

А. А. ПРОТАСОВ

# КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

*(задачи и упражнения)*

*Д о п у щ е н о  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для техникумов черной металлургии*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Москва 1963

## АННОТАЦИЯ

В книге приведены справочные данные для решения задач и упражнений по калибровке валков, а также разобраны на типовых примерах методы решения задач по калибровке валков для прокатки блюмов, листов, простых и фасонных профилей. Для приобретения практических навыков по калибровке валков составлено более ста задач для самостоятельного решения.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для металлургических техникумов и может быть полезна студентам вузов, а также инженерам и техникам, работающим в прокатных цехах.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие .....	6

### Часть первая

#### ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ И КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

<b>Глава I. Механические свойства сталей и сплавов при температурах прокатки .....</b>	<b>7</b>
§ 1. Результаты механических испытаний .....	7
§ 2. Практическое применение результатов механических испытаний .....	16
§ 3. Сопротивление металла деформации при прокатке .....	18
§ 4. Удельное давление при прокатке легированных сталей .....	23
§ 5. Удельное давление при прокатке углеродистых сталей .....	26
Задачи и упражнения .....	30
<b>Глава II. Основные вопросы теории прокатки .....</b>	<b>33</b>
§ 1. Закон постоянства объема и коэффициенты деформации .....	33
§ 2. Захват металла валками и максимальное обжатие .....	38
§ 3. Уширение .....	44
§ 4. Опережение .....	48
§ 5. Работа прокатки .....	48
§ 6. Неравномерность деформации .....	54
Задачи и упражнения .....	57
<b>Глава III. Основные вопросы теории калибровки валков .....</b>	<b>60</b>
§ 1. Определение и задачи калибровки .....	60
§ 2. Типы и формы калибров .....	64
§ 3. Элементы калибра .....	65
§ 4. Нейтральная линия и центр тяжести калибра .....	68
§ 5. Способы нахождения центра тяжести простых и фасонных профилей .....	70
§ 6. Элементы калибровки валков .....	73
§ 7. Обжатия в калибрах .....	77
§ 8. Допуски при прокатке .....	80
§ 9. Особенности калибровки валков непрерывных станов .....	81
§ 10. Принципиальная схема расчета калибровки .....	84
§ 11. Типовые задачи .....	85
Вопросы для самопроверки .....	89
Задачи и упражнения .....	90

## КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ПРОСТЕЙШИХ ПРОФИЛЕЙ

Глава IV. Калибровка валков толстолистовых станов .....	94
§ 1. Способы прокатки листовой стали .....	95
§ 2. Выбор исходной заготовки .....	98
§ 3. Распределение обжатий по проходам .....	99
§ 4. Изменение температуры металла по проходам .....	102
§ 5. Расчет режима обжатий по методу В. А. Тягунова [8] .....	104
§ 6. Расчет режима обжатий по методу Н. В. Литовченко [17] .....	108
Глава V. Калибровка валков тонколистовых станов .....	112
§ 1. Прокатка листов на непрерывных станах .....	112
§ 2. Прокатка листов из сутунки на станах дуо .....	121
§ 3. Составление схем прокатки листа из сутунки .....	122
Вопросы для самопроверки .....	125
Задачи и упражнения .....	126
Глава VI. Калибровка валков блюминга .....	131
§ 1. Сортамент стана .....	131
§ 2. Исходный материал .....	131
§ 3. Характеристика станов для прокатки блюмов и слябов .....	133
§ 4. Калибровка валков .....	134
§ 5. Распределение обжатий по проходам [16] .....	144
§ 6. Порядок расчета калибровки валков .....	145
§ 7. Форма и размеры калибров .....	147
§ 8. Калибровка валков непрерывных заготовочных станов .....	152
Вопросы для самопроверки .....	157
Задачи и упражнения .....	158
Глава VII. Калибровка валков для прокатки квадрата, круга, полосы	
§ 1. Прокатка квадратной стали .....	163
Методы построения ромбического ряда .....	163
Порядок расчета калибров по системе ромб — ромб .....	166
Расчет калибров по системе ромб — квадрат .....	171
Прокатка квадратной стали с острыми углами .....	176
Калибровка валков по системе овал — квадрат .....	177
Задачи и упражнения .....	182
§ 2. Калибровка валков для прокатки круглой стали .....	184
Расчет калибровки валков по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова .....	185
Калибровка валков для прокатки круглой стали диаметром более 100 мм .....	194
Калибровка валков по методу Х. Хоффа и Т. Даля [27] .....	197
Расчет калибровки валков по методу А. П. Чекмарева и Р. А. Машковцева .....	199
Определение размеров чистового круга, овала и квадрата .....	206
Задачи и упражнения .....	210
§ 3. Прокатка шестигранной стали .....	211
Задачи и упражнения .....	216
§ 4. Прокатка арматурной стали .....	218
Задачи и упражнения .....	226
§ 5. Прокатка полосовой стали .....	227
Расчет режима обжатий по методу А. П. Виноградова и Л. Жёза .....	230
Расчет режима обжатий по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова .....	233

Расчет режима обжатий по методу А. П. Чекмарева и В. С. Смирнова .....	235
Вопросы для самопроверки .....	237
Задачи и упражнения .....	238

Глава VIII. Калибровка валков для прокатки фасонных профилей	241
§ 1. Прокатка угловой стали .....	241
Определение размеров калибров (по М. М. Штернову) .....	243
Метод А. П. Чекмарева .....	255
Задачи и упражнения .....	261
§ 2. Прокатка зетовой стали .....	262
Расчет размеров калибров .....	266
Порядок построения зетовых калибров .....	268
Вопросы для самопроверки .....	273
Задачи и упражнения .....	274
§ 3. Прокатка двутавровых балок .....	275
Распределение обжатий по элементам двутавровой балки .....	277
Методика калибровки валков .....	281
Метод А. П. Чекмарева .....	283
Вопросы для самопроверки .....	295
Задачи и упражнения .....	296
§ 4. Прокатка швеллеров .....	298
Методика расчета калибров по Б. П. Бахтинову .....	302
Схема расчета калибровки валков для прокатки швеллеров .....	304
Задачи и упражнения .....	306
§ 5. Прокатка рельсов .....	311
Основные сведения и схемы прокатки .....	311
Методика расчета калибровки .....	315
Задачи и упражнения .....	327
Литература .....	329

# ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ И КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В новой Программе КПСС, принятой историческим XXII съездом партии, нашли свое концентрированное выражение основные задачи коммунистического строительства.

По мере научного и технического прогресса дальнейшее развитие получит высшее и среднее специальное образование, призванное готовить высококвалифицированных специалистов, обладающих широким теоретическим и политическим кругозором. Этому должно способствовать издание учебников и учебных пособий по всем отраслям знаний.

Книга «Калибровка прокатных валков» написана в соответствии с требованиями программы курса «Прокатное производство» для учащихся техникумов, специализирующихся по прокатке. Все задачи по калибровке валков размещены в порядке увеличения степени неравномерности деформации металла; вначале предлагаются задачи по калибровке с гладкой бочкой валков — для прокатки листов, затем — профильной бочкой валков — для блюмов, квадратной, круглой, прямоугольной и шестигранной стали и, наконец, фасонных и несимметричных профилей.

В каждой главе приводятся краткие сведения по проектированию калибровки, позволяющие учащемуся самостоятельно овладевать знаниями, необходимыми для решения задач и упражнений.

При решении задач следует учитывать требования, предъявляемые к калибровке валков: 1) получение профиля точных геометрических размеров; 2) обеспечение высокого качества поверхности прокатываемых изделий; 3) повышение производительности стана; 4) уменьшение расхода валков, электроэнергии на одну тонну годного продукта.

Каждый, изучающий калибровку валков, должен помнить, что правильно для данных условий решенная задача по калибровке валков может дать отрицательные результаты при других условиях. Поэтому при решении задач по калибровке валков необходимо принимать во внимание все условия прокатки.

Автор приносит глубокую благодарность рецензентам В. Н. Щирину и Н. В. Литовченко за ценные и серьезные замечания, а также инженеру-металлургу Л. А. Протасовой за графическую работу и проверку решений отдельных задач.

## ГЛАВА I

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ПРОКАТКИ

#### § 1. РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

При решении задач по калибровке валков используют данные механических испытаний при температурах прокатки.

В соответствии с данными механических испытаний сталей и сплавов разрабатывают технологию горячей прокатки, предварительно строят график коэффициентов вытяжки по проходам, рассчитывают сопротивление металла деформации при прокатке, устанавливают температурный интервал пластичности и решают целый ряд других технических вопросов.

Пластичность металлов обычно определяется при различных температурах испытанием на растяжение до разрыва, на кручение, на ударную вязкость, испытанием ковкой или загибкой проб, взятых во время плавки или разлива стали; испытанием осадкой с постоянной силой удара или на клин (метод предложен Ю. М. Чижиковым).

Механические свойства различных сталей приведены на рис. 1—10, построенных по данным работы [1].

Испытание на растяжение при различных температурах производили на разрывной машине с максимальным усилием 30 т при скорости растяжения 1,1 мм/мин.

Данные механических испытаний позволяют сделать следующие практические выводы, которые необходимо учитывать при расчетах калибровок валков:

1. Сопротивление деформации при растяжении всех сталей и сплавов независимо от их химического состава весьма незначительно отличается при температурах начала прокатки (1150—1300°).



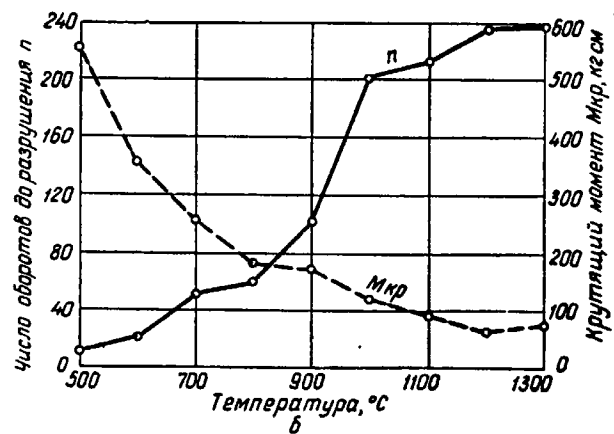
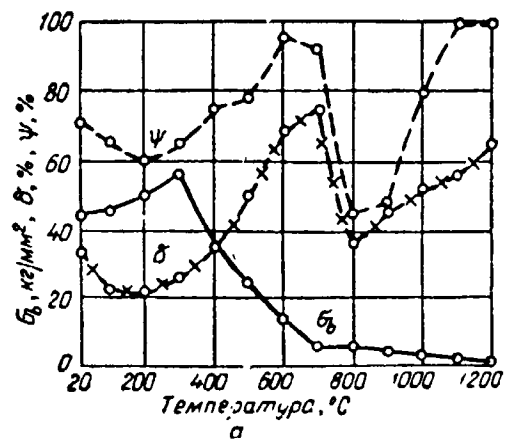


Рис. 1. Изменение механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) в зависимости от температуры (сталь 15)

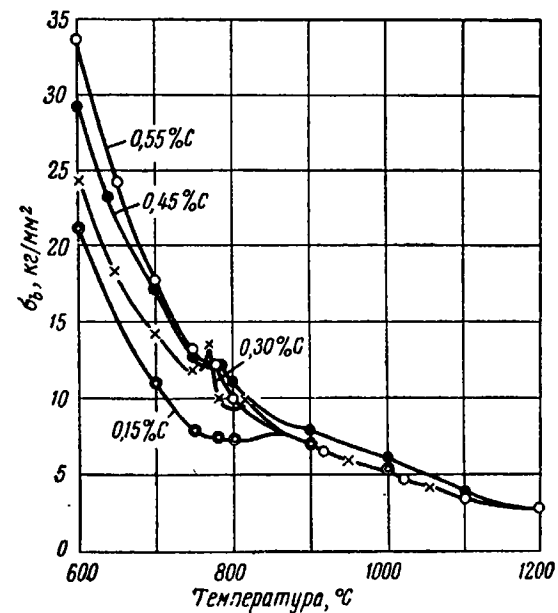


Рис. 2. Изменение предела прочности в зависимости от температуры прокатки и содержания углерода (по Брацкому и Францевичу)

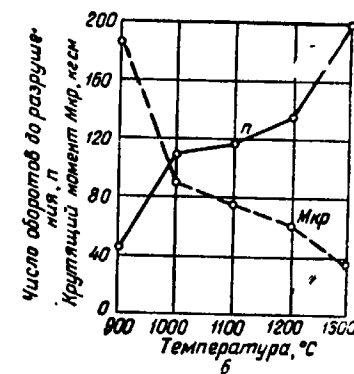
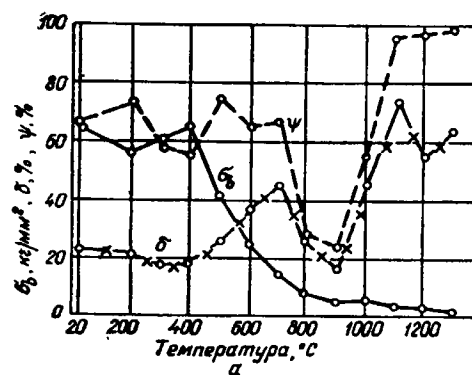


Рис. 3. Зависимость механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь 12ХН3А)

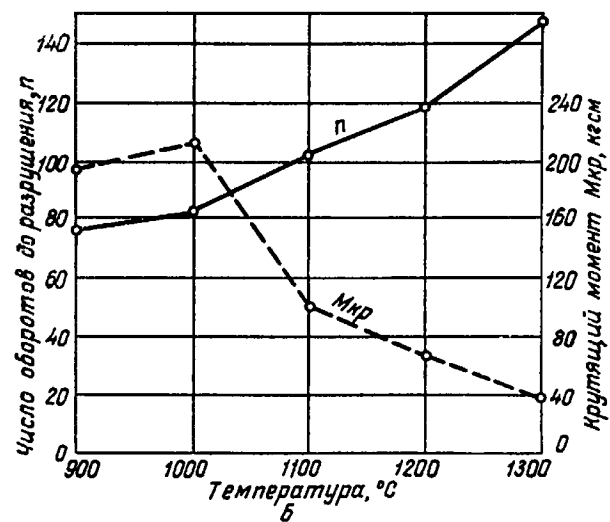
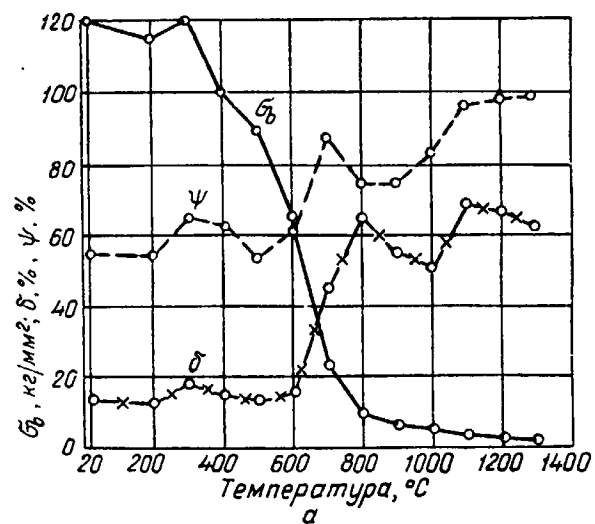


Рис. 4. Изменение механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) в зависимости от температуры (сталь 18ХНВА)

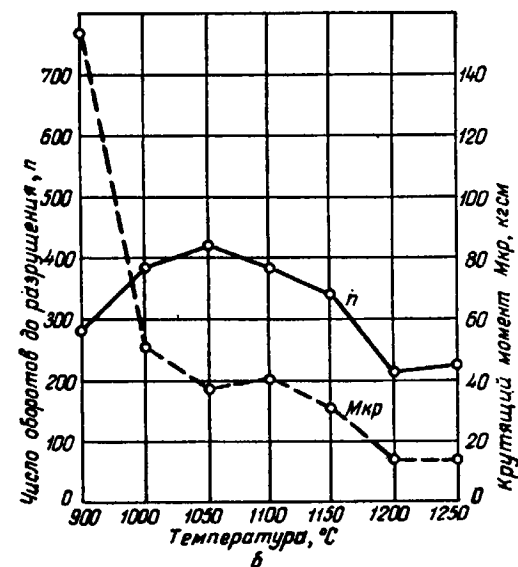
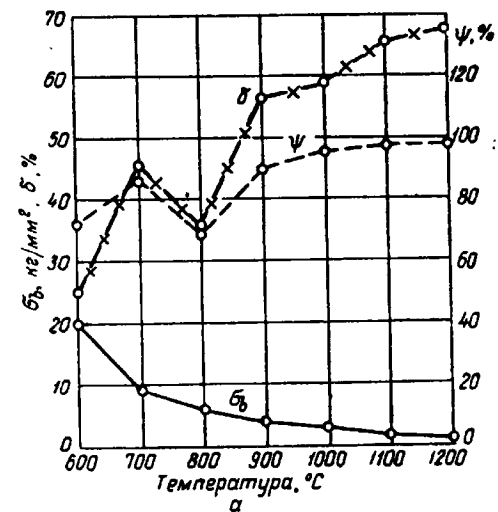


Рис. 5. Зависимость механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь У7)

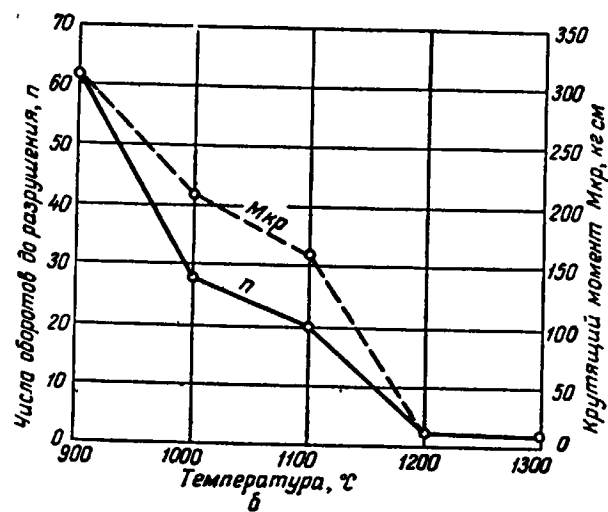
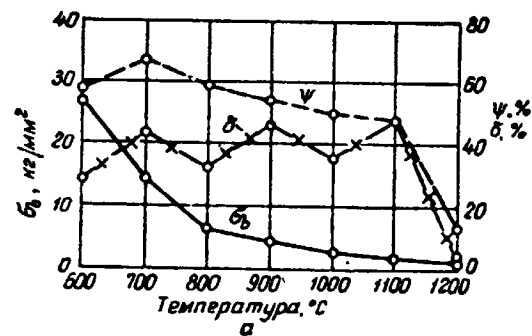


Рис. 6. Изменение механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь X12M)

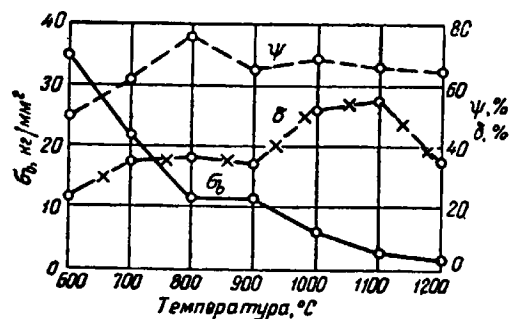


Рис. 7. Механические свойства стали P18 при различных температурах

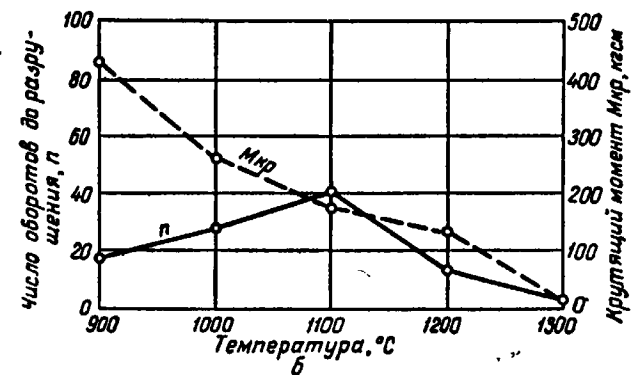
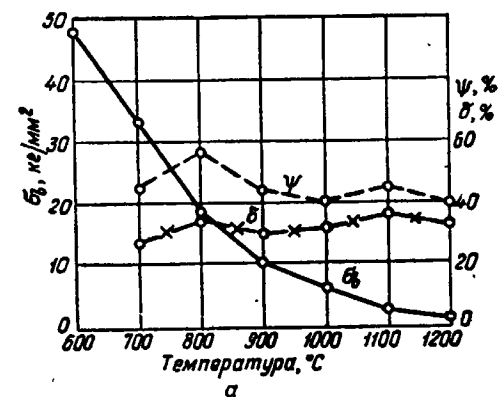


Рис. 8. Зависимость механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь X18H25C2)

