходимый для пропуска,  $M_1 = PR$  определяется из выражения силы тяги

$$P = \frac{75 N 60}{2\pi R n},$$

откуда

$$M_1 = PR = \frac{75 \cdot 60}{2\pi} \frac{N}{n} = 716 \frac{N}{n} \text{ кгм} = 0,716 \frac{N}{n} \text{ тм}. \quad (92)$$

Рассмотрим построение кривых нагрузки двигателя, сопряженного с маховиком (рис. 148, а и б).

Обозначим через  $M_1$  требуемый момент вращения валков, через  $M_m$  — момент вращения маховика и через  $M_d$  — момент вращения двигателя.

$$M_1 = M_m + M_d. \quad (93)$$

Если нормальный момент вращения двигателя обозначить через  $M_n$  и нормальное скольжение двигателя — через  $i_n$ , то на основании пропорциональности моментов и скольжений можно написать

$$\frac{M_d}{M_n} = \frac{i_d}{i_n}.$$

Откуда переменное скольжение

$$i_d = i_n \frac{M_n}{M_{II}} \quad \text{и} \quad M_d = i_n \frac{M_{II}}{i_n}. \quad (94)$$

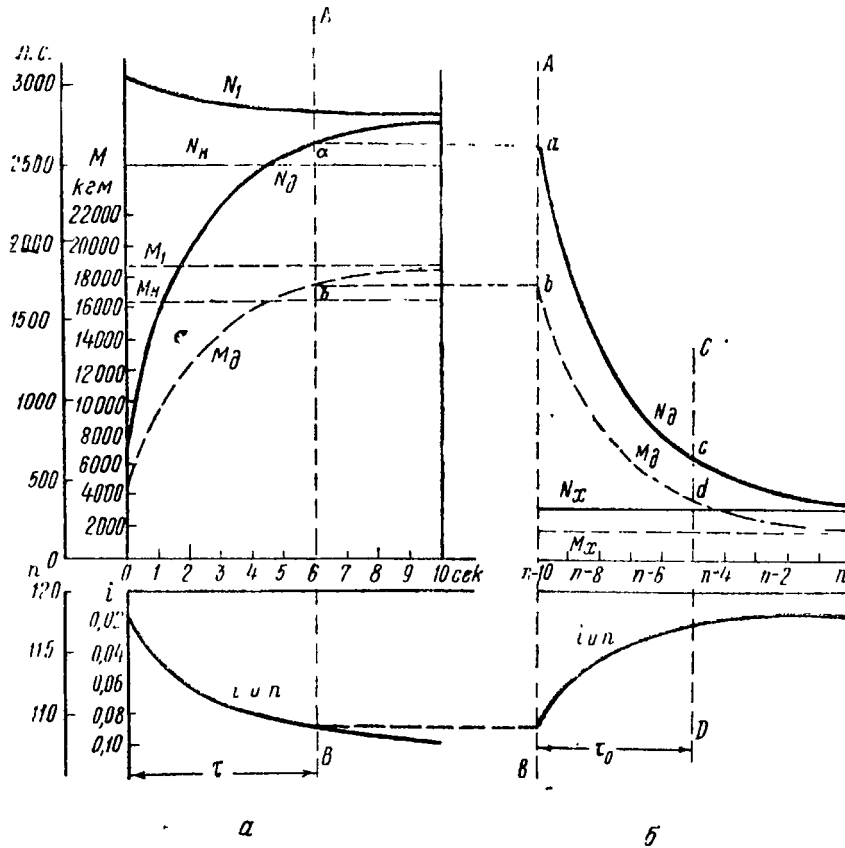


Рис. 118. Построение кривых нагрузки двигателя, сопряженного с маховиком:

а — кривая нагрузки двигателя; б — кривая разгрузки двигателя

Если число оборотов за  $t$  секунд изменяется от  $n_1$  до  $n_2$ , то угловое ускорение в секунду  $a$  выражается следующим образом:

$$a = \frac{n_1 - n_2}{t}.$$

Противодействующий момент инерции маховика при этом

$$M_m = P \frac{D}{2} = m_j \frac{D}{2},$$

но

$$m = \frac{G}{9,81} \quad \text{и} \quad j = \frac{v_1 - v_2}{t} = \frac{\pi D}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{t} = \frac{\pi D a}{60},$$

следовательно,

$$M_m = \frac{G}{9,81} \cdot \frac{\pi D}{60} \cdot a \cdot \frac{D}{2} = a \frac{GD^2}{375} \text{ кгм}. \quad (95)$$

Угловое ускорение  $a$  является величиной переменной в процессе прокатки.