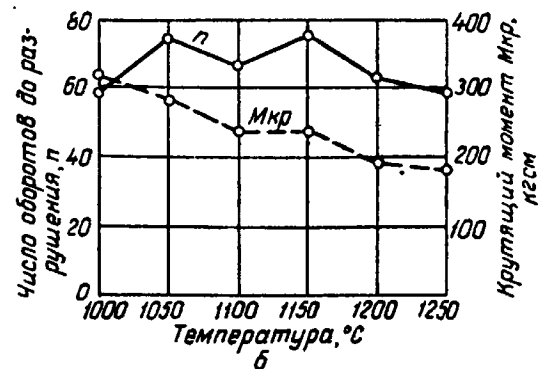
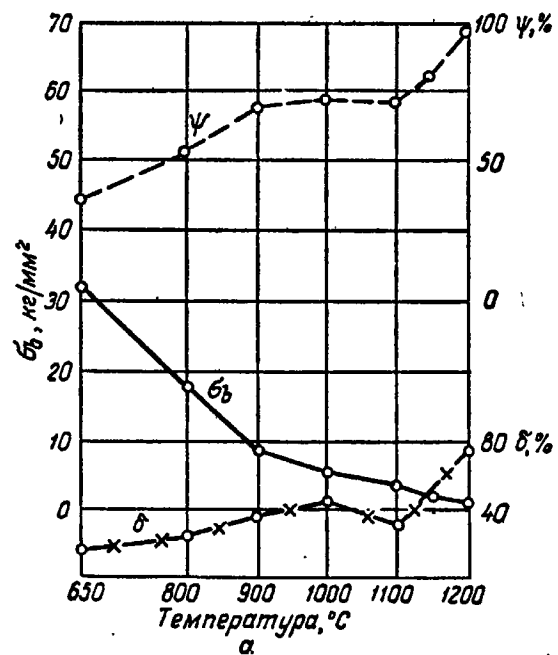


Рис. 9. Изменение механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь X18H9T)

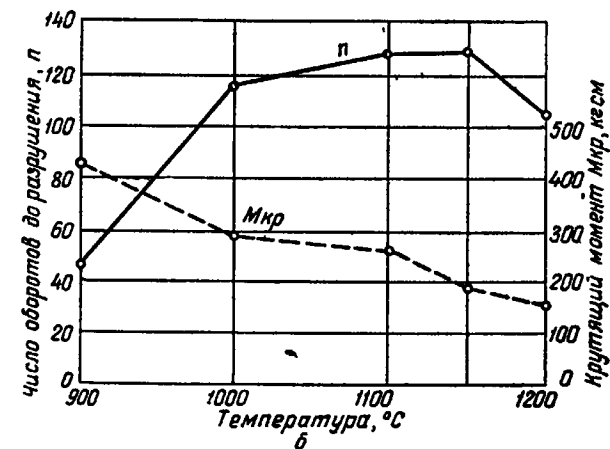
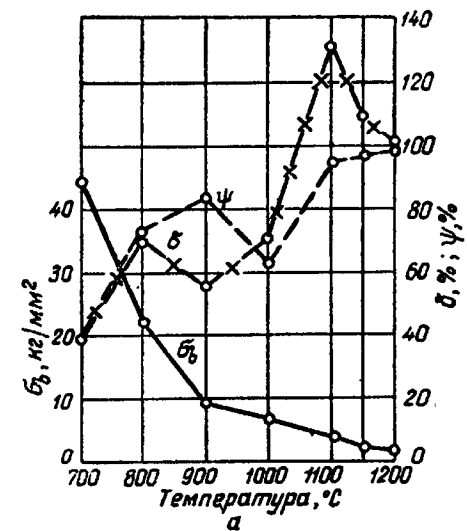


Рис. 10. Зависимость механических свойств (а) и результатов испытания на скручивание (б) от температуры (сталь X20H80)

2. Сопротивление деформации при растяжении сталей и сплавов при температурах конца прокатки (800—1000°) значительно меняется в зависимости от химического их состава, например:

Марка стали	$\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>
P18	28—6,5
X20H8C	21,8—7,32
X18H25C2	16,3—5,6
У12	6,9—2,4
15	5,8—2,8

## § 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Используя диаграммы сопротивления деформации при растяжении, можно построить график изменения вытяжки по проходам, пренебрегая при этом уширением.

Этот график следует считать как первое приближение, так как пластичность металла зависит не только от химического состава и механических свойств, выявленных при испытании металла на разрыв, удар или кручение, но и от других факторов: характера напряженного состояния при деформации; скорости и степени деформации; температуры прокатки; способа его выплавки, рафинировки и разлива; строения металла, его макро- и микроструктуры; термического режима деформации (промежуточные подогревы, термообработка и т. д.).

Выбор степени деформации металла по проходам является весьма сложной задачей, поэтому при проектировании калибровок чаще всего пользуются опытными данными.

Коэффициент вытяжки  $\mu_i$  по данным механических свойств сталей и сплавов при температурах прокатки можно определить из условия постоянства объема металла при прокатке:

$$\frac{F_0}{F_1} = \frac{l_1}{L_0} = \mu.$$

Но

$$l_1 = L_0 + \Delta l,$$

$$\text{тогда } \frac{L_0 + \Delta l}{L_0} = \mu \text{ или } \mu = 1 + \frac{\epsilon}{100},$$

$$\text{где } \epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100.$$

Если известно сопротивление деформации обычной мягкой стали  $\sigma_i$  при температуре  $t$  и вытяжка  $\mu_i$ , то при сопротивлении деформации другой марки стали  $\sigma'_i$  величина  $\mu'_i$  определяется по формуле

$$\mu'_i = 1 + \frac{\beta \epsilon_i}{100} = 1 + \frac{\sigma_i}{\sigma'_i} \cdot \frac{\epsilon_i}{100} = 1 + (\mu_i - 1) \cdot \frac{\sigma_i}{\sigma'_i}. \quad (1)$$

Если  $\sigma'_i > \sigma_i$ , то с незначительной погрешностью будет справедливо равенство

$$\epsilon'_i = \beta \epsilon_i,$$

где

$$\beta = \frac{\sigma_i}{\sigma'_i} \text{ и } \frac{\epsilon_i}{100} = (\mu_i - 1).$$

Следовательно, зная относительное удлинение одной марки стали при данной температуре  $\epsilon_i$  и предел прочности при этой же температуре  $\sigma_i$ , можно по формуле (1) определить допустимый коэффициент вытяжки для другой марки стали, если известен ее предел прочности  $\sigma'_i$ .

Пример. Если для мягкой стали принят коэффициент вытяжки при 900°  $\mu_i = 1,20$ , то для стали X18H25C2 следует принимать при всех равных прочих условиях деформации  $\mu'_i = 1,093$ , что определено по формуле (1):

$$\mu'_i = 1 + (\mu_i - 1) \cdot \frac{\sigma_i}{\sigma'_i};$$

$$\mu'_i = 1 + (1,2 - 1) \cdot \frac{4,5}{9,7} = 1,093,$$

где  $\sigma_b$  для стали 15 и  $\sigma'_b$  для стали X18H25C2 взяты из графиков (см. рис. 1, а и 8,а).

При температуре 900° металл проходит в чистовых калибрах. Для чистовых калибров практически коэффициент вытяжки  $\mu$  принимают равным 1,05—1,25.

Рассмотренный метод предварительного определения коэффициентов вытяжки по проходам рекомендуется применять при проектировании калибровки валков для прокатки высоколегированных сталей. Этот метод расчета коэффициента вытяжки весьма прост и может быть полезен для начинающих калибровщиков. Однако результаты этого расчета не могут претендовать на абсолютную точность, поэтому они считаются предварительными и требующими корректировки с учетом опытных данных.

### § 3. СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ

Сопротивлением деформации называют среднее удельное давление прокатываемого металла на валок на 1 мм<sup>2</sup> поверхности соприкосновения металла с валком. Полное давление металла на валок равно

$$P = p_{\text{ср}} \Pi. \quad (2)$$

Проекция контактной поверхности на плоскость хорды дуги захвата при прокатке листов, лент и других профилей прямоугольного сечения определяют из выражения

$$\Pi = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{R(H_0 - h_1)}. \quad (3)$$

При прокатке в валках с различными диаметрами (прокатка на трехвалковом листовом стане трио Лаута) проекцию контактной поверхности определяют из равенства

$$\Pi = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{\frac{2R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} (H_0 - h_1)}, \quad (4)$$

где  $R_1, R_2$  — радиусы валков, между которыми в данном проходе производится прокатка.

При прокатке фасонных профилей проекция контактной поверхности ( $\Pi$ ) определяется графическим методом. Правила построения проекции контактной поверхности показаны на рис. 11.

При прокатке профилей не в прямоугольных калибрах контактная площадь приблизительно определяется по уравнению (3), принимая  $\Delta h = H_0 - h_1$  равным среднему линейному обжатию по ширине профиля

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{F_0}{b_0} - \frac{F_1}{b_1}. \quad (5)$$

Определение среднего удельного давления связано с трением на контактных поверхностях, которое зависит главным образом от формы очага деформации и коэффициента трения между прокатываемой полосой и валками. Среднее удельное давление определяется из равенства

$$p_{\text{ср}} = k_f p_0, \quad (6)$$

где  $p_0$  — полезное среднее удельное давление;

$k_f$  — коэффициент для учета внешнего сопротивления.

Рассмотрим основные формулы для определения среднего удельного давления металла на валок  $p_{\text{ср}}$ .

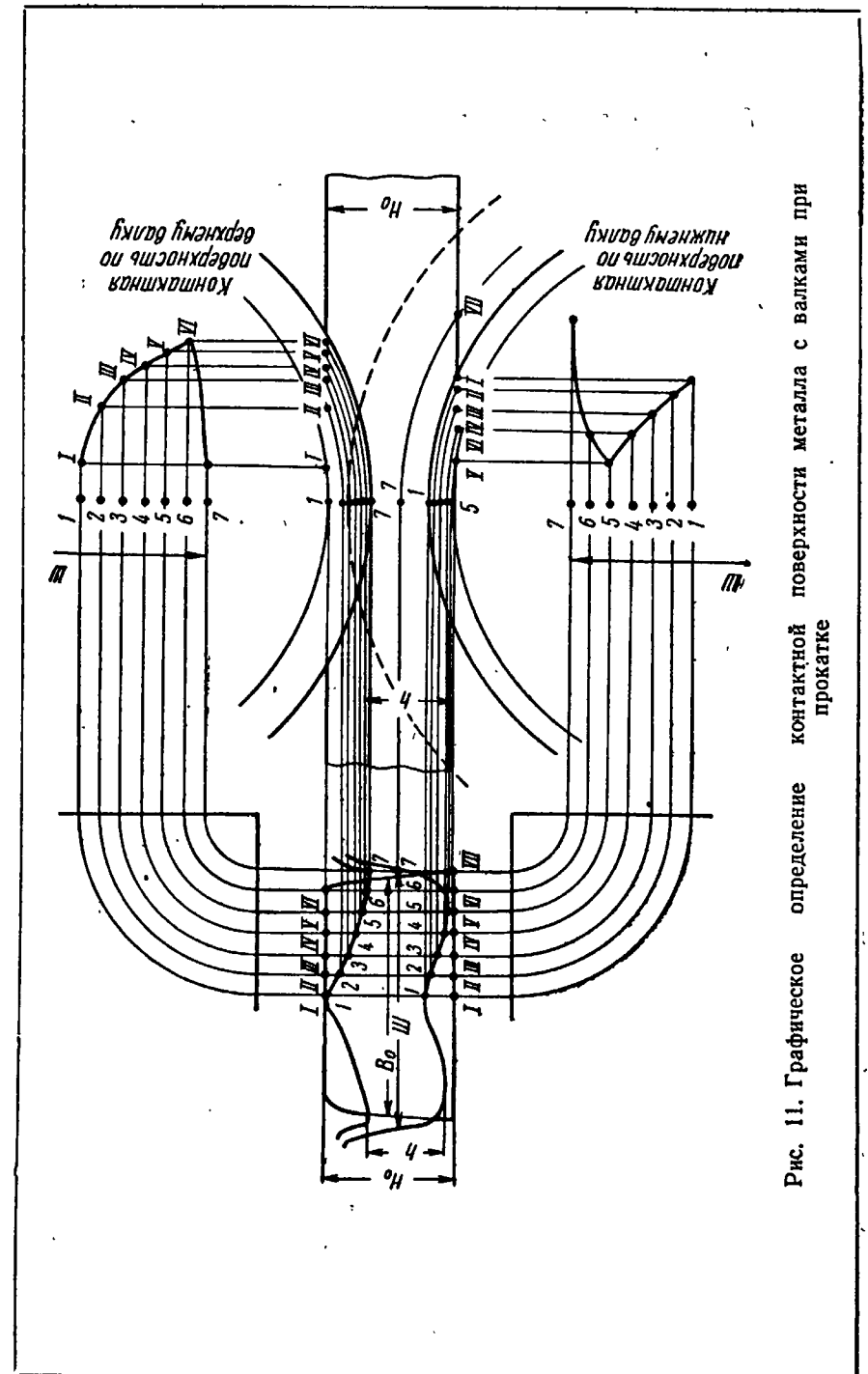


Рис. 11. Графическое определение контактной поверхности металла с валками при прокатке

Формула С. И. Губкина [2]. Полезное среднее удельное давление  $p_0$  определяется по формуле

$$p_0 = k_v \left[ 1 + \beta (0,95t_{пл} - t) + \frac{\beta^2 (0,95t_{пл} - t)^2}{2} \right] \sigma_b, \quad (7)$$

где  $t_{пл}$  — температура плавления металла, °С;  
 $t$  — температура деформации металла, °С;  
 $\beta$  — (0,008 ÷ 0,012) — температурный коэффициент (по С. И. Губкину). Верхний предел принимается для твердых растворов с большой концентрацией;  
 $\sigma_b$  — предел прочности, соответствующий температуре 0,95  $t_{пл}$  и скорости деформации (40 ÷ 50) мм/мин. С. И. Губкин принимает  $\sigma_b = (0,4 \div 0,6)$  кг/мм<sup>2</sup>;  
 $k_v$  — скоростной коэффициент. По данным С. И. Губкина:

$v$ , см/сек	$k_v$
10—25	1,2—1,6
25—75	1,6—2,0
100	2,5

Для учета внешних сопротивлений С. И. Губкин пользуется коэффициентом

$$k_f = k_\sigma \left( 1 + 1,3f \sqrt{\frac{R}{h_0}} \right), \quad (8)$$

где  $k_\sigma$  — коэффициент для учета неравномерности распределения напряжений при деформации с нагревом, принимаемый от 1,0 до 1,3;

$f$  — коэффициент трения (при  $v < 1$  м/сек  $f = 0,40 \div 0,45$ ; при  $v > 1$  м/сек  $f = 0,36 \div 0,40$ ).

Среднее удельное давление по С. И. Губкину в общем виде выражается формулой

$$p_{ср} = k_v k_f k_\sigma \sigma_b. \quad (9)$$

Формула А. И. Целикова [3]. Полезное удельное давление А. И. Целиков определяет по пределу прочности при растяжении  $p_0 = 1,15 \sigma_b$ .

Полное удельное давление определяется по формуле (влияние скорости деформации при этом не учитывается)

$$p = 1,15 \sigma_b \cdot k_f, \quad (10)$$

$k_f$  вычисляется по номограмме (рис. 12), по горизонтальной оси которой отложено значение  $\delta$ , определяемое по формуле

$$\delta = f \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}}.$$

Коэффициент трения  $f$  А. И. Целиков рекомендует определять по формулам Эжелунда (для стальных валков  $f = 1,05 - 0,0005 t$ ); для чугуновых  $f = 0,8(1,05 - 0,0005 f)$ .

Каждая кривая номограммы (рис. 12) соответствует определенному проценту обжатия  $\left( \frac{\Delta h}{H_0} \cdot 100\% \right)$ .

Формула А. И. Целикова, без учета влияния скорости деформации и внешних зон, дает заниженные значения среднего удельного

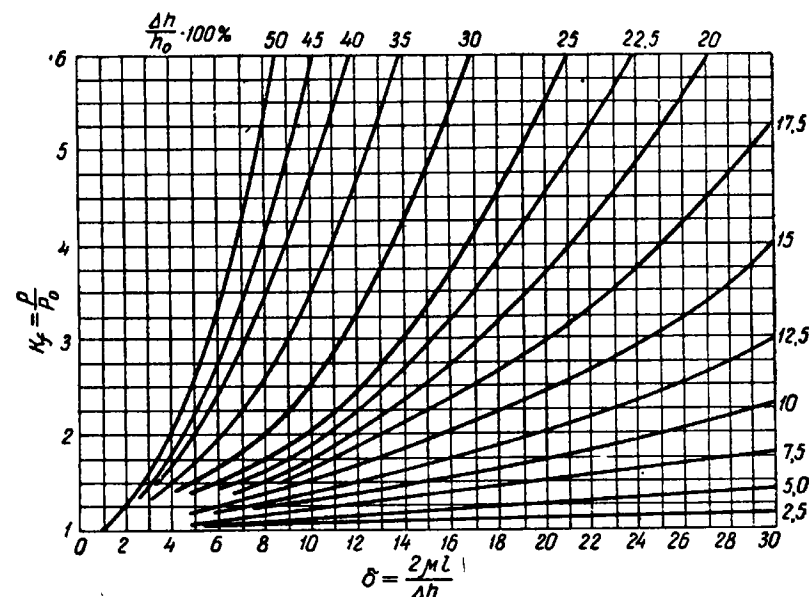


Рис. 12. Изменение внешнего сопротивления в зависимости от трения и обжатия (по Целикову)

ного давления металла на валок против фактических данных. С учетом указанных выше факторов при использовании формулы А. И. Целикова расхождение получаемых результатов с экспериментальными несущественно [4]. Однако учет скорости деформации и внешних зон при подсчете  $p_{ср}$  требует дальнейшего совершенствования. Поэтому для студентов техникумов в задачке разбирается формула А. И. Целикова без учета влияния скорости деформации и внешних зон.

Формула Эжелунда [5]. Полезное удельное давление определяется по эмпирической формуле

$$p_0 = \sigma + \eta u, \quad (11)$$

где  $\sigma$  — статическое сопротивление деформации, кг/мм<sup>2</sup>, определяемое по формуле

$$\sigma = (14 - 0,01t)(1,4 + C + Mn + 0,3Cr) \text{ кг/мм}^2. \quad (12)$$

Здесь С, Мп, Сг — содержание углерода, марганца и хрома, %;  
 $t$  — температура прокатки, °С;  
 $\eta$  — коэффициент вязкости:

$$\eta = 0,01(14 - 0,01t) \cdot c, \quad (13)$$

где  $c$  — коэффициент, зависящий от скорости прокатки:

$v$ , м/сек	$c$
До 6	1,0
6—10	0,8
10—15	0,65
25—20	0,60

Относительная скорость деформации  $u$  определяется по формуле

$$u = \frac{2v \sqrt{\frac{H_0 - h_1}{R}}}{H_0 + h_1} \text{сек}^{-1}, \quad (14)$$

где  $v$  — окружная скорость валков, мм/сек;  
 $H_0$  — толщина полосы до прохода, мм;  
 $h_1$  — толщина полосы после прохода, мм.  
 Внешнее сопротивление учитывается формулой

$$k_f = 1 + \frac{1,6f \sqrt{R(H_0 - h_1)} - 1,2(H_0 - h_1)}{H_0 + h_1}, \quad (15)$$

где  $f$  — коэффициент трения определяется по формуле Эке-лунда.

Полное удельное давление определяется из равенства

$$p = k_f p_0 = k_f (\sigma + \eta u). \quad (16)$$

Формула А. Ф. Головина и В. А. Тягунова [6, 7].  
 Полезное удельное давление определяется по формуле В. А. Тягунова

$$p_0 = k_t \cdot \sigma_b, \quad (17)$$

где  $\sigma_b$  — предел прочности стали в холодном и отожженном состоянии, кг/мм<sup>2</sup>;

$k_t$  — температурный коэффициент, зависящий от температуры плавления прокатываемой стали  $t_{пл}$  и температуры нагрева  $t$ :

при  $t > (t_{пл} - 575)$

$$k_t = \frac{0,95t_{пл} - t}{1500} \approx \frac{(t_{пл} - 75) - t}{1500}; \quad (18)$$

при  $t < (t_{пл} - 575)$

$$k_t = \left( \frac{t_{пл} - t}{1000} \right)^2. \quad (19)$$

Для приближенного определения  $t_{пл}$  и  $\sigma_b$  углеродистых сталей можно использовать кривые, приведенные на рис. 13 [8].

Внешнее сопротивление при расчете полного удельного давления определяется по формуле А. Ф. Головина

$$k_f = 1 + f \left( \frac{2 \sqrt{R \Delta h}}{H_0 + h_1} - 1 \right) = 1 + f \left( \frac{l_c}{h_c} - 1 \right). \quad (20)$$

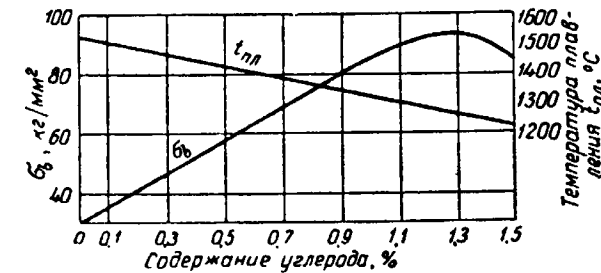


Рис. 13. Кривые для определения  $t_{пл}$  и  $\sigma_b$  углеродистых сталей

где  $f$  — коэффициент трения по А. Ф. Головину, равный 0,33;

при  $\frac{l_c}{h_c} \leq 1$  принимается  $k_f = 1$ .

Формула для полного удельного давления в общем виде по А. Ф. Головину и В. А. Тягунову имеет вид:

$$p = k_f \cdot k_t \cdot \sigma_b.$$

#### § 4. УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Большим сопротивлением деформации обладают стали и сплавы, которые характеризуются большим пределом прочности при данной температуре и коэффициентом трения, а также увеличенной склонностью к упрочнению при прокатке.

Я. С. Гинцбург, К. К. Андрацкий [9] систематизировали литературные данные по удельному давлению при прокатке легированной стали и представили их в виде графика (рис. 14). Химический состав сталей указан в табл. 1.



Таблица 1

Химический состав сталей, %

№ сталей (см. рис. 14)	C	Si	Mn	Cr	Ni
1	0,28	0,22	0,50	10,24	—
2*	0,06	1,19	0,29	22,50	0,14
3	0,11	0,63	0,64	18,40	9,10
4	0,14	1,90	0,69	25,50	20,50
5**	0,47	1,98	0,85	15,40	13,70
6***	0,13	0,26	0,51	—	3,74
7	0,08	0,05	0,06	—	—

\* Al — 2,28%.  
 \*\* W — 1,95%.  
 \*\*\* Cu — 0,13%.

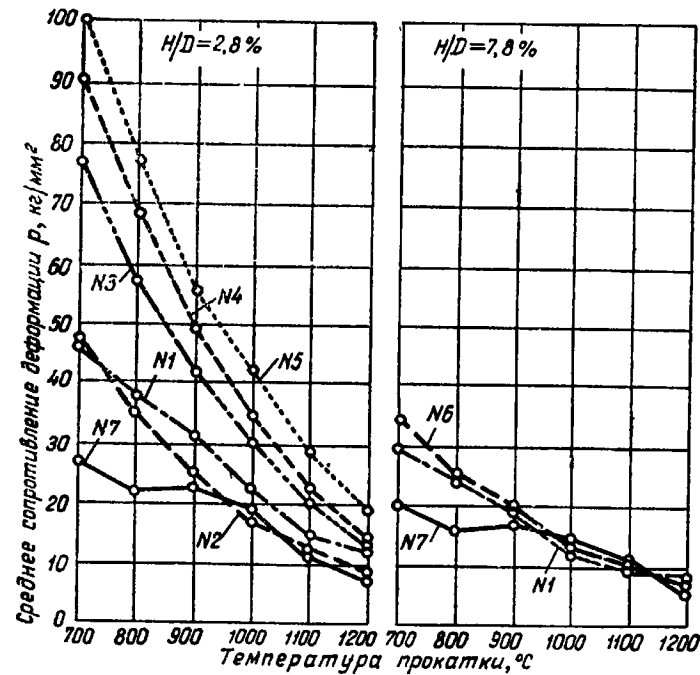


Рис. 14. Сравнение сопротивления деформации углеродистых и легированных сталей (обжатие 30%)

Полное удельное давление, полученное при прокатке на блюминге нержавеющей, жаропрочной и углеродистой сталей, приведено на рис. 15. Зависимость удельного давления при горячей прокатке стали Р18 на стане 300 от степени деформации и температуры прокатки показаны на рис. 16 [10].

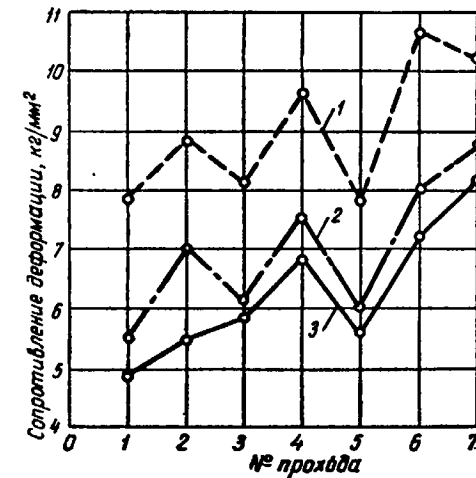


Рис. 15. Сопротивление деформации по проходам при прокатке на блюминге. Стали:

1 — нержавеющая; 2 — жаропрочная;  
 3 — углеродистая (0,1% С)

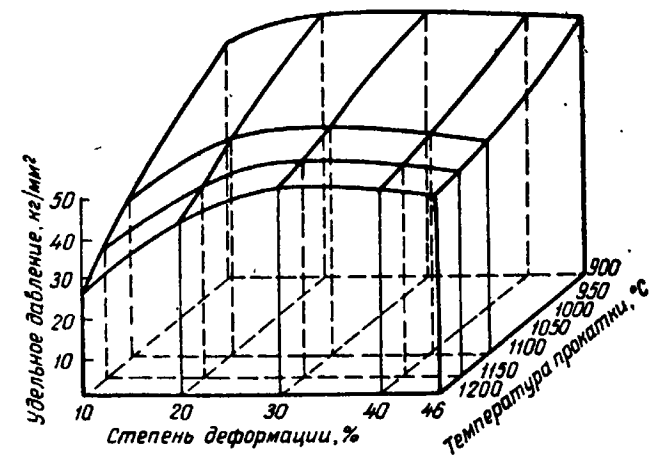


Рис. 16. Зависимость удельных давлений при горячей прокатке стали Р18 от степени деформации и температуры прокатки

## § 5. УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Сопrotивление деформации при прокатке фасонных профилей представлено в виде графика (рис. 17). На рис. 18 приведена зависимость (по данным А. П. Чекмарева и Л. Ф. Молоткова [11]) удельного давления от температуры при прокатке обручки  $25 \times 1,7$  мм.

Зависимость удельного давления от температуры при задаче овала  $46 \times 28,5$  мм в овал  $47 \times 19,6$  мм (а) и квадрата  $39 \times 39$  мм в овал  $46 \times 28,5$  мм (б) приведена на рис. 19.

Из рассмотрения указанных выше графиков следует, что удельное давление:

1) при прокатке сортовой стали увеличивается с понижением температуры; 2) снижается с уменьшением степени деформации; 3) возрастает с увеличением предела прочности стали при температурах прокатки; 4) повышается с увеличением неравномерности и скорости деформации, контактного трения и отношения длины дуги захвата  $l_d$  к толщине полосы  $h$ .

Пример. Определить полное удельное давление  $p$  и общее давление металла на валок  $P$  по разобранным нами формулам при следующих условиях прокатки:

1. Диаметр валков  $D = 300$  мм.
2. Скорость прокатки  $v = 4$  м/сек.
3. Материал деформируемого металла — сталь 15.
4. Размеры полосы до прокатки:  
толщина полосы  $H_0 = 30$  мм;  
ширина полосы  $B_0 = 40$  мм.
5. Размеры полосы после прокатки:  
толщина полосы  $h = 20$  мм;  
ширина полосы  $b = 44$  мм.
6. Температура плавления стали 15  $t_{пл} = 1500^\circ$  (см. рис. 13).
7. Температура металла при прокатке  $t = 900^\circ$ .
8. Предел прочности стали 15 при температуре  $900^\circ$  —  $4,5$  кг/мм<sup>2</sup> (см. рис. 1).
9. Коэффициент контактного трения  $f = 0,3$ .

Решение. Контактная площадь равна

$$\Pi = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{R(H_0 - h_1)} = \frac{40 + 44}{2} \sqrt{150(30 - 20)} = 1625,4 \text{ мм}^2.$$

По С. И. Губкину. Полезное удельное давление  $p_0$  определяем по формуле (7):

$$p_0 = k_v \left[ 1 + \beta(0,95t_{пл} - t) + \frac{\beta^2(0,95t_{пл} - t)^2}{2} \right] \sigma_b =$$

$$= 2,5 \left[ 1 + 0,008(0,95 \cdot 1500 - 900) + \frac{0,008^2(0,95 \cdot 1500 - 900)^2}{2} \right] \times$$

$$\times 0,5 = 17,5 \text{ кг/мм}^2.$$

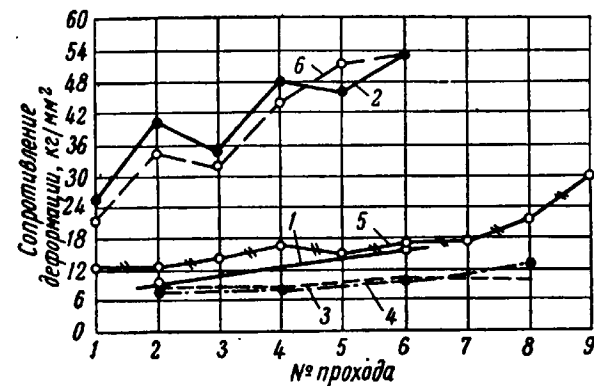


Рис. 17. Сопrotивление деформации по проходам при прокатке фасонных профилей:

1 — двутавровая балка № 24; 2 — швеллер № 10 (марганцовистая сталь 0,25% С; 1,45% Мп; 0,4% Si); 3 — швеллер № 24; 4 — швеллер № 30 (углеродистая сталь 0,1 + 0,15% С); 5 — рельс IIA; 6 — швеллер № 10 (сталь Ст. 3)

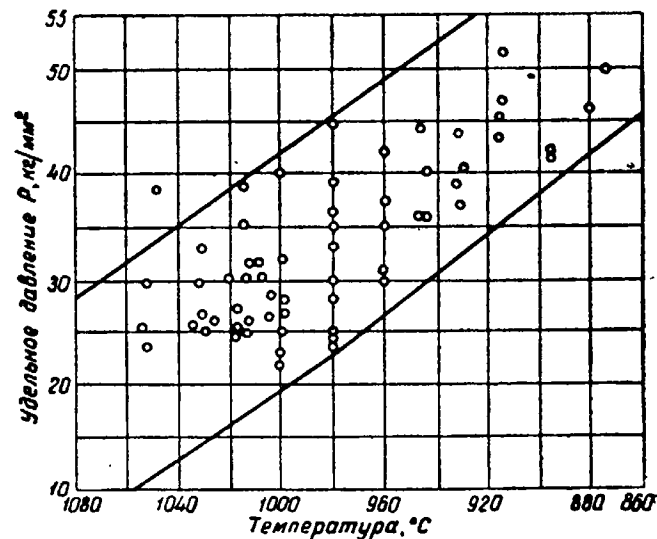


Рис. 18. Удельное давление при прокатке обручки  $25 \times 1,7$  мм из стали Ст. 3

Коэффициент внешнего сопротивления по формуле (8) равен

$$k_f = k_\sigma \left( 1 + 1,3f \sqrt{\frac{R}{h}} \right) = 1,3 \left( 1 + 1,3 \cdot 0,3 \sqrt{\frac{150}{30}} \right) = 2,43.$$

Полное удельное давление равно

$$p = k_f \cdot p_0 = 2,43 \cdot 17,5 = 42,5 \text{ кг/мм}^2.$$

Общее давление металла на валок

$$P = \Pi \cdot p_{cp} = \frac{1625,4 \cdot 42,5}{1000} = 69,1 \text{ т.}$$

По А. И. Целикову. Предел прочности  $\sigma_b$  А. И. Целиков определяет по кривой, построенной Вражким и Францевичем, принимая при температуре

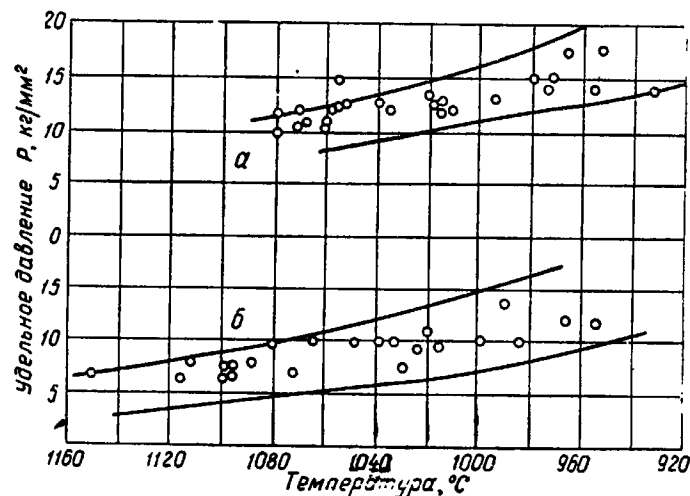


Рис. 19. Удельное давление при прокатке стали Ст. 3 на стане 320 мм

$t = 900^\circ$   $\sigma_b = 7,5 \text{ кг/мм}^2$ . Согласно данным табл. 1 предел прочности стали 15 при той же температуре  $\sigma_b = 4,5 \text{ кг/мм}^2$ . Такая разница в значениях  $\sigma_b$ , возможно, получена в результате испытаний металла на растяжение; в первом случае с большей скоростью в сравнении со вторым. Принимаем в расчет значение предела прочности по А. И. Целикову, а именно:  $\sigma_b = 7,5 \text{ кг/мм}^2$ . Полезное удельное давление равно

$$p_0 = 1,15 \cdot \sigma_b = 1,15 \cdot 7,5 = 8,625 \text{ кг/мм}^2.$$

Коэффициент трения А. И. Целиков считает по Экеунду:

$$f = 0,8 (1,05 - 0,0005 \cdot 900) = 0,48.$$

$$\delta = f \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}} = 0,48 \sqrt{\frac{2 \cdot 300}{10}} = 3,72.$$

$$u = \frac{\Delta h}{H} 100 = \frac{10}{30} \cdot 100 = 33,3\%.$$

По графику (рис. 12)  $k_t = 1,07$ .

Полное удельное давление равно

$$p = 1,15 k_f \sigma_f = 1,15 \cdot 1,07 \cdot 7,5 = 9,23 \text{ кг/мм}^2.$$

Общее давление на валок равно

$$P = p_{cp} \Pi = \frac{9,23 \cdot 1625,4}{1000} = 15 \text{ т.}$$

По Экеунду. Полезное удельное давление  $p_0$  определяется по формуле (11). Статическое сопротивление деформации стали 15 по Экеунду равно  $\sigma = (14 - 0,01 t) \times (1,4 + C + Mn + 0,3 Cr) = (14 - 0,01 \cdot 900) \times (1,4 + 0,15 + 0,3) = 9,25 \text{ кг/мм}^2$ .

Коэффициент вязкости равен

$$\eta = 0,01 (14 - 0,01 t) c = 0,01 (14 - 0,01 \cdot 900) \cdot 1,0 = 0,05 \text{ кг·сек/мм}.$$

Относительная скорость деформации определяется из равенства (14):

$$u = \frac{2 \cdot 4000 \sqrt{\frac{30 - 20}{150}}}{50} = 41,5 \text{ сек}^{-1}.$$

Подставляя в уравнение (11) значение  $\sigma$ ,  $\eta$  и  $u$ , получим

$$p_0 = \sigma + \eta u = 9,25 + 0,05 \cdot 41,5 = 11,33 \text{ кг/мм}^2.$$

Внешнее сопротивление определяется по формуле (15):

$$k_f = 1 + \frac{1,6 \cdot 0,48 \sqrt{150 \cdot 10} - 1,2 \cdot 10}{50} = 1,354.$$

Полное удельное давление равно

$$p = k_f \cdot p_0 = 11,33 \cdot 1,354 = 15,34 \text{ кг/мм}^2.$$

Общее давление на валок равно

$$P = p_{cp} \Pi = \frac{15,34 \cdot 1625,4}{1000} = 24,93 \text{ т.}$$

По А. Ф. Головину и В. А. Тягунову. Полезное удельное давление определяется по формуле (17):

$$p_0 = k_t \cdot \sigma_b.$$

Так как температура стали 15 перед прокаткой ( $t = 900^\circ$ ) меньше ( $t_{пл} = 575^\circ$ ), значение  $k_t$  определяем по формуле (19):

$$k_t = \left( \frac{t_{пл} - t}{1000} \right)^2 = \left( \frac{1500 - 900}{1000} \right)^2 = 0,36.$$

Предел прочности стали 15 в холодном отожженном состоянии равен  $\sigma_b = 40 \text{ кг/мм}^2$ . Тогда  $p_0 = 40 \cdot 0,36 = 14,4 \text{ кг/мм}^2$ . Внешнее сопротивление при расчете полного удельного давления определяется по формуле (20):

$$k_f = 1 + 0,33 \left( \frac{2 \sqrt{150 \cdot 10}}{50} - 1 \right) = 1,182.$$

Полное удельное давление равно

$$p = k_f k_t \sigma_b = 1,182 \cdot 0,36 \cdot 40 = 17,02 \text{ кг/мм}^2.$$

Общее давление на валок равно

$$P = p_{\text{ср}} \Pi = \frac{1625,4 \cdot 17,02}{1000} = 27,7 \text{ т.}$$

Результаты произведенных выше расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Удельное и общее давление на валок по формулам различных авторов

Формулы	$p_0$ кг/мм <sup>2</sup>	$k_f$	$p$ кг/мм <sup>2</sup>	$P$ , т
Экелунда . . . . .	11,31	1,354	15,31	22,2
С. И. Губкина . . . . .	17,5	2,43	42,5	69,1
А. Ф. Головина и В. А. Тягунова . .	14,4	1,182	17,02	27,7
А. И. Целикова . . . . .	8,625	1,07	9,23	15,0

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Практическое применение результатов механических испытаний стали и сплавов (§ 2, глава I)

1. Определить допустимый коэффициент вытяжки при прокатке в ящичном калибре квадрата  $200 \times 200$  мм стали марки 18ХНВА при температуре  $1000^\circ \text{C}$  с пределом прочности  $\sigma_b = 4,9 \text{ кг/мм}^2$ , если известно, что при этой же температуре из того же квадрата сталь 15 с  $\sigma_b = 2,8 \text{ кг/мм}^2$  деформируется при коэффициенте вытяжки 1,25.

Отв.  $\mu_t' = 1,143$ .

2. С каким коэффициентом вытяжки следует в ящичном калибре деформировать сталь марки Р18 при температуре  $1200^\circ \text{C}$ , если известно, что сталь 15 при этой же температуре и в том же калибре прокатывается с коэффициентом вытяжки  $\mu = 1,30$ ? Для марки Р18 при  $t = 1200^\circ \text{C}$ ,  $\sigma_b = 2,1 \text{ кг/мм}^2$ , а для стали 15  $\sigma_b = 1,4 \text{ кг/мм}^2$ .

Отв.  $\mu_t' = 1,20$ .

3. Прокатка слитков марки 1Х18Н9Т на блюминге производится с вытяжкой  $\mu = 1,13$  при температуре  $t = 1100^\circ \text{C}$ . Определить, с каким коэффициентом вытяжки возможна прокатка стали 15 того же слитка и на том же стане. Известно, что при  $t = 1100^\circ \text{C}$  для марки 1Х18Н9Т  $\sigma_b = 3,8 \text{ кг/мм}^2$ , а для стали 15  $\sigma_b = 2,4 \text{ кг/мм}^2$ .

Отв.  $\mu_t = 1,206$ .

4. Прокатка полосовой стали  $4 \times 30$  мм на стане 300 (двойное дуо) марки 12ХН3А в одном из проходов при температуре  $t =$

$= 1200^\circ \text{C}$  производилась с коэффициентом вытяжки  $\mu = 1,56$ . С каким коэффициентом вытяжки допустима прокатка той же полосы на этом же стане сплава Х15Н60?

Известно, что при  $t = 1200^\circ \text{C}$  для стали марки 12ХН3А  $\sigma_b = 1,6 \text{ кг/мм}^2$ , а для сплава марки Х15Н60  $\sigma_b' = 2,9 \text{ кг/мм}^2$ .

Отв.  $\mu_t' = 1,309$ .

5. Определить средний коэффициент вытяжки для прокатки заготовки из блюмов марки 12ХН3А, если известно, что в этих же условиях блюмы из стали марки 15 прокатываются при  $\mu_{\text{ср}} = 1,15$ . Для обоих случаев принимается температура металла  $t = 1000^\circ \text{C}$ , при которой для стали 15  $\sigma_b = 2,8 \text{ кг/мм}^2$ , а для стали марки 12ХН3А  $\sigma_b' = 4,0 \text{ кг/мм}^2$ .

Отв.  $\mu_t' = 1,105$ .

Определение контактной площади металла с валками и давления металла на валок (§ 3, глава I)

1. Определить контактную площадь при прокатке сляба на трехвалковом стане 750/500/750. Ширина сляба до прокатки  $b_0 = 250$  мм, линейное обжатие  $\Delta h = 30$  мм, ширина сляба после прокатки  $b_1 = 259$  мм.

Отв.  $\Pi = 24142 \text{ мм}^2$ .

2. Квадратная заготовка  $14 \times 14$  мм прокатывается на стане дуо  $D = 300$  мм в овальном калибре  $8,5 \times 22,6$  мм. Определить контактную площадь металла с валками.