Пусть скольжение двигателя за время  $dt$  изменяется на величину  $di$ , тогда число оборотов изменится на величину  $dn = n_c di$ , где  $n_c$  обозначает число оборотов двигателя без скольжения (синхронизм), что практически имеет место при холостом ходе стана. Отсюда

$$a = \frac{n_1 - n_2}{t} = \frac{dn}{dt} = n_c \frac{di}{dt}$$

и

$$M_m = \frac{GD^2}{375} \cdot n_c \frac{di}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot n_c i_n, \quad (96)$$

с другой стороны,

$$M_m = \frac{M_1 - M_0}{e^{At}},$$

где  $M_0$  — начальный момент вращения двигателя.

Обозначим  $\frac{M_n}{M_m} = \frac{375 M_n}{GD^2 n_c i_n} = K. \quad (97)$

Выражение  $K$  называется постоянной двигатель-маховика.

Подставляя значение  $M_m$  в выражение (93), имеем:

$$M_d = M_1 - \frac{M_1 - M_0}{e^{At}}; \quad (98)$$

отсюда

$$e^{At} = \frac{M_1 - M_0}{M_1 - M_d}. \quad (99)$$

Из выражения (98) видно, что момент вращения при нагрузке двигателя в каждый данный момент зависит от полного момента прокатки  $M_1$ , начального момента двигателя  $M_0$  и от постоянной двигатель-маховика  $K$ .

Для построения диаграммы моментов нагрузки двигателя необходимо знать все эти данные.

В каждом данном стана во время данного пропуска величины  $M_1, M_0$  и  $K$  являются величинами постоянными для всех моментов нагрузки (переменной является лишь время  $t$ ); поэтому

очевидно, что для каждого данного стана достаточно вычертить одну кривую моментов нагрузки двигателя по  $M_1$ ,  $M_0$  и  $K$ , чтобы пользоваться ею при любой продолжительности пропуска с моментом прокатки  $M_1$ . Кривая моментов легко дает кривую потребляемой мощности двигателя, если известно изменение числа оборотов, характеризующее величину скольжения  $i$ . Эта величина пропорциональна в каждый данный момент действующему моменту двигателя и определяется по формуле (94):

$$i_d = i_n \frac{M_d}{M_n}.$$

Во всякой данной прокатной установке  $i_n$  и  $M_n$  известны как основные характеристики двигателя, поэтому построение кривой мощности, затрачиваемой двигателем во время пропуска, не представляет затруднений.

Точно так же не представляет затруднения и вычерчивание кривой разгрузки двигателя (рис. 148, б) во время разгона маховика при паузах, так как в выражении (98)  $M_1$  равно моменту холостого хода стана (величина для данной установки постоянная),  $M_0$  — начальный момент двигателя во время выхода заднего конца полосы из валков для максимальной продолжительности пропуска  $\tau$ , уже найденный при построении кривой нагрузки двигателя.

Таким образом, изложенный метод пригоден для анализа фактического и предположительного распределения работы прокатки между двигателем и маховиком.

Для непосредственного решения вопроса о распределении работы между двигателем и маховиком, т. е. о выборе мощности двигателя и размеров маховика, этот метод применим в качестве анализа ряда предположительных распределений.

Для предположительного распределения работы прокатки между двигателем и маховиком можно пользоваться одним из описанных способов определения мощности двигателя при прокатке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Кушакевич, Применение сверхобжатий при прокатке, «Металлург», 1939, № 10—11.
2. А. П. Чекмарев, Увеличение угла захвата металла валками, «Теория и практика металлургии», 1938, № 6.
3. А. П. Чекмарев, Теория сверхбольших углов захвата и обжатий при прокатке, «Теория и практика металлургии», 1939, № 7.
4. Н. Ф. Лашко и В. А. Писанко, Графический способ построения и проверки калибровок простейших профилей, «Сталь», 1936, № 7.
5. Я. С. Галлай, Материалы по теории прокатки, ч. III, Металлургиздат, 1941.
6. Я. С. Галлай, Материалы по теории прокатки, ч. IV, Металлургиздат, 1948.
7. С. Н. Петров, Работа и давление при прокатке, «Записки горного института», 1917, VI, вып. 2.
8. М. И. Злотников, Уширение меди в связи с прокаткой плоских подкатов из вайербарсов, «Металлург», 1934, № 6.
9. П. А. Александров, и Н. Ф. Лашко, Об уширении металлов при прокатке, «Качественная сталь», 1936, № 4.
10. Г. В. Чихиров, К вопросу об уширении при прокатке, «Теория и практика металлургии», 1936, № 6.
11. А. Я. Хейн, Процесс ленточной и тонколистовой прокатки, Металлургиздат, 1941.
12. Б. П. Бахтинов, Некоторые вопросы теории прокатки, «Сталь», 1946, № 4—5.
13. С. И. Губкин, Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947.
14. Ю. М. Чижиков, Закономерности уширения при прокатке и анализ формул для его определения, «Сталь», 1948, № 11.
15. Иг. М. Павлов, Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ГОНТИ, 1938.
16. Иг. М. Павлов и Н. С. Иванов, Уширение стали при прокатке с большими обжатиями, «Металлург», 1938, № 10.
17. Иг. М. Павлов и Я. С. Галлай, Влияние смазки на уширение, «Металлург», 1937, № 9—10.
18. В. Н. Рудбах и Я. Х. Сартан, Зависимость уширения стали при прокатке от степени наклепа, «Сборник трудов Московского института стали», 1936, вып. XX.
19. В. Н. Рудбах и В. П. Северденко, Влияние внешнего трения на деформацию металла при прокатке, «Сборник трудов Московского института стали», 1936, вып. XX.
20. М. В. Врацкий и П. А. Александров, Уширение дозвтектоидных углеродистых и легированных сталей при различных температурах, «Труды Харьковского института металлов», 1931.
21. М. В. Врацкий, Наполнение прямоугольных и ромбических калибров при прокатке некоторых легированных сталей, «Сталь», 1940, № 3.