Примечание. При прокатке квадрата в плоском овале линейное обжатие равно  $\Delta h = H_0 - 0,7 h$ .

Отв.  $635,7 \text{ мм}^2$ .

3. Вычислить контактную поверхность при прокатке круга  $d = 26$  мм из овала  $24,4 \times 35,5$  мм. Диаметр валков  $D = 300$  мм.

Примечание. Линейное обжатие определить по формуле

$$\Delta h = 0,85H - 0,79h.$$

Отв.  $853 \text{ мм}^2$ .

4. Определить контактную площадь при прокатке квадрата  $25 \times 25$  мм из овала  $19,8 \times 49,5$  мм. Диаметр валков  $D = 400$  мм.

Примечание. Линейное обжатие рассчитать по формуле

$$\Delta h = 0,7H - 0,6h.$$

Отв.  $1430 \text{ мм}^2$ .

5. Найти контактную поверхность при прокатке ромба  $170 \times 199,2$  мм (размеры диагоналей) из ромба  $219,2 \times 190,6$  мм. Диаметр валков  $D = 500$  мм.

Примечание. Линейное обжатие определить по формуле

$$\Delta h = 0,6(H_0 - h_1).$$

Отв. 16472 мм<sup>2</sup>.

6. Сталь, содержащая 0,3% углерода и 0,6% марганца, прокатывается на обжимном стане с диаметром валков  $D=700$  мм при температуре металла 1000°. Окружная скорость валков 1 м/сек. Высота полосы до прохода  $H_0=200$  мм, после прохода  $h=145$  мм. Ширина полосы до прохода  $b_0=200$  мм, после прохода  $B=216$  мм. Определить давление металла на валок по методу Экелунда.

Отв. 311,7 т.

## ГЛАВА II

### ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

#### § 1. ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА ОБЪЕМА И КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕФОРМАЦИИ

По закону постоянства объема прокатываемого металла объем полосы до прокатки практически равен объему полосы после прокатки:

$$V_0 = V_1$$

или

$$H_0 B_0 L_0 = h_1 b_1 l_1,$$

тогда

$$\mu = \frac{H_0 B_0}{h_1 b_1} = \frac{l_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1},$$

где  $\mu$  — коэффициент вытяжки.

Площади простейших профилей определяются по формулам, указанным в табл. 3.

При уширении, равном нулю, т. е.  $\Delta b = 0$  (например, при прокатке широких полос или листа)

$$\mu = \frac{H_0}{h_1}.$$

Значение общего коэффициента вытяжки определяют из уравнения

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{F_0}{F_n},$$

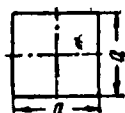

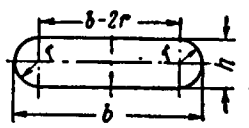
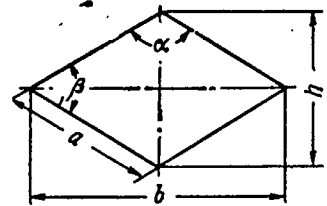
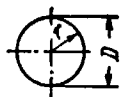
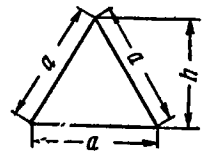
где  $F_0$  — исходное сечение, мм<sup>2</sup>;

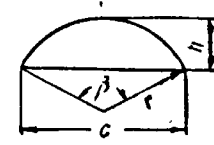
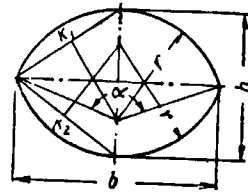
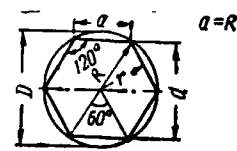
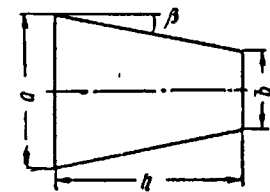
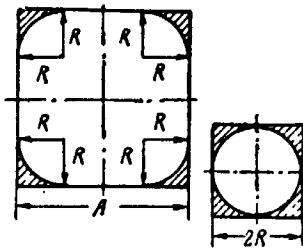
$F_n$  — конечное сечение, мм<sup>2</sup>.

Общий коэффициент вытяжки равен произведению коэффициентов вытяжки в отдельных проходах:

$$\mu_{\text{общ}} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \dots \cdot \mu_n.$$

## Формулы для определения площадей простейших профилей

Название профиля	Эскиз профиля	Площадь профиля, мм <sup>2</sup>
Квадрат		$a^2$
Прямоугольник		$ab$
Прямоугольник с закругленными краями		$(b - 2r)h \mp \pi r^2$
Ромб		$\frac{bh}{2} = a^2 \sin \beta$
Круг		$\pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785D^2$
Равносторонний треугольник (трехгранка)		$\begin{aligned} \sqrt{p(p-a)^3} &= (p-a) \times \\ &\times \sqrt{p(p-a)}, \text{ где } p = \\ &= \frac{3}{2}a \text{ или } 0,574h^2 = \\ &= 0,433a^2 \end{aligned}$

Название профиля	Эскиз профиля	Площадь профиля, мм <sup>2</sup>
Круглый сегмент		$\begin{aligned} \frac{r^2}{2} \left( \frac{\pi \beta^\circ}{180} - \sin \beta \right) &\approx \frac{2}{3} hc \quad \blacklozenge \\ \blacklozenge \frac{h^3}{2c} &\approx \frac{2}{3} hc \end{aligned}$
Овал		$\begin{aligned} r^2 \left( \frac{\pi \beta^\circ}{180} - \sin \beta \right) \\ r = \frac{h}{2 \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)} \\ \text{или} \\ r = \frac{h^2 + b^2}{4h} \end{aligned}$ <p>Приблизительно площадь овала равна: <math>\omega = \frac{2}{3}bh</math></p>
Шестигранник		$\begin{aligned} \frac{3}{2} a^2 \sqrt{3} &= \frac{3}{2} R^2 \sqrt{3} = \\ &= 2r^2 \sqrt{3} = 0,866d^2 \end{aligned}$
Трапеция		$\frac{a+b}{2} h \text{ или } \frac{a^2 - b^2}{4 \operatorname{tg} \beta}$
Квадрат с закругленными углами		$\begin{aligned} A^2 - [4R^2 - \pi R^2] &= \\ &= A^2 \left[ 1 - 0,86 \left( \frac{R}{A} \right)^2 \right] \end{aligned}$

Если в каждом проходе дается одинаковая вытяжка  $\mu_{\text{ср}}$ , то

$$\mu_{\text{общ}} = \mu_{\text{ср}}^n$$

или

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\mu_{\text{общ}}}$$

где  $n$  — число проходов.

При расчете калибровок принимаются практические значения среднего коэффициента вытяжки  $\mu_{\text{ср}}$  (см. табл. 4, 5).

Таблица 4

Практические коэффициенты вытяжки (по А. П. Виноградову)

Валки	Назначение валков	Коэффициент вытяжки
<i>Для фасонных профилей</i>		
1. Обжимные валки	—	1,2—1,85
2. Черновые валки	Для тавровых, угловых, швеллерных, зетовых и т. п. профилей	1,2—1,4
1. Отделочные валки	То же	1,1—1,2
<i>Для сортовых профилей</i>		
3. Подготовительные валки	Для круга квадрата, шестигранника и др.	1,14—1,20
	Для полосы	1,30—2,0
2. Чистовые валки	То же	1,14—1,15
3. Подготовительные валки	Для черновых квадратов и овалов	1,2—1,8
	Для стрельчатых и ромбических калибров	1,4—1,8

Зная  $\mu_{\text{ср}}$  и  $\mu_{\text{общ}}$ , находят требуемое количество проходов из равенства

$$n = \frac{\lg \mu_{\text{общ}}}{\lg \mu_{\text{ср}}} = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \mu_{\text{ср}}}$$

При  $\Delta b = 0$

$$n = \frac{\lg H_0 - \lg h_n}{\lg \mu_{\text{ср}}}$$

При расчете калибровок приходится определять следующие величины:

линейное обжатие:  $\Delta h = H - h$ ;

относительное обжатие:  $u = \frac{\Delta h}{H} \cdot 100$ .

Величины абсолютного и относительного обжатия могут быть

Таблица 5

Вытяжки и обжатия при прокатке слитков качественных сталей на малом реверсивном блюминге

(по Я. С. Гинцбургу)

Название стали	Средняя вытяжка	Среднее обжатие %	Обжатие в первом проходе %	Обычные обжатия %
Высокомарганцовистая сталь . . .	1,11—1,12	9—10	1—7	До 15—16
Нержавеющая аустенитная (0,1—0,25% С, 9—9,5% Cr, 17,5—18,5% Ni) . . . . .	1,13	14	5—10	12—20
Жароупорная аустенитная (0,15% С, 19—21% Ni, 24—25% Cr) . . . . .	1,08—1,10	10—15	3—9	15—22
Автоматная (0,09—0,11% С, 0,05—0,08% Р, 0,15—0,20% S) . . .	1,10—1,11	9—10	2—7	10—18
Инструментальная углеродистая (0,9—1,2% С) . . . . .	1,12—1,15	12—13	7—12	12—20
Инструментальная вольфрамовая (1,05—1,25% С, 1,1—1,2% W)	1,13	10	4—10	10—20
Шарикоподшипниковая (1,0% С, 1,4% Cr) . . . . .	1,14—1,15	10	1—5	10—20
Хромовольфрамовая . . . . .	1,16	13	10—20	10—20
Хромоникелевая конструкционная (0,10—0,15% С, 0,6—0,8% Cr, 2,5—3,0% Ni) . . .	1,14—1,15	13	10	10—20
Углеродистая конструкционная (0,45—0,70% С) . . . . .	1,15—1,16	13—15	8—12	10—23

выражены через площадь поперечного сечения деформируемого металла:

$$\Delta F = F_0 - F_1,$$

$$100 \frac{\Delta F}{F_0} = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100.$$

При анализе калибровок приходится пользоваться следующими коэффициентами деформации:

$\eta = \frac{h}{H}$  — коэффициент уменьшения высоты;

$\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h}$  — коэффициент обжатия;

$\beta = \frac{b}{B}$  — коэффициент уширения;

$\lambda = \frac{l}{L}$  — коэффициент удлинения или вытяжки.

Все перечисленные коэффициенты входят в формулу И. Я. Тарновского:

$$\frac{\lg \beta}{\lg \frac{1}{\eta}} + \frac{\lg \lambda}{\lg \frac{1}{\eta}} = 1.$$

Отношение  $\frac{\lg \beta}{\lg \frac{1}{\eta}}$  указывает, какую долю составляет объем, смещенный в направлении ширины от объема, смещенного по высоте. Отношение  $\frac{\lg \lambda}{\lg \frac{1}{\eta}}$  указывает, какую долю составляет объ-

ем, смещенный в направлении длины от объема, смещенного по высоте.

Так как объем, смещенный по высоте, равен сумме объемов, смещенных в ширину и длину, то, следовательно, сумма этих двух долей равна единице.

При определении работы деформации, при анализе калибровок приходится прибегать к определению смещенного объема. Смещенный объем для прямоугольного сечения определяется по формуле

$$V_{\text{см}} = (F_0 - F_1 + q) L_0, \quad (21)$$

где  $q$  — поперечное сечение, полученное за счет уширения.

Уравнение (21) пригодно для определения смещенного объема при прокатке любого профиля. Смещенный объем бруска, рассматриваемый в его непрерывности, может быть определен по формуле

$$V'_{\text{см}} = V \ln \frac{1}{\eta}. \quad (22)$$

## § 2. ЗАХВАТ МЕТАЛЛА ВАЛКАМИ И МАКСИМАЛЬНОЕ ОБЖАТИЕ

Напомним основные формулы, необходимые для определения параметров калибровки валков.

Схема деформации металла между валками указана на рис. 20.

1. Длина дуги захвата может быть определена по формуле

$$l_d = R \alpha.$$

Длина хорды этой дуги равна

$$l_{\text{хд}} = \sqrt{R \Delta h}.$$

2. При сравнительно небольших углах захвата угол захвата в радианах равен

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

или в градусах

$$\alpha^\circ = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}.$$

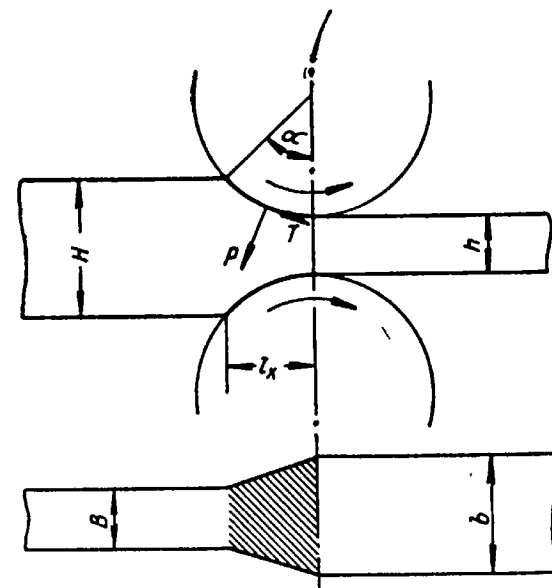


Рис. 20. Схема очага деформации при прокатке

Можно угол захвата определять также и по известной формуле

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D_p}.$$

Зная  $D_p$  и  $\Delta h$ , угол захвата легко определить по номограммам рис. 21—23.

При прокатке в валках разного диаметра угол захвата для вала меньшего диаметра определяется по формуле

$$\alpha' = \frac{2\beta}{1 + \frac{D'}{D}}, \quad (23)$$

для вала большего диаметра —

$$\alpha = \frac{2\beta}{1 + \frac{D}{D'}}, \quad (24)$$



где  $\beta$  — угол трения, тангенс которого равен коэффициенту трения ( $f = \operatorname{tg} \beta$ ); для чугунных валков  $\beta = 21^\circ - 2v$ , где  $v$  — окружная скорость, м/сек:

$D'$  — меньший диаметр валка;

$D$  — больший диаметр валка.

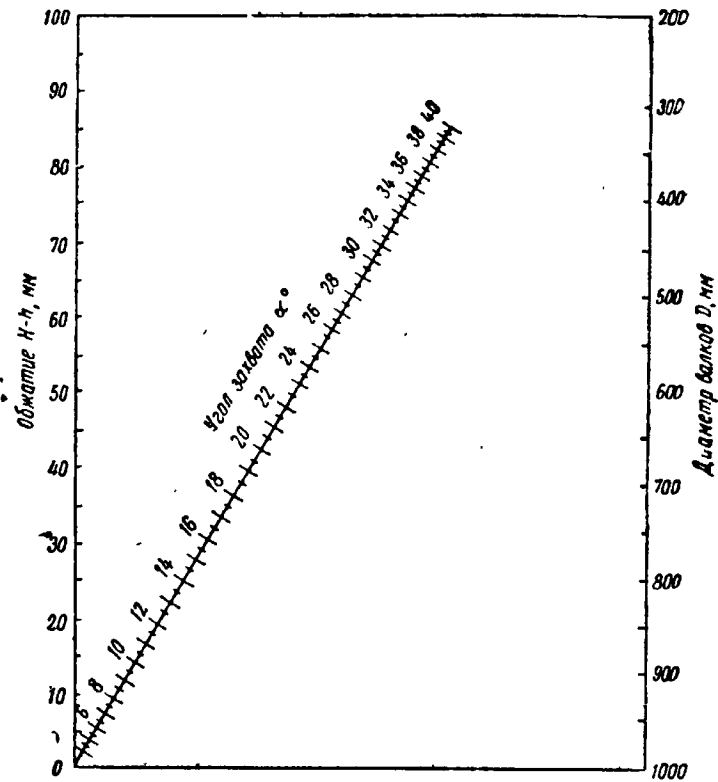


Рис. 21. Номограмма для определения  $\alpha$

При данном рабочем диаметре валка  $D_p$  и коэффициенте трения  $f$  максимально возможное обжатие (без учета прочности валка) может быть определено по формуле

$$\Delta h_{\max} = D_k \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right) \quad (25a)$$

или

$$\Delta h_{\max} \approx 0,5 D_k \cdot f^2. \quad (25,6)$$

В табл. 6 приводится значение  $\frac{\Delta h_{\max}}{D_p}$  при различных коэффициентах трения.

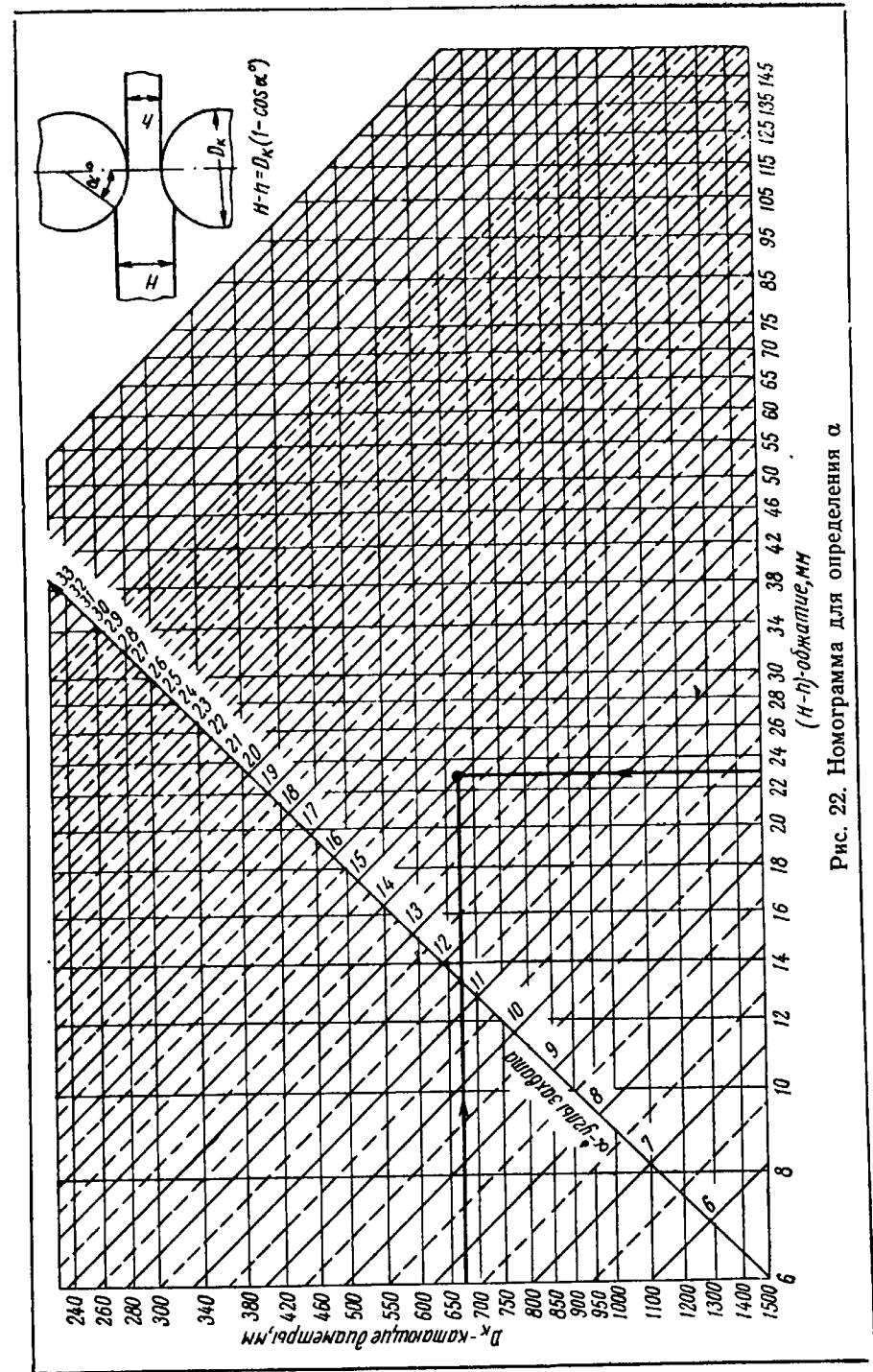


Рис. 22. Номограмма для определения  $\alpha$

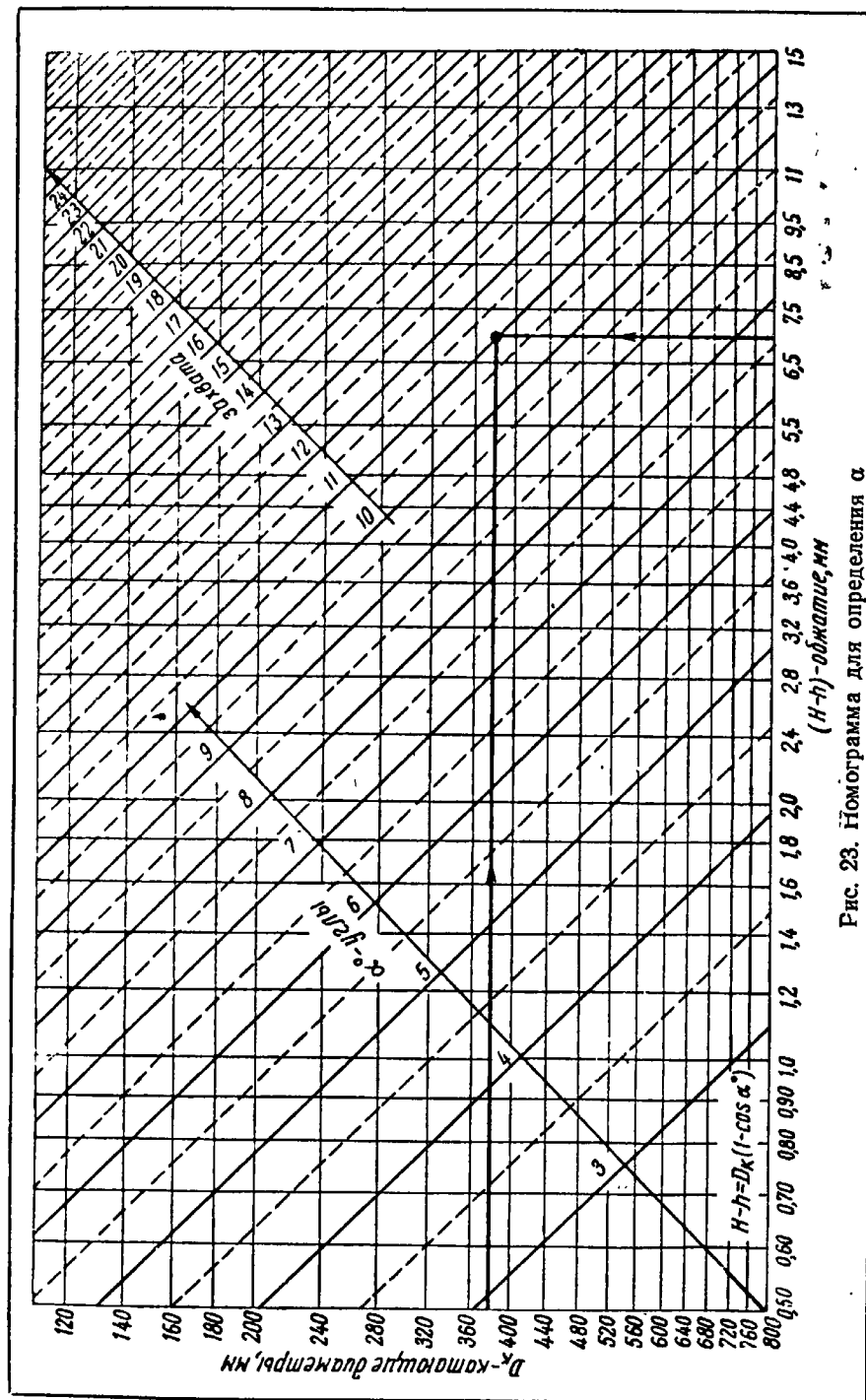


Рис. 23. Номограмма для определения  $\alpha$

Таблица 6  
Значение  $\frac{\Delta h_{\max}}{D_p}$  при различных коэффициентах трения  
(по Бахтинову)

Формула	$f$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
25,а	0,005	0,020	0,045	0,075	0,105	0,140	0,180
25,б	0,005	0,020	0,045	0,080	0,125	0,180	0,245

Если в уравнении (25а) выражение в скобках приравнять коэффициенту  $A$ , то

$$\Delta h_{\max} = AD_K \quad (25c)$$

Значения коэффициента  $A$ , необходимые для практических расчетов максимальных обжатий по формуле (25 с), можно брать по данным, составленным Н. В. Литовченко [12]:

Температура, °С	800	850	900	950
Коэффициент $A$	0,162	0,152	0,142	0,13
Температура, °С	1000	1050	11026	
Коэффициент $A$	0,123	0,114	0,100	
Температура, °С	1150	1200	1250 2	
Коэффициент $A$	0,098	0,090	0,08K	

Коэффициент  $A$  можно определить также по формуле, предложенной В. В. Носалемз для стальных валков.

$$A = 0,3 - 0,0175 \frac{t}{100},$$

для чугунных валков

$$A = (0,66 \div 0,70) \left( 0,3 - 0,0175 \frac{t}{100} \right),$$

где  $t$  — температура прокатываемого металла.

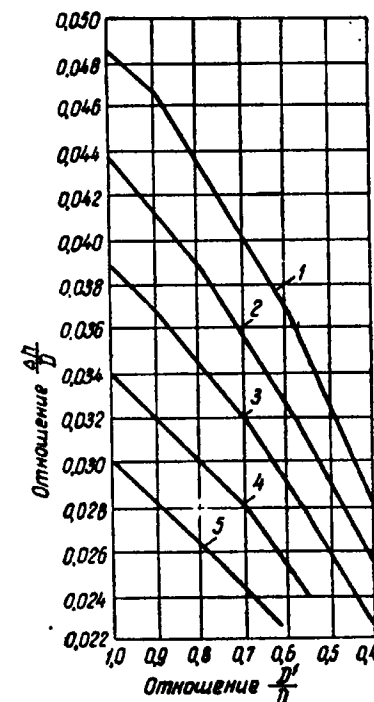


Рис. 24. Предельные обжатия из условий захвата в трехвалковых листовых станах. Скорость прокатки  $v$ , м/сек:

1 — 1,5; 2 — 2,0; 3 — 2,5; 4 — 3,0; 5 — 3,5

Максимально допустимые углы захвата и  $\frac{\Delta h}{D_p}$  при различных случаях прокатки по А. И. Целикову и др. [13] приведены ниже:

	Угол захвата, град.	Отношение $\frac{\Delta h}{D_k}$
При горячей прокатке листов . . .	15—22	$\frac{1}{30} - \frac{1}{15}$
При прокатке сортового металла . .	22—24	$\frac{1}{15} - \frac{1}{12}$
При прокатке в валках с насеченной или наваренной поверхностью . .	27—34	$\frac{1}{9} - \frac{1}{6}$

При прокатке в валках разного диаметра максимальное обжатие, из условия захвата в трехвалковых станах, может быть определено по формуле:

$$\Delta h_{\max} = \frac{D'}{D} (D + D') \sin^2 \left( \frac{21 - 2v}{1 + \frac{D'}{D}} \right), \quad (26)$$

где  $v$  — окружная скорость, м/сек.

Предельные обжатия из условий захвата в трехвалковых листовых станах в зависимости от отношения  $\frac{D'}{D}$  представлены на рис. 24.

### § 3. УШИРЕНИЕ

Для подсчета величины уширения наиболее простой является эмпирическая формула Жёза:

$$\Delta b = k \Delta h,$$

где  $k$  — коэффициент, равный для стали 0,35; для мягкого железа — 0,48.

По И. М. Павлову получаются более надежные результаты при

$$\frac{l_{\text{зд}}}{H_0} = 1 \text{ или } \frac{\sqrt{R \Delta h}}{H_0} = 1.$$

Последующие исследования показали, что при температуре прокатки меньше 1000° следует брать  $k = 0,35$ ; при температуре выше 1000°  $k = 0,25$ .

Для выбора коэффициента  $k$  можно пользоваться диаграммой, построенной А. П. Виноградовым (рис. 25).

Для подсчета величины уширения при заданном обжатии, толщине до и после прохода, ширине полосы до прохода и диаметре валков можно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 26.

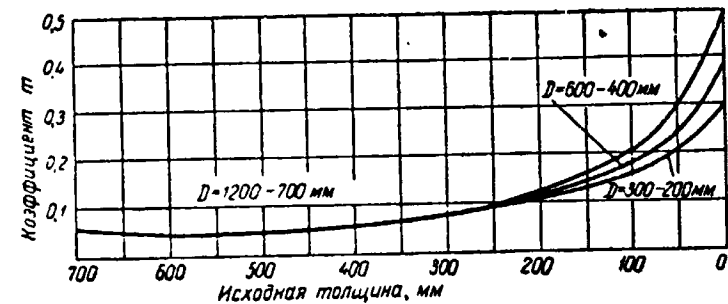


Рис. 25. Диаграмма для выбора коэффициента  $m$

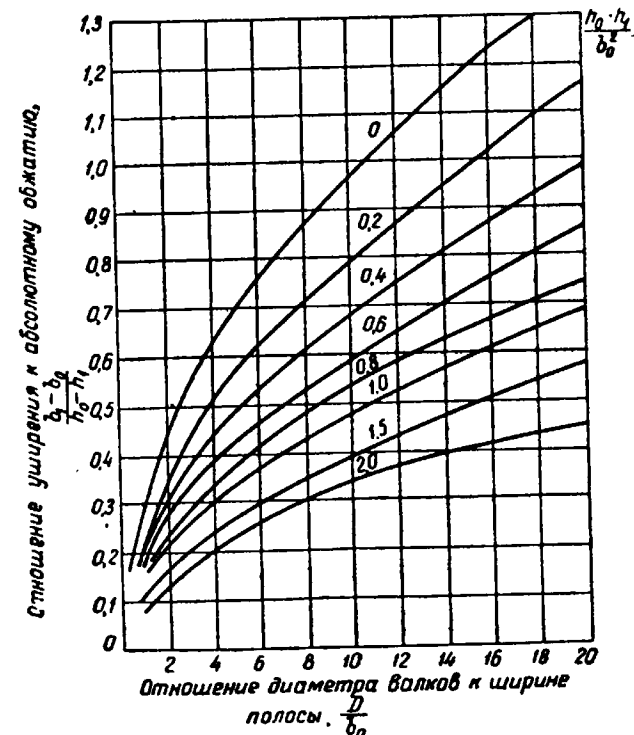


Рис. 26. Номограмма для подсчета величины уширения

Для практических расчетов уширения В. В. Швейкин и В. А. Тягунов рекомендуют пользоваться кривыми, построенными по формулам А. Ф. Головина [14] (см. рис. 27).

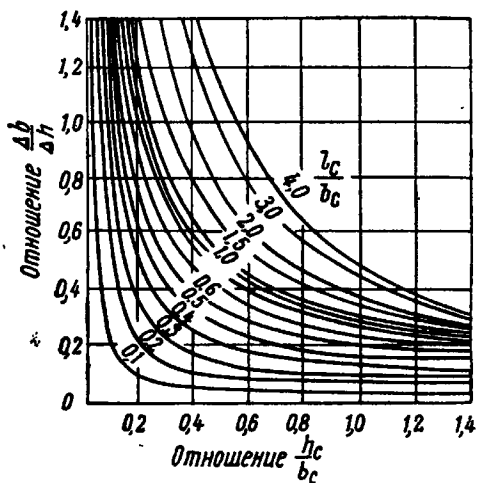


Рис. 27. Кривые для расчета уширения (по Головину)

Наиболее близкие к действительности результаты дает формула С. И. Губкина

$$\Delta b = \left(1 + \frac{\Delta h}{H_0}\right) \left(f + \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2}\right) \frac{\Delta h}{H_0},$$

где  $f$  — коэффициент трения, определяемый по формулам: при прокатке на стальных валках

$$f = 1,05 - 0,0005t,$$

при прокатке на чугунных валках с закаленной поверхностью

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005t).$$

Уравнения для приближенного определения коэффициента трения действительны для случаев прокатки при температуре выше  $750^\circ$ . В общем виде для определения коэффициента трения Б. П. Бахтиновым предложено уравнение

$$f = m_1 m_2 m_3 (1,05 - 0,0005t),$$

где  $m_1$  — коэффициент, учитывающий состояние поверхности и материал валков: для стальных шероховатых валков  $m_1 = 1,0$ ; для чугунных шероховатых валков  $m_1 = 0,8$ ;

$m_2$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости прокатки (рис. 28);

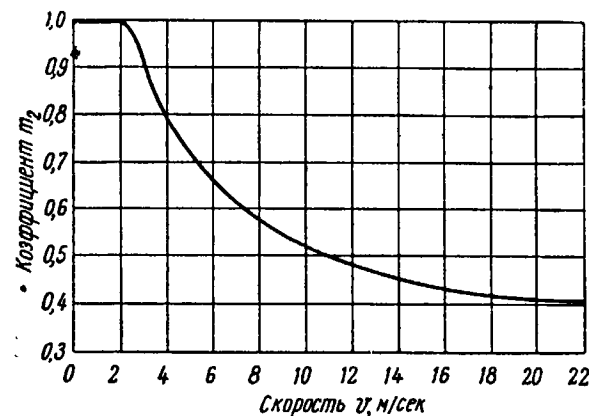


Рис. 28. Значения  $m_2$  (коэффициент, учитывающий влияние скорости прокатки) для расчетов коэффициента трения по уравнению Б. П. Бахтинова

$m_3$  — коэффициент, учитывающий влияние легирующих элементов.

По данным Ю. М. Чижикова, значения коэффициента  $m_3$  следующие (в скобках приведены типичные марки для различных классов сталей).

Для определения уширения  $\Delta b$  Б. П. Бахтинов рекомендует пользоваться приближенной формулой

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H_0} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right).$$

Необходимо отметить, что уширение, подсчитанное по указанным выше формулам, не претендует на абсолютную точность. После опробования калибровки последняя подвергается корректировке. Причина отклонений величины уширения, подсчитанной по формулам, от практических значений кроется в том, что уширение металла при прокатке зависит от значительного количества факторов, которые весьма трудно учесть при выводе формулы для определения уширения.

Класс сталей	$m_3$
Углеродистые (Ст. 1)	1,0
Легированные (Р18)	1,1
Перлитно-мартенситные (ШХ15)	1,3
Аустенитная Х13Н4Г9 (ЭИ100)	1,40
Аустенитная с включениями феррита или ледебурита 1Х18Н9Т	1,44
Ферритные 1Х17Ю5 (ЭИ341)	1,55
Аустенитные с включениями карбидов (Х15Н60)	1,62

#### § 4. ОПЕРЕЖЕНИЕ

Скорость полосы, выходящей из валков, почти всегда больше окружной скорости валков:

$$v_h > v_0$$

Увеличение скорости полосы, отнесенное к окружной скорости валков, называют опережением  $S$ , которое определяется в процентах:

$$S = \frac{v_h - v_0}{v_0} \cdot 100$$

или

$$S = \frac{L - \pi D}{\pi D} \cdot 100.$$

Для подсчета опережения  $S$  пользуются формулами:

$$S = \frac{(D \cos \gamma - h)(1 - \cos \gamma)}{h} \cdot 100$$

или

$$S = \frac{R}{h} \gamma^2 \cdot 100,$$

где  $\gamma$  — критический угол.

Зная угол захвата  $\alpha$  и угол трения  $\beta$ , критический угол  $\gamma$  можно определить также из равенства

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right),$$

где

$$\beta = \alpha_{\max},$$

$$f = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha_{\max}.$$

#### § 5. РАБОТА ПРОКАТКИ

Полная работа, затрачиваемая на прокатку металла, равна

$$A = (A_1 + A_2) + \Sigma A_3,$$

где  $A_1 + A_2$  — работа, расходуемая на деформацию металла и на преодоление контактного трения металла;

$\Sigma A_3$  — сумма работ дополнительного трения во всех частях стана.

Работа, затрачиваемая на деформацию металла и на преодоление контактного трения металла, определяется по формуле И. М. Павлова:

$$A_1 + A_2 = p_{\text{ср}} B_{\text{ср}} D_p \alpha v_{\text{в}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} z \text{ кгм},$$

где  $v_{\text{в}}$  — окружная скорость валков, м/сек;

$\alpha$  — угол захвата, рад;

$p_{\text{ср}}$  — среднее сопротивление деформации, кг/мм<sup>2</sup>;

$B_{\text{ср}}$  — средняя ширина полосы, мм;

$D_p$  — рабочий диаметр вала, мм;

$Z = \frac{l}{v}$  — продолжительность прохода, сек.;

$l$  — длина полосы после прохода, мм.

Формула И. М. Павлова может быть представлена в упрощенном виде (предложено Н. В. Литовченко):

$$A_1 + A_2 = p_{\text{ср}} B_{\text{ср}} \Delta h v_{\text{в}} Z \text{ кгм}$$

или

$$A_1 + A_2 = p_{\text{ср}} B_{\text{ср}} \Delta h l \text{ кгм}.$$

Работа на преодоление дополнительного трения во всех частях стана выражается уравнением

$$\Sigma A_3 = A_3^I + A_3^{II} + A_3^{III} + A_3^{IV} + A_3^V.$$

Работа на преодоление трения шеек валков  $A_3^I$  определяется по формуле

$$A_3^I = fl \cdot \frac{r}{R} (2P_0 + Q) \text{ кгм},$$

где  $r$  — радиус шейки вала, см;

$R$  — радиус бочки вала, см;

$l$  — длина полосы после прокатки, м;

$P_0$  — давление на шейки валков, кг;

$Q$  — вес всех вращающихся частей стана: валков, шестерен, шпинделей, муфт и др.;

$f$  — коэффициент трения в подшипниках.

Значение коэффициента трения  $f$  принимается в зависимости от конструкции подшипников и условий их работы. В подшипниках скольжения: а) с металлическими вкладышами у станков для горячей прокатки  $f=0,07—0,1$ ; б) с вкладышами из пластмассы  $f=0,003—0,007$ ; в) жидкостного трения (типа Моргойль)  $f=0,003$ ; г) в подшипниках качения  $f=0,003$ .

Работа, расходуемая на преодоление трения в зубьях шестеренной клетки  $A_3^{II}$ , определяется по формуле

$$A_3^{II} = \pi f \psi \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_3} \right) (A_1 + A_2) + A_3^I \text{ кгм},$$

где  $f$  — коэффициент трения в зубьях шестерен, при полусухой смазке  $f=0,15$ ;

$z_1, z_2, z_3$  — число зубьев у шестерен (станы трио);

$z_1, z_2$  — число зубьев у шестерен (станы дуо);

$\psi$  — коэффициент плавности, равный 0,6—0,745 (среднее значение  $\psi=0,7$ ).

Работа трения в подшипниках главного вала  $A_3^{III}$  равна

$$A_3^{III} = fGl \cdot \frac{r}{R} \text{ кгм},$$

где  $f$  — коэффициент трения в подшипниках ( $f=0,04$ — $0,05$ );

$G$  — вес маховика, кг;

$l$  — длина полосы, м;

$r$  — радиус шейки главного вала, см;

$R$  — радиус бочки вала, см.

Потери в передаче от стана к электродвигателю ( $A_3^{IV}$ ) учитываются величиной коэффициента полезного действия передачи: для зубчатой одноступенчатой  $\eta_1=0,95$ — $0,98$ ; ременной  $\eta_1=0,8$ — $0,9$ ; канатной  $\eta_1=0,8$ — $0,85$ .

Потери в двигателе ( $A_3^V$ ) учитываются коэффициентом полезного действия двигателя  $\eta_2$ . Обычно  $\eta_2=0,83$ — $0,92$ .

Мощность двигателя может быть определена по формуле

$$N_{\text{двиг}} = \frac{1}{75 \cdot Z} \left[ \frac{(A_1 + A_2) + (A_3^I + A_3^{II} + A_3^{III})}{\eta_1 \cdot \eta_2} \right] \text{ л. с.}$$

Здесь  $\eta_1$  — к. п. д. передачи от стана к мотору;

$\eta_2$  — к. п. д. двигателя;

$Z$  — продолжительность прохода, сек. ( $Z = \frac{l}{v_b}$ ).

Мощность двигателя также определяется по крутящему моменту по формуле

$$N = 1,025 \frac{M \cdot n}{\eta} \text{ кВт},$$

где  $N$  — мощность двигателя, кВт\*;

\* 1 кгм/сек = 0,0133 л. с. = 0,0098 кВт; 1 л. с. = 75 кгм/сек = 0,736 кВт; 1 кВт = 101,98 кгм/сек = 1,36 л. с.

$M$  — момент прокатки, тм\*;

$n$  — скорость вращения вала двигателя, об/мин;

$\eta$  — коэффициент полезного действия установки.

Момент на валу двигателя, необходимый для привода валков прокатного стана (по А. И. Целикову), равен

$$M_{\text{двиг}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{х.х}} + M_{\text{дин}}, \quad (27)$$

где  $M_{\text{пр}}$  — момент прокатки, приведенный к валу двигателя, т. е. момент, который требуется для преодоления сопротивления деформации прокатываемого металла и возникающих при этом сил трения прокатываемого металла по поверхности валков;

$M_{\text{тр}}$  — момент добавочных сил трения, возникающих при проходе прокатываемого металла между валками в подшипниках валков, передаточном механизме и других частях стана, но без учета момента, требуемого на вращение стана на холостом ходу;

$M_{\text{х.х}}$  — момент холостого хода, т. е. момент, требуемый для привода стана во время холостого хода;

$M_{\text{дин}}$  — динамический момент, требуемый для преодоления инерционных усилий, возникающих при неравномерном вращении валков.

Момент прокатки  $M_{\text{пр}}$  в зависимости от направления сил, действующих на валки при прокатке, подсчитывается в каждом отдельном случае по формулам А. И. Целикова.

При простом процессе прокатки (рис. 29)

$$M_{\text{пр}} = P(D \sin \beta + df).$$

При прокатке с одним приводным валком (рис. 30)

$$M_{\text{пр}} = P(D + h_1) \sin(\beta + \varphi),$$

где  $P$  — равнодействующая давления на валок;

$\beta$  — угол, характеризующий точку приложения равнодействующей давления металла на валки;

$d$  — диаметр шеек вала;

$f$  — коэффициент трения в подшипниках;

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{d}{D} f \right).$$

Точка приложения равнодействующей  $P$  будет соответствовать центру тяжести эпюры распределения удельного давления по длине очага деформации.