22. М. И. Злотников, Уширение при плющении, «Бюллетень Гипрометиза», 1939, № 4—5.
23. В. Ф. Лопкарев, Анализ неравномерности деформации при горячей механической обработке металлов, «Вестник металлопромышленности», 1938, № 11.
24. Н. И. Сведе-Швец, Удельные давления при горячей прокатке сталей ЭЯ1, У8А сравнительно с малоуглеродистой 1010, «Металлург», 1939, № 7.
25. Н. М. Федосов, О прокатке легированных сталей при больших обжатиях, «Металлург», 1940, № 8.
26. Ю. М. Чижилов, Влияние состава стали на уширение при прокатке, «Сталь», 1945, № 11—12.
27. П. Л. Лабузов, Уширение стали хромансиль, «Сталь», 1941, № 9.
28. Я. С. Гинзбург и Л. С. Гельдерман, Исследование уширения специальных сталей при прокатке, «Сообщения Центрального института металлов», 1935, № 18.
29. В. Е. Грум-Гржимайло, Прокатка и калибровка, КУБУЧ, 1933.
30. Е. Кирхберг, Основы калибровки прокатных валков, «Домез», 1929, № 1.
31. В. Тафель, Прокатка и калибровка, ГТИ, 1930.
32. Л. Л. Соколов, К вопросу о неравномерности деформации при прокатке (критика теории Лендля), «Сталь», 1946, № 6.
33. В. М. Зарусь, К вопросу о неравномерности деформации, «Сталь», 1947, № 9.
34. М. С. Мутьев, Расчет заполнения разрезного калибра, «Сталь», 1947, № 4.
35. П. А. Александров, В. А. Писанко и С. Т. Богатырев, Рационализация калибровки валков сортовых прокатных станков, ОНТИ, 1938.
36. Постановление совещания по калибровке валков для прокатки качественной стали, «Качественная сталь», 1936, № 10.
37. А. П. Чекмарев, Метод калибровки блюминга, «Домез», 1932, № 3.
38. М. Л. Зарошинский, Калибровка валков блюминга, «Сталь», 1937, № 6.
39. В. И. Липухин, Замечания к статье инж. М. Зарошинского «Калибровка валков блюминга», «Сталь», 1938, № 3.
40. А. П. Чекмарев, Прокатное дело в Америке и Европе, «Домез», 1932, № 6.
41. П. И. Полукин, Свойства ромбических калибров, «Сборник трудов Московского института стали», 1940, вып. XVI.
42. В. А. Писанко, К вопросу о правильном расчете диаметров валков на трио-обжимках, «Теория и практика металлургии», 1939, № 9.
43. М. С. Юдович, Калибровка валков заготовочного стана трио, «Сталь», 1948, № 4.
44. С. Финк, Теория работы прокатки, «Горный журнал», 1901, III.
45. А. П. Виноградов, Явления опережения и попятного движения металла в ручьях в связи с уширением его, «Уголь и железо», 1926, № 7.
46. П. А. Александров, Система калибровки овал—круг—овал для черновых линий, «Качественная сталь», 1935, № 2.
47. М. П. Леднев и В. А. Шадрин, Четыре системы калибровки для прокатки круглого профиля, «Уральская металлургия», 1935, № 7.

48. А. Г. Петин и Г. А. Виноградов, Перекалибровка круглых профилей по системе овал—круг на стане  $D=300$  мм, «Теория и практика металлургии», 1939, № 6.
49. Г. А. Виноградов, Исследование калибровки овал—круг, «Бюллетень завода им. Ильича», 1938, № 2.
50. Д. И. Осикин, Практический метод построения предотделочных овалов для круглого в пропусках, «Уголь и железо», 1930, № 54.
51. М. П. Галемин, Об определении размеров предотделочных овалов и квадрата при калибровке круглого железа, «Домез», 1935, № 10.
52. Л. Жез, Калибровка валков, Русск. изд., «Техника и производство», 1929.
53. А. П. Чекмарев, К вопросу о теории калибровки полосового железа, «Домез», 1934, № 6.
54. В. К. Проурзин, К вопросу о методике расчета калибровки полосового железа, «Теория и практика металлургии», 1938, № 7—8.
55. Иг. М. Павлов, К вопросам калибровки углового железа, «Металлург», 1927, № 2.
56. А. П. Чекмарев, О форме калибров для прокатки углового железа, «Домез», 1934, № 8.
57. Д. И. Старченко, Калибровка валков для прокатки неравнобоких угольников, «Теория и практика металлургии», 1938, № 2.
58. А. Брово, Калибровка валков, 1903, ч. 1.
59. С. И. Заборский, Калибровка и прокатка тавриков, «Сталь», 1947, № 7—8.
60. С. Торкар, Калибровка двутавровых балок нормальных профилей, «Домез», 1929, № 3—4.
61. Гольцвейлер, Прокатка швеллеров, «Домез», 1929, № 3—4.
62. И. Деген, Калибровка валков, пер. Э. К. Крикента под ред. А. П. Виноградова, 1928.
63. И. И. Кучко, Производство трамвайных рельсов типа Феникс, «Бюллетень ЦИИ Черной металлургии», 1946, 17 (61).
64. А. П. Виноградов, Расход энергии при прокатке и мощность двигателей при станах, «Металлург», 1929, № 2, 3, 4.
65. Н. В. Гutowский, Теория формоизменения и мощность при прокатке, ОНТИ, 1935.
66. Н. Ф. Лашко и П. А. Александров, О распределении удельных давлений металла на валки, «Металлург», 1935, № 8, 54.
67. Л. Ф. Молотков, Сопротивление деформации высокоуглеродистых и легированных сталей, «Сталь», 1942, № 1—2.
68. А. Ф. Самарин, Измерение давления металла на валки при прокатке, «Металлург», 1938, № 1.
69. Н. И. Сведе-Швец, Исследование удельных давлений в зависимости от температуры и химического состава прокатываемой стали, «Металлург», 1934, № 7.
70. Е. Я. Фролов и Т. М. Голубев, Распределение удельных давлений по дуге захвата в зависимости от факторов прокатки, «Металлург», 1937, № 7.
71. А. Я. Хейн, Силы, действующие при симметричной прокатке прямоугоньных полос между гладкими валками, и затрачиваемая при этом мощность, «Металлург», 1940, № 10.
72. А. И. Целиков, Распределение удельного давления по дуге захвата, «Сталь», 1944, № 5—6.

73. А. П. Чекмарев, Исследование расхода энергии и сопротивления деформации на мелкосортном и проволочном станах, «Домез», 1935, № 4—5.

74. А. П. Чекмарев и Л. Ф. Молотков, Исследование давления металла на валки в средне-мелкосортных, проволочном и обрубном станах. «Теория и практика металлургии», 1936, № 2.

75. А. П. Чекмарев и Л. Ф. Молотков, Повышение производительности и давление металла на валки при прокатке в рельсовых станах, «Теория и практика металлургии», 1937, № 4.

76. А. П. Чекмарев и Л. Ф. Молотков, Давление на валки и опережение в калибрах, «Теория и практика металлургии», 1937, № 9.

77. Ю. М. Чижилов, Прокатка и ковка высоколегированных сталей, Металлургиздат, 1941.

78. А. М. Шевченко и З. А. Соминский, Экспериментальное определение давления на валки при прокатке, «Теория и практика металлургии», 1939, № 4—5.

79. А. П. Виноградов, Деформация металла при продольной прокатке в гладких валках, «Наукові записки катедри металлографії», Днепропетровский горный институт, 1928.

80. И. А. Тиме, Справочная книга, 1899.

81. А. И. Целиков, Прокатные станы, Металлургиздат, 1946.

#### ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
294	5-я графа, 1—4 сл.	0,8362 0,8749 0,4276 0,4651	0,906 0,673 0,434 0,4631	Авт.
294	7-я графа, 2 сл.	11,6	11,1	

Заказ 576

Редактор Я. С. Галлий

Технический редактор В. В. Михайлова

Сдано в производство 11/V 1950 г. Подписано в печать 29/VIII 1950 г.

Формат бумаги  $60 \times 92 \frac{1}{16} = 10,87$  бум. л. — 21,5 печ. л. + 1 вкл. = 0,08 п. л.

Учетно-издат. л. 21,25 Уч. в 1 п. л. 39540

T-06626 Тираж 4500

Заказ 576 Цена 16 р. 80 к.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, 30.