При практических расчетах угол  $\beta$  можно принять равным  $\beta=0,5 \alpha$  ( $\alpha$  — угол захвата).

\* Если мощность двигателя  $N$  выражена в кгм/сек, то момент прокатки  $M$  может быть выражен формулой  $M = 9,55 \frac{N}{n} \text{ кгм}$  ( $n$  — число оборотов валков в минуту).

При простом случае прокатки, т. е. когда равнодействующая давления металла на валки направлена вертикально, можно принять

$$\psi = \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{a}{l},$$

где  $a$  — плечо равнодействующей давления металла на валок;  
 $l$  — длина дуги захвата

$$(a = \psi l = \psi \sqrt{R \Delta h}).$$

В случае вращения обоих валков:

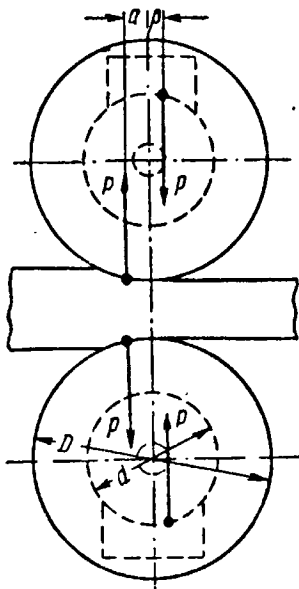


Рис. 29. Направление равнодействующих сил, действующих на валки, при простом процессе прокатки с учетом трения в подшипниках

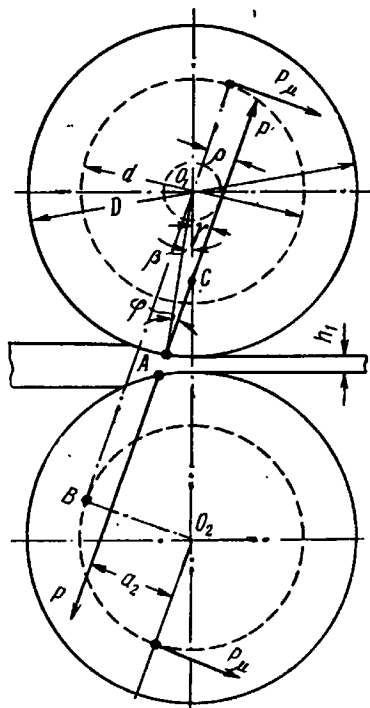


Рис. 30. Направление сил, действующих на валки с учетом трения в цапфах (приводится только один нижний валок)

$$M_{пр} = 2P\psi\sqrt{R\Delta h}.$$

Значение  $\psi$  на практике при горячей прокатке принимают:

Заготовки квадратного сечения . . . . .	0,5
Круглых профилей . . . . .	0,6
В закрытых калибрах . . . . .	0,7
Листов в непрерывных станах:	
у первых клетей . . . . .	0,48
у последних клетей . . . . .	0,39.

Общий момент добавочных сил трения  $M_{тр}$ , приведенный к валу двигателя, определяется по формуле

$$M_{тр} = \frac{M_{тр1}}{i\eta_1} + \left(\frac{1}{\eta_1} - 1\right) \frac{M_{пр}}{i},$$

где  $M_{тр} = \frac{Pdf}{i}$  ( $P$  — давление металла на валки;  $d$  — диаметр шейки валка;  $f$  — коэффициент трения в подшипниках валков;  $i$  — передаточное число передачи);

$\eta_1$  — к. п. д. передачи двигателя к валкам;

$M_{пр}$  — момент прокатки, приведенный к валу двигателя.

Если у стана имеются опорные холостые валки, тогда

$$M_{тр} = \frac{M_{тр1}}{i\eta_1} \cdot \frac{D_p}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \frac{M_{пр}}{i},$$

где  $D_p$ ,  $D_{оп}$  — диаметры рабочего и опорного валков.

Момент холостого хода, т. е. момент, требуемый для привода главной линии прокатного стана во время паузы, определяется по уравнению

$$M_{х.х} = K \sum \frac{Gf_{ш} \cdot d_{ш}}{2i_{ш}},$$

где  $G$  — вес данной детали (прокатные валки, шпиндели, муфты, шестерни, маховик и др.), кг;

$f_{ш}$  — коэффициент трения в подшипниках;

$d_{ш}$  — диаметр шейки, см;

$i_{ш}$  — передаточное число между двигателем и данной деталью;

$K$  — коэффициент затяжки<sup>1</sup>.

Момент, затрачиваемый на преодоление сил трения маховика о воздух, подсчитывается по эмпирической формуле Беккера:

$$N = v^{2,5} D^2 (1 + 5b) \cdot 10^{-5} \text{ л. с.},$$

где  $v$  — окружная скорость обода маховика, м/сек;

$D$  — наружный диаметр маховика, м;

$b$  — ширина обода, м.

Динамический момент  $M_{дин}$  определяется по формуле

$$M_{дин} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt},$$

где  $GD^2$  — маховой момент маховика и других вращающихся частей, приведенный к валу маховика;

$\frac{dn}{dt}$  — угловое ускорение, об/мин · сек.

<sup>1</sup> Коэффициент  $K$ , по данным А. П. Чекмарева, равен для толстолистовых станов и блюмингов 1,1—1,2; для крупносортовых и среднесортовых станов 1,25—1,45; для мелкосортовых станов 1,50—1,80.

<sup>1</sup> Сумма первых трех составляющих ( $M_{пр} + M_{тр} + M_{х.х}$ ) уравнения (27) есть статический момент:

$$M_{ст} = P (\sqrt{R \Delta h} + df \eta),$$

где  $P = p_{ср} b_{ср} \sqrt{R \Delta h}$  — давление металла на валок, кг;

$d$  — диаметр шейки валков, мм;

$\eta$  — коэффициент, учитывающий потери на трение в остальных вращающихся деталях привода, который можно принять равным 2,0.

Рассмотренные методы аналитического определения мощности прокатки позволяют определить расход энергии на прокатку с некоторым приближением, так как в них не учитывается ряд факторов.

Более надежным методом определения расхода энергии при прокатке является определение расхода энергии по опытным кривым (кривые удельных расходов энергии на единицу веса прокатываемого металла в зависимости от удлинения).

Использование опытных кривых удельного расхода энергии и определения по ним потребной работы для прокатки рассматривается в курсах теории прокатки.

## § 6. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ

Неравномерное распределение деформации обуславливается следующими основными причинами:

а) неравномерное распределение температур в деформируемом теле;

б) характер формы тела в сочетании с формой калибра;

в) наличие сил трения между деформируемым телом и поверхностью калибра;

г) упругая деформация валка;

д) неоднородность свойств деформируемого тела (химический состав, структура, анизотропность, наклеп и др.).

Закон И. М. Павлова о «замкнутых контурах» формулируется следующим образом:

«Относительные уменьшения площадей любых «замкнутых контуров» в поперечном сечении болванки при прокатке равны между собой».

Из этого закона следует, что все частицы поперечного сечения прокатываемого профиля, несмотря на неравномерность деформации металла по высоте и ширине калибра, должны иметь одинаковую вытяжку. Скорость отдельных частей деформируемого металла выравнивается под влиянием действия так называемых «жестких концов», в результате чего получается равная и общая вытяжка для всего сечения.

При неравномерной деформации тела всегда имеются части

тела, обжимаемые в большей или меньшей степени в сравнении с некоторыми средними значениями обжатия  $\left(\frac{H}{h}\right)_{ср}$ . Имея замкнутый контур прямоугольного сечения до деформации  $BH$ , после деформации этого контура до сечения  $bh$  на основании правила «замкнутых контуров» можно написать

$$\frac{BH}{bh} = \frac{l}{L} = \mu_{ср}$$

или

$$\frac{b}{B} = \frac{\frac{H}{h}}{\mu_{ср}},$$

где  $\mu_{ср}$  — общая вытяжка всей полосы, представляющая собой среднюю величину по отношению к частным предполагаемым вытяжкам отдельных частей тела.

Из этого следует:

при  $\frac{H}{h} = \mu_{ср}$  поперечная деформация в пределах данного контура отсутствует, т. е.  $B = b$ ;

при  $\frac{H}{h} > \mu_{ср}$  данный контур деформируется с уширением  $\frac{b}{B} > 1$ . В этом случае уширение называется вынужденным;

при  $\frac{H}{h} < \mu_{ср}$  появляется утяжка по ширине тела в пределах контура или  $\frac{b}{B} < 1$ .

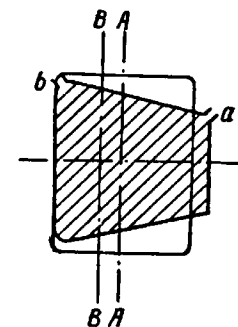


Рис. 31. Деформация прямоугольной заготовки в трапециевидном калибре

В качестве примера деформации металла с вынужденным уширением и утяжкой металла можно привести случай деформации прямоугольной заготовки в трапециевидном калибре (рис. 31).

Разделив вертикальной линией  $AA'$  площадь прямоугольника на две равные части и линией  $BB'$  площадь трапеции калибра на две вертикальные части, можно видеть, что в левой части заготовка получает малое вертикальное обжатие, а следовательно, и малую естественную вытяжку:  $\frac{H}{h} < \mu_{ср}$ ; в правой же части — большое вертикальное обжатие и большую вытяжку:  $\frac{H}{h} > \mu_{ср}$ .

Следовательно, левая половина выходящей из валков поло-



сы будет 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, будет заходить в щель между валками  $a$ . В свою очередь металл правой части, имея стремление к значительной вытяжке, будет увлекать за собой, насколько позволяет пластичность металла, левую часть полосы, стремясь вытянуть ее сверх нормы, определяемой вертикальным движением, вследствие чего будет происходить уменьшение нормального уширения левой части полосы, сказывающееся в недостаточном заполнении углов. Таким образом, заусенец, образовавшийся в правой части калибра, получен от вынужденного уширения, а незаполнение калибров левой части — от утяжки.

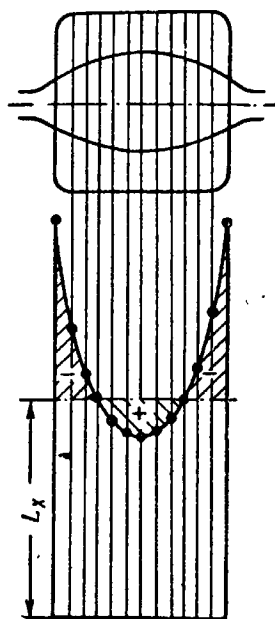


Рис. 32. Диаграмма вытяжки для случая прокатки квадрата в овальном калибре (по Тафелю)

При неравномерной деформации возникают в металле дополнительные напряжения. Дополнительные напряжения ведут к увеличению неравномерности распределения рабочих напряжений, что отражается на увеличении сопротивления деформированию и понижает способность тела к проявлению пластических свойств, понижая тем самым технологические свойства деформируемого металла.

Закон дополнительных напряжений по С. И. Губкину формулируется следующим образом: «В слоях и элементах деформируемого тела, стремящихся в данном направлении к большему повышению

размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает уменьшению размеров в рассматриваемом направлении. В слоях и элементах, стремящихся к меньшему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает увеличению размеров» [15].

Пользуясь этим законом, можно легко определить знак дополнительных напряжений, зная форму калибра и задаваемого в него металла. В качестве примера на рис. 32 представлена схема деформации квадрата в овале, на которой указаны знаки дополнительных напряжений (+ растягивающие напряжения, — сжимающие дополнительные напряжения), полностью отвечающие рассмотренному нами ранее закону дополнительных напряжений.

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Определение числа проходов  $n$  и среднего коэффициента вытяжки  $\mu_{\text{ср}}$ ; формула И. Я. Тарновского, смещенный объем  $V$ ,  $\text{см}^3$  (§ 1, глава II)

1. Определить число проходов при прокатке бруса  $200 \times 200$  мм из слитка с верхним сечением  $725 \times 725$  при  $\mu_{\text{ср}} = 1,16$ .

Отв.  $n = 17$ .

2. Сколько потребуется установить рабочих клетей в линию непрерывного стана 280 мм для прокатки круглой стали диаметром  $d = 8$  мм из заготовки квадратного сечения  $60 \times 60$  мм при  $\mu_{\text{ср}} = 1,25$ ?

Отв.  $n = 19$ .

3. На обжимном стане трио 850 производится прокатка слитков  $385 \times 385$  мм в заготовку  $140 \times 140$  мм при среднем коэффициенте вытяжки  $\mu_{\text{ср}} = 1,2$ . Определить число проходов.

Отв.  $n = 11$ .

Примечание. При подсчете площадей сечений радиусами закруглений при вершинах следует пренебречь.

4. Определить число клетей непрерывно-заготовочного стана для прокатки бруса  $290 \times 290$  мм в заготовку  $120 \times 120$  мм при среднем коэффициенте вытяжки  $\mu_{\text{ср}} = 1,193$ .

Отв.  $n = 10$ .

5. Русский ученый профессор В. Е. Грум-Гржимайло впервые доказал возможность применения так называемых сверхобжатий. На Алапаевском комбинате на стане с диаметром валков 500 мм за один проход он прокатал заготовку сечением  $50 \times 50$  мм в полосу шириной 75 мм и толщиной 3,5 мм. Определить коэффициент вытяжки.

Отв.  $\mu = 9,5$ .

6. На линии проволочного непрерывного стана 280, которая состоит из 16 рабочих клетей, прокатывается проволока диаметром 5,25 мм из заготовки сечением  $44 \times 44$  мм. Определить средний коэффициент вытяжки.

Отв.  $\mu_{\text{ср}} = 1,324$ .

7. Экспериментальное определение уширения при прокатке образцов быстрорежущей стали Р18 позволило получить значение показателя уширения  $\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0,545$  при температуре металла  $1200^\circ$  и 0,600 при температуре  $900^\circ$ . Определить, какая часть из всего объема, смещенного по высоте, смещается в направлении длины и в направлении ширины, если известно, что размер об-

разца, прокатанного при температуре 1200°: до прокатки  $H=20,8$  мм,  $B=26,0$  мм,  $L=500$  мм; после прокатки  $h=17,5$  мм,  $b=27,8$  мм,  $l=556$  мм и размер образца, прокатанного при температуре 900°: до прокатки  $H=20,0$  мм,  $B=25,5$  мм,  $L=500$  мм; после прокатки  $h=17,5$  мм,  $b=27,0$  мм,  $l=540,5$  мм.

Отв.	$t = 1200^\circ$	$t = 900^\circ$
	$\lg \frac{\beta}{\eta} = 0,384$	0,42
	$\lg \frac{1}{\eta}$	
	$\lg \frac{\lambda}{\eta} = 0,616$	0,58
	$\lg \frac{1}{\eta}$	

8. Пользуясь условиями седьмой задачи, определить смещенный объем по высоте в обоих случаях:  $t=1200^\circ$  и  $t=900^\circ$

Отв.  $V_h = 42900$  и  $32125$  мм<sup>3</sup>.

9. Смещенный объем по высоте при температуре 900°, согласно условиям седьмой и восьмой задач, равен  $V_h=14838$  мм<sup>3</sup>. Определить ширину полосы после прокатки, если до прокатки она имела размер:  $H=20,0$  мм,  $B=25,5$  мм,  $D=500$  мм.

Отв.  $b=27,0$  мм.

*Определение угла захвата и допустимого максимального обжатия по условиям захвата металла валками*

1. В. А. Тягунов исследовал влияние ширины полосы на условия захвата. Зависимость обжатия от ширины полосы (слитка, сляба, заготовки) и скорости прокатки он выразил формулой:

$$\Delta h_B = \Delta h' - \left( \frac{B}{50} - 13 \right),$$

где  $\Delta h_B$  — обжатие при данной ширине слитка или сляба, мм;

$\Delta h'$  — обжатие принимается по графику (см. рис. 74), мм;

$B$  — ширина слитка (блюда, сляба), мм.

Какому углу захвата соответствует максимально допустимое обжатие при прокатке слитка  $385 \times 385$  мм на обжимном стане трио 800, определенное по указанной выше формуле В. А. Тягунова? Катающий диаметр при расчете принять равным  $D_k = 450$  мм. Скорость вращения валков  $n=60$  об/мин.

Отв.  $\alpha=23^\circ 30'$ .

2. По В. А. Тягунову, при окружной скорости 1,5 м/сек в калиброванных валках допустимый угол захвата равен  $\alpha=24,5^\circ$ . Определить соответствующее этому углу захвата обжатие при прокатке в калибре, имеющем катающий диаметр  $D_k=500$  мм.

Отв.  $\Delta h=45$  мм.

3. В одной из линий непрерывно-заготовочного стана ММК прокатывается заготовка  $250 \times 250$  мм до размера  $205 \times 265$  мм в калибре с катающим диаметром  $D_k=595$  мм. Определить угол захвата металла валками.

Отв.  $\alpha=22^\circ 34'$

4. Прокатка листа на трехвалковом стане 750/500/750  $\times$  2000 мм производится при скорости  $v=2,0$  м/сек. Определить допустимый угол захвата для валка меньшего и большего диаметров и максимальное обжатие  $\Delta h$  за один проход.

Отв.  $\alpha_{500} = 20^\circ 21'$ ;

$\alpha_{750} = 13^\circ 36'$ ;  $\Delta h = 26,3$  мм.

*Работа прокатки*

1. Момент, необходимый для вращения валков при прокатке длиной 10 м, равен 12 тм. Определить работу деформации без учета потерь на трение в подшипниках и холостой ход, если диаметр валков равен 850 мм.

Отв.  $A=282360$  кгм.

2. Привод блюминга — двигатель мощностью  $N=7000$  л. с. со скоростью вращения 0—40—80 об/мин, катающий диаметр валков  $D_k=1080$  мм. Определить, допустима ли нагрузка на двигатель при прокатке в первом проходе с линейным обжатием  $\Delta h=120$  мм слитка весом 7 т с размерами верхнего сечения  $B=700$  мм,  $H=770$  мм. Диаметр шейки валков  $d=600$  мм. Коэффициент трения для текстолитовых подшипников  $f=0,006$ ; коэффициент, учитывающий потери на трение в других вращающихся деталях,  $\eta=2$ . Среднее удельное давление  $p_{cp}=5,05$  кг/мм<sup>2</sup>.

Отв. Нагрузка на двигатель 63%, т. е. допустима.

3. Момент прокатки равен  $M=5000$  кгм, скорость вращения валков 75 об/мин. Определить нагрузку двигателя.

Отв.  $N=523,6$  л. с.

Дополнительное указание. Для лучшего усвоения материала, изложенного в главах I, II, рекомендуется решить все задачи «Сборника задач и упражнений по прокатке» Д. Я. Гуревича, Металлургиздат, 1953 (обратить внимание на задачи, изложенные в главе II, стр. 26—30; главе VII, стр. 73—82 и главе VIII, стр. 87—98).

# ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

## § 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ЗАДАЧИ КАЛИБРОВКИ

Для придания прокатываемому металлу необходимой формы в чистовом и в промежуточных проходах на валках вытачивают специальные вырезы, размеры которых определяются калибровкой. Вырез, составленный двумя валами, т. е. образованный двумя ручьями, называется калибром.

Калибровкой профиля называется система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение готового продукта заданных геометрических размеров. В понятие калибровки профиля входит также метод, при помощи которого определяются формы и размеры переходных сечений прокатываемой полосы.

В теории калибровки валков рассматриваются правила, позволяющие:

1. Определить основные размеры калибра, обеспечивающего получение формы профиля и размера в соответствии с требованиями стандартов, а также высокое качество поверхности готового продукта. При прокатке слябов, листов, полосовой стали и ленты калибровка решает вопросы, связанные с распределением обжатий по проходам и профилировкой бочки валков.

2. Выбрать форму калибра и систему формоизменения металла от слитка или заготовки до конечного профиля, учитывая при этом конструкцию прокатного стана, физико-механические свойства слитка или заготовки при температурах прокатки, мощность двигателя, расположение стана, печей и уборочных средств, температуру конца прокатки.

3. Спроектировать наиболее рациональные монтажи валков, обеспечивающие прокатку всего сортамента стана с минимальными затратами времени на перевалку и настройку. Под сортаментом стана понимается перечень изделий, получаемых путем прокатки на данном стане.

Под сортаментом прокатных изделий понимается перечень профилей, прокатываемых в промышленности. Примеры таких изделий приведены на рис. 33.

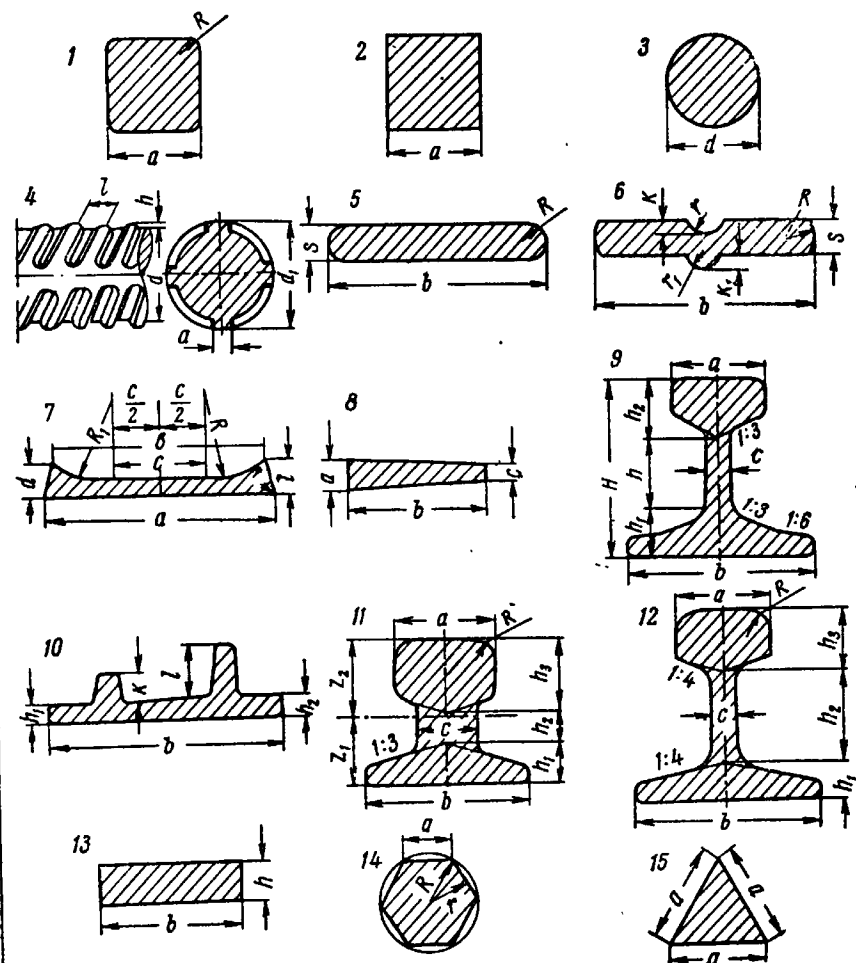
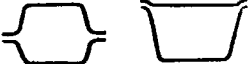


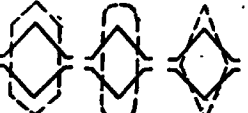


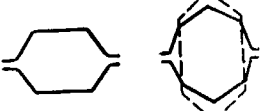
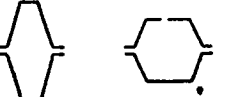


Рис. 33. Примеры прокатанных изделий:

1 — блюмы и заготовки; 2 — квадратная сталь (ГОСТ 2591—57); 3 — круглая сталь и катанка (ГОСТ 2590—57); 4 — арматурная сталь — периодический профиль (ГОСТ 5781—58); 5 — сталь полосовая с закругленными краями (ГОСТ 7419—55); 6 — сталь рессорная желобчатая (ГОСТ 7419—55); 7 — лента стальная горячекатаная (ГОСТ 6009—57); 8 — трапециевидная лента (ГОСТ 1540—42); 9 — рельс железнодорожный типа Р43 (ГОСТ 7173—54); 10 — подкладка рельсовая раздельного типа (ГОСТ 6475—53); 11 — рельс для стрелочного остряка (ГОСТ 6421—52); 12 — рельс железнодорожный типа Р50 (ГОСТ 7174—54); 13 — полосовая сталь (ГОСТ 103—57); 14 — шестигранная сталь (ГОСТ 2879—57); 15 — трехгранная сталь;

## Основные формы калибров

Форма калибра	Название	Применение
	Ящичные или прямоугольные	Вытяжные на блюмингах, обжимных трехвалковых станах, непрерывных заготовочных станах и черновых клетях сортовых станов
	Стрельчатые	Вытяжные на заготовочных станах (в настоящее время почти не применяются)
	Ромбические	Предчистовые при прокатке квадратной стали; вытяжные в системах ромб—ромб и ромб—квадрат
	Квадратные	Чистовые при прокатке квадратной стали; вытяжные в системах ромб—квадрат, овал—квадрат, шестиграннык—квадрат
	Овальные	Предчистовые при прокатке круглой стали; вытяжные в системе овал—квадрат, овал—круг; чистовые при прокатке специального профиля
	Круглые	Чистовые при прокатке круглой стали; вытяжные в системе овал—круг
	Шестигранные (шестиугольные)	Вытяжные в системе шестиграннык—квадрат; чистовые и предчистовые при прокатке шестигранной стали
	Рёбровые	Черновые и предчистовые при прокатке полосовой стали

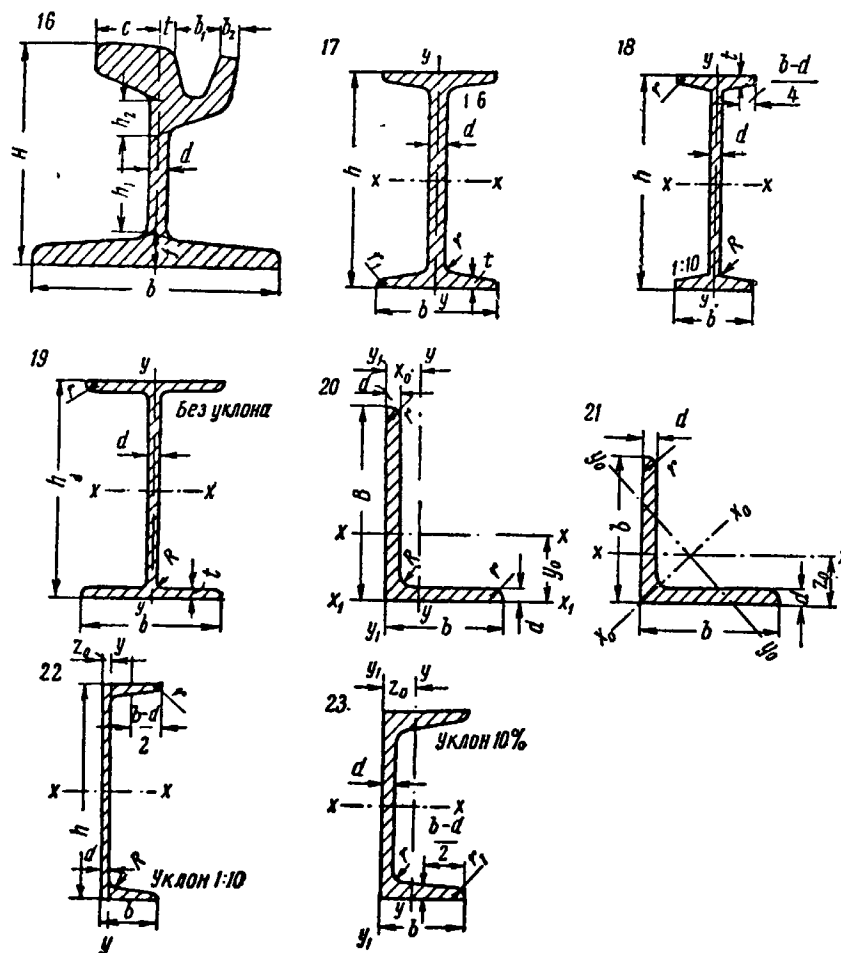

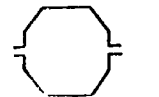




Рис. 33. Продолжение

16 — рельс трамвайный желобчатый (ГОСТ 6544—53); 17 — балка двутавровая (ГОСТ 8239—56); 18 — балка двутавровая облегченная (ГОСТ 6184—52); 19 — балка двутавровая широкополочная (ГОСТ 6183—52); 20 — сталь прокатная угловая неравнобокая (ГОСТ 8510—57); 21 — сталь прокатная угловая равнобокая (ГОСТ 8509—57); 22 — швеллер облегченный (ГОСТ 6185—52); 23 — швеллер (ОСТ 8240—56)

Форма калибра	Название	Примечание
	Полосовые	Черновые и чистовые калибры при прокатке полосового железа, рессорной стали, штрипсов и ленты
	Много- гранные	Предчистовые при прокатке круглой стали крупных размеров
	Угловые	Черновые и предчистовые калибры при прокатке угловой стали
	Балочные	Черновые и чистовые калибры при прокатке балок

Примечание. Пунктиром показан профиль полосы, задаваемой в калибр.

## § 2. ТИПЫ И ФОРМЫ КАЛИБРОВ

Имеется четыре типа калибров: обжимные или вытяжные, предназначенные для уменьшения площади сечения слитка или заготовки; черновые или подготовительные, в которых производится грубая обработка профиля с постепенным приближением его формы и размеров к конечному сечению; предотделочные

или предчистовые, предшествующие чистовым, и отделочные или чистовые калибры, придающие окончательный вид профилю. Положение перечисленных типов калибров в общей схеме прокатки приведено на рис. 34.

Калибры могут быть различных форм. Простейшие формы, получившие широкое применение на практике, приведенные в табл. 7. Помимо калибров, указанных в табл. 7, встречаются формы калибров, применяемые при

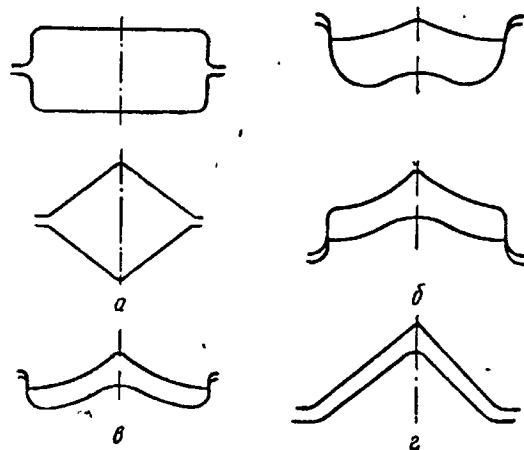


Рис. 34. Типы калибров при прокатке равнобокой угловой стали:

а — обжимные или вытяжные; б — черновые или подготовительные; в — предотделочный; г — чистовый

прокатке различных фасонных и специальных профилей. Примеры фасонных профилей приведены на рис. 35. По способам вреза в валки калибры могут быть открытыми и закрытыми. Примеры открытых и закрытых калибров указаны на рис. 36. По Б. П. Бахтинову, закрытыми называются калибры, у которых линии разъема валков находятся вне пределов калибра (см. рис. 35, б), в противном случае калибр называется открытым (см. рис. 35, а).

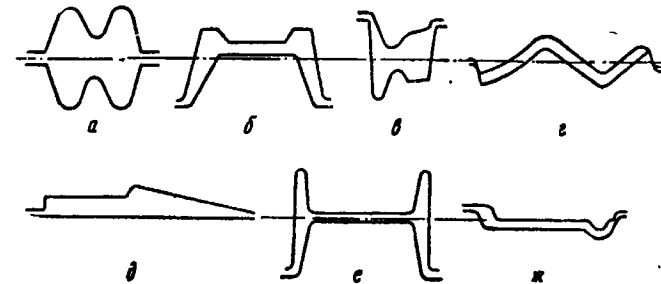


Рис. 35. Примеры фасонных калибров:

а — разрезной для двутавровой балки; б — д — черновые для швеллера, рельса, зетового железа и листовой стали; е, ж — чистовые для балки и автообода

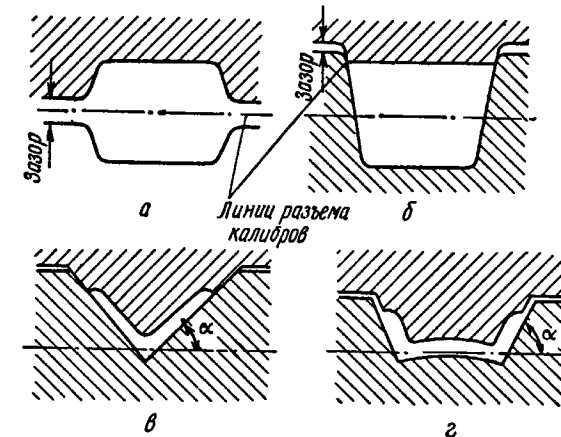


Рис. 36. Калибры:

а — открытый; б — закрытый; в — открытый ( $\alpha < 60^\circ$ ); г — закрытый ( $\alpha > 60^\circ$ ).

## § 3. ЭЛЕМЕНТЫ КАЛИБРА

Зазор между валками. Глубина вреза калибров в валках делается с таким расчетом, чтобы между их буртами оставался некоторый зазор  $\Delta$ , как это изображено на рис. 37. Величина зазора между буртами валков определяется по практическим данным:

Калибры	Зазоры между буртами валков $\Delta$
Чистовые . .	0,01 $D_0$
Черновые . .	0,02 $D_0$
Обжимные . .	0,03 $D_0$

Здесь  $D_0$  — диаметр стана (см. § 5, глава III). Все эти данные приведены для рабочих валков с подшипниками скольжения. Для трения качения величины  $\Delta$  будут несколько меньшими. Например, при прокатке в чистовых калибрах  $\Delta = 0,004 D_0$ .

Выпуск калибра. Боковые поверхности открытых и закрытых калибров обычно выполняются с некоторым наклоном к оси валков (рис. 38), величина которого зависит от назначения калибра, характера профиля, допусков на готовый профиль (в чистовых калибрах) и других факторов. Тангенс наклона боковых стенок калибра к оси валков называется выпуском:

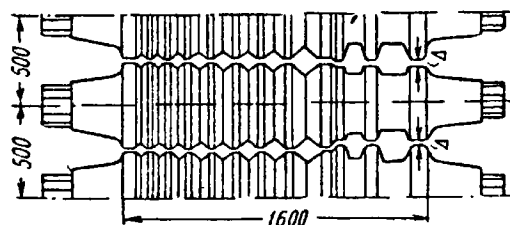


Рис. 37. Зазор между валками

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{B_k - b_k}{2h_p},$$

где  $h_p$  — высота ручья калибра.

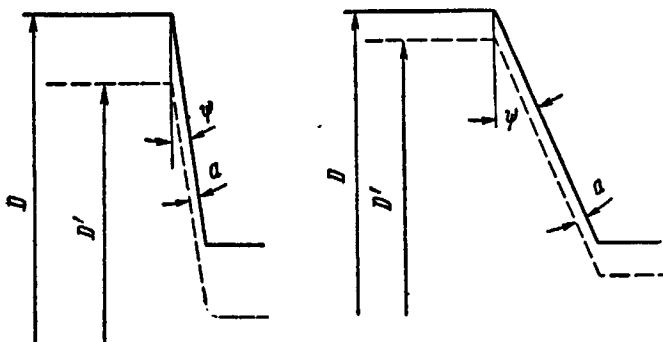


Рис. 38. Величина обточки валков по диаметру при различной величине выпуска

С увеличением угла наклона боковых стенок калибра величина обточки валков по диаметру уменьшается, что следует из уравнения

$$a = \frac{D - D'}{2} \operatorname{tg} \psi$$

$$\text{или} \quad D - D' = \frac{2a}{\operatorname{tg} \psi},$$

где  $a$  — глубина выработки стенки калибра (см. рис. 38).  
Пример:  $a = 0,5 \text{ мм}$ ,  $\psi = 3^\circ$ .

$$D - D' = \frac{2 \cdot 0,5}{0,0524} = 19,27 \text{ мм.} \quad a = 0,5 \text{ мм}, \quad \psi = 6^\circ.$$

$$D - D' = \frac{2 \cdot 0,5}{0,1052} = 9,5 \text{ мм.}$$

Величина выпуска может быть выражена в процентах от глубины ручья. На практике выпуск принимается для калибров:



Рис. 39. Пример чередования положения разреза калибров при прокатке полосы

обжимных 5÷10% и больше, но не более 15%; черновых 2÷4%; отделочных 1÷1,5%.

Нетрудно перейти с выпуска принятого в процентах к выпуску в градусах.

Пример: Допустим выпуск равен 10%, тогда

$$\frac{B_k - b_k}{2h_p} \cdot 100 = 10 \quad \text{или} \quad 100 \cdot \operatorname{tg} \psi = 10.$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{10}{100} = 0,10, \quad \psi = 5,5^\circ.$$

Степень заполнения калибра регулируется изменением величины уклона боковых стенок.

Разъемом калибра называется место перехода границы профиля с одного валка на другой. В разъем калибра течет металл в случае переполнения, образуя при этом брак изделия, так называемый «ус» или «заусенец». Чтобы избежать образования заусенцев при прокатке в закрытых калибрах, положение разреза меняют в каждом следующем калибре (рис. 39).

Заусенец с пологими боковыми стенками не вызывает образования заката при прокатке в следующем калибре. Поэтому при проектировании калибров, в зависимости от формы и места расположения, задаются определенными радиусами закруглений углов калибра (рис. 40). Вначале вычерчивается так называемый «скелет» калибра, т. е. калибр без закруглений. После этого строится форма калибра с учетом выбранных радиусов

закруглений. В качестве примера обозначения элементов ящичного калибра показаны на рис. 41.

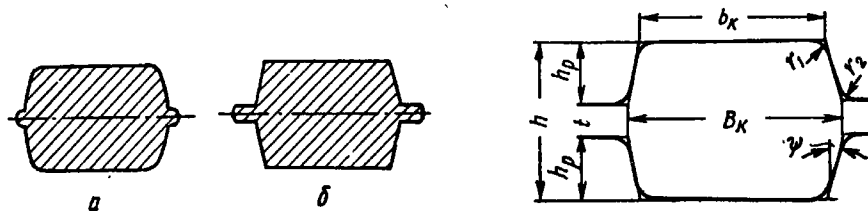


Рис. 40. Форма заусенцев в калибре с закруглениями (а) и без закруглений (б)

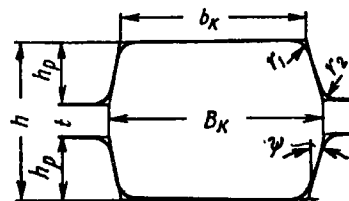


Рис. 41. Обозначение элементов ящичного калибра

#### § 4. НЕЙТРАЛЬНАЯ ЛИНИЯ И ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ КАЛИБРА

Под нейтральной линией следует понимать такую горизонтальную линию калибра, которая, будучи совмещена с линией, делящей расстояние между осями валков пополам (так называемая

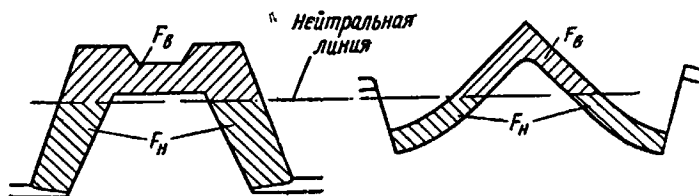


Рис. 42. Определение положения нейтральной линии калибра по первому способу

мая средняя линия валков), обуславливает прямолинейный выход металла из валков без стремления прокатываемой полосы загнуться вверх или вниз.

Таким образом, положение нейтральной линии зависит не только от калибровочных, но и от технологических факторов. Поэтому распространенный прием определения нейтральной линии как горизонтали, проходящей через центр тяжести калибра, хотя и является простым, но не соответствует истинному смыслу понятия нейтральной линии. Ввиду сложности точного нахождения расположения нейтральной линии калибровщики считают линией, проходящую через центр тяжести калибра, нейтральной.

Для симметричных калибров (круг, овал, квадрат, ромб и т. п.) нейтральная линия совпадает с осью симметрии этих калибров. В случае закрытых и фасонных калибров положение нейтральной линии определяется тремя способами.

1. Нейтральная линия проводится таким образом, чтобы площадь калибра, лежащая выше ее, была равна площади калибра, лежащей ниже ее (рис. 42), т. е.  $F_B = F_H$ .

2. Нейтральная линия калибра проводится через центр тяжести площади фигуры. Следовательно, для определения положения калибра на бочке вала надо определить его центр тяжести.

3. Нейтральная линия калибра проводится на половине расстояния между центрами тяжести контура калибра в каждом

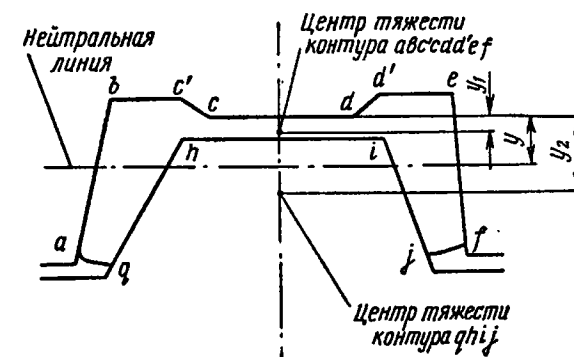


Рис. 43. Определение положения нейтральной линии калибра по третьему способу

валке. При этом части контура, подвергающиеся обжатю лишь в результате уширения, при определении центра тяжести во внимание не принимаются (рис. 43).

В практике калибровки применяют второй и третий способы. В случае криволинейных очертаний формы калибра положение нейтральной линии определяют опытным путем, для чего вырезанный из картона или жести шаблон уравнивают, находя тем самым положение центра тяжести площади.

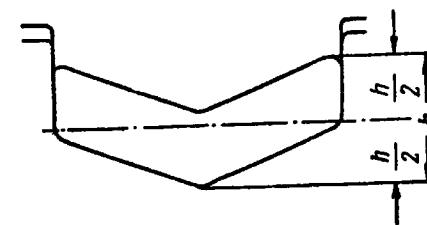


Рис. 44. Способ определения нейтральной линии несимметричного профиля

Опытное определение центра тяжести несимметричных профилей сводится к следующему. Вырезается профиль из толстого картона. Полученный шаблон затем подвешивается на нитке так, чтобы плоскость его была вертикальной. Точка пересечения двух или нескольких отвесных линий (ниток) и дает центр тяжести. В калибрах, у которых рабочие поверхности не горизонтальны и которые нельзя разложить на несколько прямоугольников, нейтральная линия проводится через середину высоты всего калибра, как показано на рис. 44.

## § 5. СПОСОБЫ НАХОЖДЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПРОСТЫХ И ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Центр тяжести треугольника находится в точке пересечения медиан и отстоит от основания треугольника на

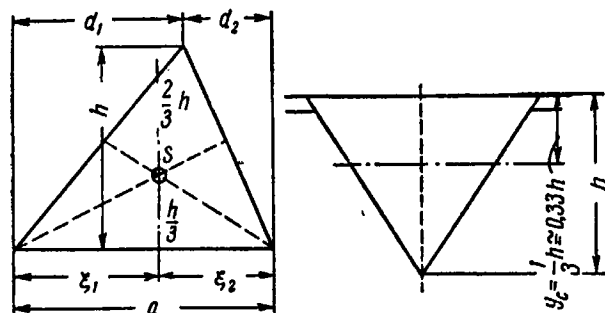


Рис. 45. Центр тяжести треугольника

$\frac{1}{3}$  высоты. В этой точке медианы делятся на отрезки с отношением 1:2. Нахождение центра тяжести треугольника показано на рис. 45.

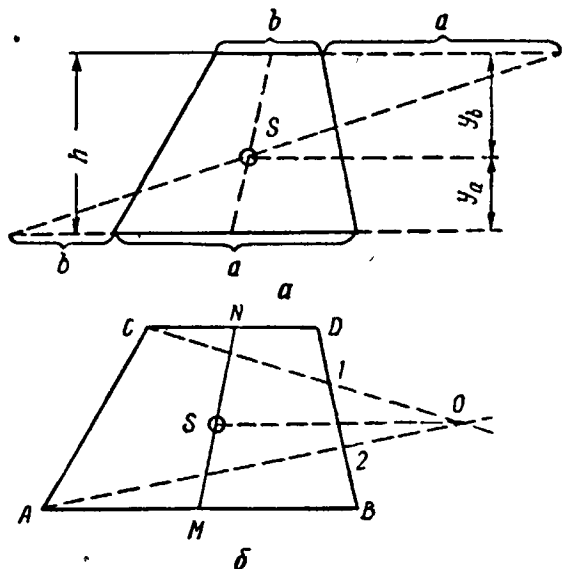


Рис. 46. Определение центра тяжести трапеции

Центр тяжести трапеции. Расстояние центра тяжести трапеции (рис. 46) от нижнего основания

$$y_a = \frac{h}{3} \cdot \frac{a + 2b}{a + b},$$

от верхнего основания

$$y_b = \frac{h}{3} \cdot \frac{b + 2a}{a + b}.$$

Центр тяжести трапеции можно найти графическими способами. Первый способ (рис. 46, а) заключается в следующем: на продолженных основаниях откладывается на линии  $a$  отрезок  $b$  и на линии  $b$  — отрезок  $a$ , затем через концы отрезков проводится прямая, которая пересекает медиану трапеции в центре тяжести  $S$ .

При втором способе (рис. 46, б) делится одна из непараллельных сторон, например  $DB$  на три равные части. Точки 1 и 2

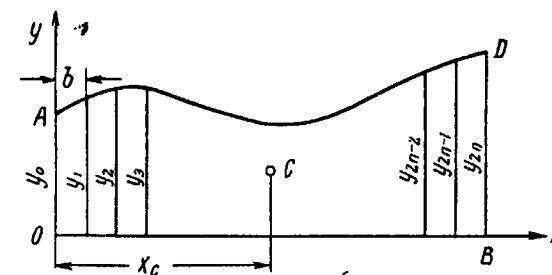


Рис. 47. Центр тяжести произвольной площади

соединяются с вершинами  $C$  и  $A$  и линия пересечения прямых 1 —  $C$  и 2 —  $A$  дает точку  $O$ . Из точки  $O$  проводят прямую, параллельную сторонам  $AB$  и  $CD$ , до пересечений с медианой  $MN$ . Точка пересечения  $S$  будет отвечать центру тяжести трапеции.

При произвольном очертании площади (рис. 47) определение центра тяжести производят следующим образом. Произвольная площадь  $AOBD$  ограничена кривой  $AD$ , осью абсцисс  $OB$  и ординатами  $OA$  и  $BD$ . Площадь делится на четное число полюс одинаковой ширины  $b$ . Координаты центра тяжести определяются по методу Симпсона:

$$x_c = b \frac{1 \cdot 4y_1 + 2 \cdot 2y_2 + 3 \cdot 4y_3 + 4 \cdot 2y_4 + \dots + (2n-2) 2y_{2n-2} + 1 \cdot y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{2n-2} + (2n-1) 4y_{2n-1} + 2ny_{2n}}{1 \cdot y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{2n-2} + (2n-1) 4y_{2n-1} + 2ny_{2n}};$$

$$y_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{y_0^2 + 4y_1^2 + 2y_2^2 + 4y_3^2 + \dots + 2y_{2n-2}^2 + 1 \cdot y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{2n-2} + (2n-1) 4y_{2n-1} + 2ny_{2n}}{1 \cdot y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{2n-2} + (2n-1) 4y_{2n-1} + 2ny_{2n}}.$$



Общий прием определения центра тяжести сложных профилей сводится к следующему. Сложный профиль разбивается на элементы. Определяется центр тяжести каждого элемента. Выбираются оси координат  $x$  и  $y$ . Из центра тяжести элементов проводятся векторы, величина которых пропорциональна пло-

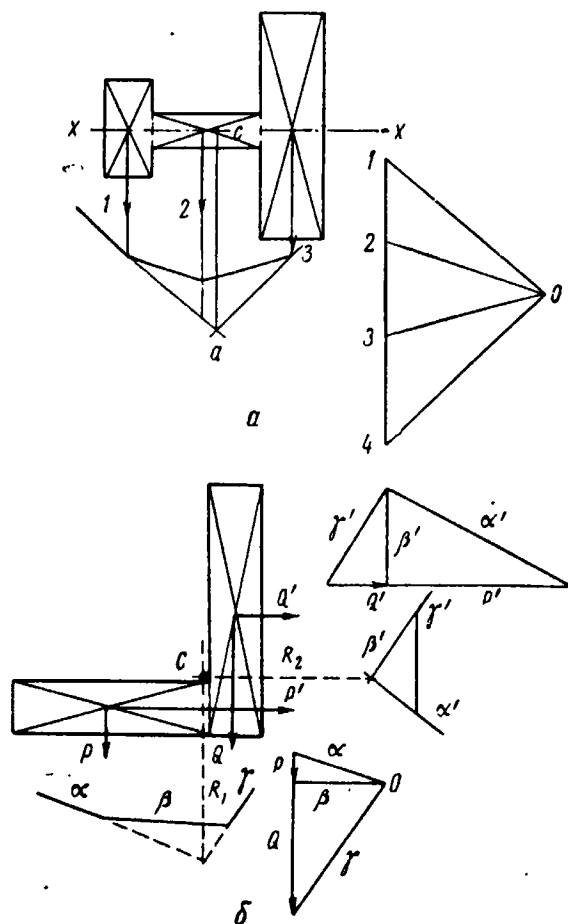


Рис. 48. Центр тяжести симметричного и несимметричного профилей

щадям элементов. Направление векторов принимают параллельным осям  $x$  и  $y$ . В обоих случаях по направлениям векторов строят веревочные многоугольники, при помощи которых определяется равнодействующая векторов и координаты центра тяжести фасонного профиля  $x_c$  и  $y_c$ .

На рис. 48 показано определение центра тяжести для симметричного (а) и несимметричного (б) профилей. Центр тяжести фасонных профилей можно определить аналитическим мето-

дом, для чего чертят скелет профиля, т. е. без закруглений. Профиль также делится на части с площадями  $F_1, F_2, F_3$  и т. д. Выбираются оси координат  $X$  и  $Y$ .

Затем определяются координаты центра тяжести сложного профиля по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}; \\ y_c &= \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}. \end{aligned} \right\}$$

Пример: Найдём центр тяжести неравнобокого угольника (рис. 49).

Возьмём оси координат, как показано на чертеже, и разобьём угольник на два прямоугольника  $CDFE$  и  $OABD$ . Положение центра тяжести этих прямоугольников находится без труда. Зная их, по указанным выше формулам можно определить координаты центра тяжести неравнобокого угольника:

$$x_c = \frac{10 \cdot 60 \cdot 5 + 40 \cdot 10 \cdot 30}{10 \cdot 60 + 40 \cdot 10} = 15 \text{ мм};$$

$$y_c = \frac{10 \cdot 60 \cdot 30 + 40 \cdot 10 \cdot 5}{10 \cdot 60 + 40 \cdot 10} = 20 \text{ мм}.$$

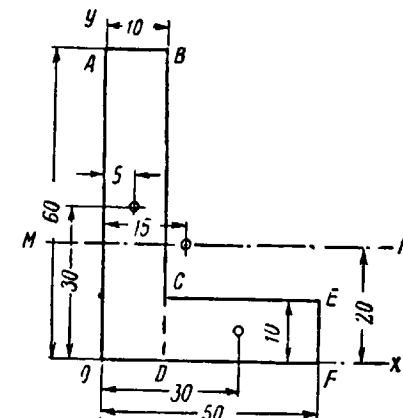


Рис. 49. Центр тяжести площади неравнобокого угольника

## § 6. ЭЛЕМЕНТЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

Размер стана и диаметр валков. Диаметр стана  $D_0$  есть расстояние между осями шестеренных валков. Начальный диаметр валков  $D_n$  указан на рис. 50. Начальный диаметр

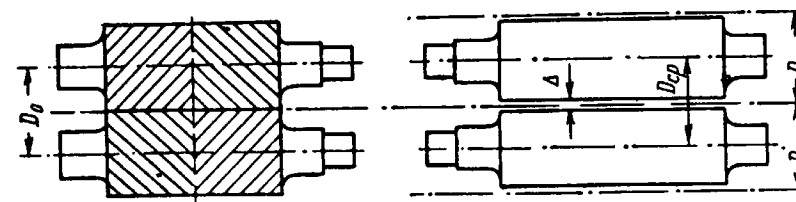


Рис. 50. Диаметр стана и начальный диаметр валков

валков  $D_n$  — это воображаемый диаметр, при котором валки соприкасались бы друг с другом без зазора. Начальный диаметр валков должен быть таким, чтобы максимальное ослабление вала вследствие вреза калибров или буртов не превышало

для чистовых калибров  $\left(\frac{1}{5} - \frac{1}{6}\right) D_n$ ;

для обжимных и черновых калибров  $\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{5}\right) D_n$ .

Диаметр валков, по которому происходит соприкосновение металла с валком, называется катающим или рабочим диаметром  $D_p$ .

Коэффициент переточки валков. Величина начального диаметра валков изменяется в процессе эксплуатации валка от  $D_{\max}$  для новых валков до  $D_{\min}$  для валков, прошедших переточку или устанавливаемых в клеть в последний раз.

Диаметр стана равен<sup>1</sup>

$$D_0 = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}.$$

Если обозначим коэффициент переточки через  $K$ , получим

$$K = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_0},$$

тогда

$$\left. \begin{aligned} D_{\max} &= \left(1 + \frac{K}{2}\right) D_0, \\ D_{\min} &= \left(1 - \frac{K}{2}\right) D_0. \end{aligned} \right\}$$

Коэффициент переточки  $K$  принимается для обжимных или сортовых станов 0,08—0,12; для листовых станов 0,05—0,08. Если зазор между валками  $\Delta$  достигает значительных размеров, то

$$\left. \begin{aligned} D_{\max} &= \left(1 + \frac{K}{2}\right) D_0 - \Delta, \\ D_{\min} &= \left(1 - \frac{K}{2}\right) D_0 - \Delta. \end{aligned} \right\}$$

Средняя линия валков и линия прокатки. Вертикальная плоскость, проведенная через оси валков, называется плоскостью прокатки. Разрез валков в плоскости прокатки отвечает чертежу валков (рис. 51, 52).

Расстояние между осями валков в момент прохода полосы между валками называется средним или номинальным диаметром пары валков ( $D_{\text{ср}}$ ,  $D_{\text{ном}}$ ) (рис. 53). Горизонтальная линия, которая делит это расстояние пополам, называется средней линией валков ( $AB$ ). Воображаемая же горизонтальная линия, которая делит номинальный диаметр в каждом калибре на две части ( $R_n$ ,  $R_n$ ), называется линией прокатки ( $CD$ ).

Верхнее и нижнее давление. Для того чтобы заранее предопределить направление движения полосы, применяют валки разного диаметра. Верхнее или нижнее давление в ка-

либрах прокатных валков определяется разностью между рабочими диаметрами:

$$+m = D_K^B - D_K^H - \text{верхнее давление};$$

$$-m = D_K^H - D_K^B - \text{нижнее давление}.$$

Нижнее давление применяют на блюмингах и тяжелых ста-

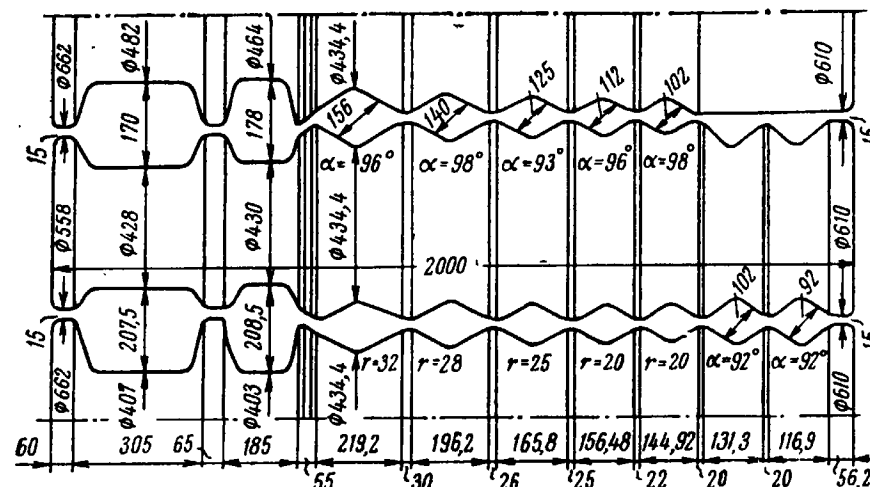


Рис. 51. Разрез валков в плоскости прокатки

нах для предотвращения удара выходящей полосы о первые ролики рольганга; оно обычно принимается равным 10 мм.

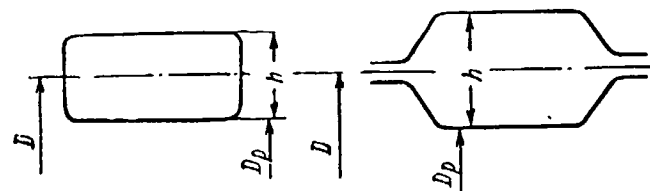


Рис. 52. Калибры с постоянным катающим диаметром по всей ширине прокатываемой полосы

Верхнее давление применяют на сортовых и мелкосортных станах для прижатия полосы к нижней проводке, чем обеспечивается ее прямолинейный выход. Обычно величина верхнего давления в клетях дуо составляет 2—6 мм.

Опытом установлено, что:

а) разница в диаметрах валков для ящичных (обжимных) калибров не должна быть выше 2—3% от номинального диаметра валка, причем в последнем калибре она не должна превышать 1%;

<sup>1</sup> Исключение из этого правила составляют станы, работающие с большими перемещениями верхнего валка.

б) разница в диаметрах валков для других типов обжимных калибров открытой формы не должна быть выше 1%;

в) для чистовых калибров разницу в диаметрах валков следует доводить по возможности до нуля.

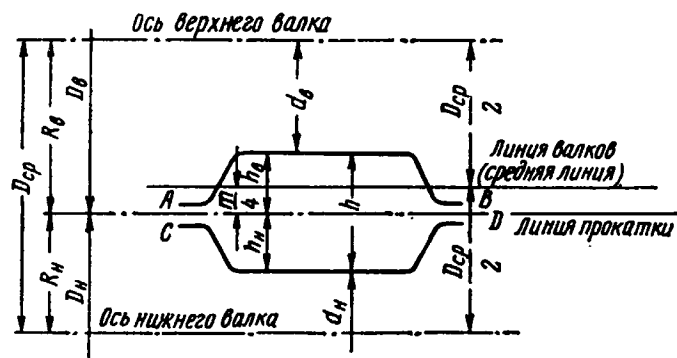


Рис. 53. Калибры с постоянным катающим диаметром по всей ширине прокатываемой полосы

При верхнем давлении линия прокатки  $CD$  располагается на  $\frac{m}{4}$  ниже средней линии валков, а при нижнем давлении на  $\frac{m}{4}$  выше средней линии валков ( $m$ —верхнее или нижнее давление).

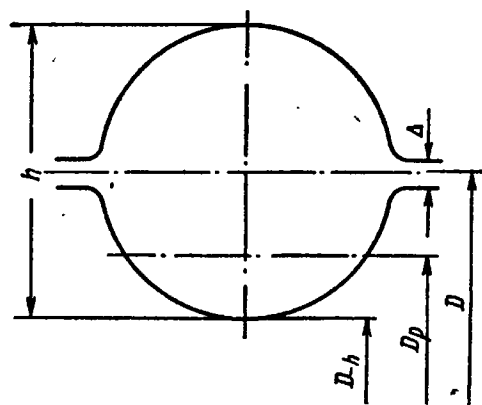


Рис. 54. Катающий диаметр валков

Правила расположения калибров в валках. Калибры на валках располагаются таким образом, чтобы нейтральная линия калибра совпала с линией прокатки.

Для составления рабочего чертежа калибровки необходимо руководствоваться правилами А. П. Виноградова:

- 1) при данных  $D_{\text{ср}}$ ,  $m$ ,  $h$  наносится средняя линия валков (рис. 53);
- 2) задаются значением верхнего или нижнего давления  $m$  и определяют значение  $\frac{m}{4}$

3) на расстоянии  $\frac{m}{4}$  от средней линии  $AB$  проводится линия прокатки  $CD$ ; для создания верхнего давления  $\frac{m}{4}$  откладывается

вниз, для создания нижнего давления — вверх; при  $\frac{m}{4} = 0$  линия прокатки и средняя линия валков совпадают;

- 4) определяют рабочие диаметры  $D_{\text{р}}$ ;
- 5) производят проверку размеров:

$$\frac{d_{\text{в}}}{2} + \frac{d_{\text{н}}}{2} + h = D_{\text{ср}};$$

- 6) наносят бурты;

7) на линии прокатки калибры размещают так, чтобы их нейтральные линии совпадали с линией прокатки.

Катающий диаметр валков  $D_{\text{р}}$  определяют следующим образом:

при условии постоянства катающего диаметра (рис. 52)

$$D_{\text{р}} = D - h;$$

при непостоянном катающем диаметре (рис. 54)

$$D_{\text{р}} = D - \frac{F}{b},$$

## § 7. ОБЖАТИЯ В КАЛИБРАХ

Обжатия в калибрах определяют по формуле

$$\Delta h = H - h.$$

Обжатие по ширине калибра может быть равномерное (рис. 55) и неравномерное (рис. 56).

В случае неравномерного обжатия величина последнего определяется по уравнению

$$\Delta h_{\text{с}} = H - h_{\text{с}} = H - \frac{F}{b},$$

где  $F$  — площадь калибра,  $b$  — ширина калибра.

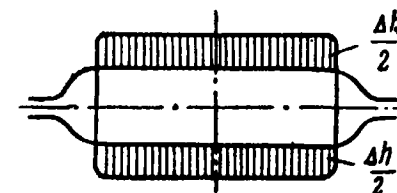


Рис. 55. Схема равномерного обжатия

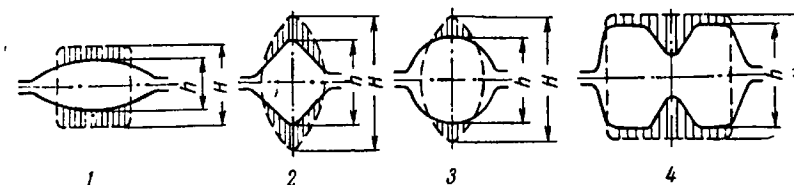


Рис. 56. Случаи неравномерного обжатия

В случае калибра 2—3 (рис. 56)

$$\Delta h_{\text{с}} = H_{\text{с}} - h_{\text{с}},$$

где

$$H_c = \frac{F_0}{b_0}; \quad h_c = \frac{F_1}{b_1}.$$

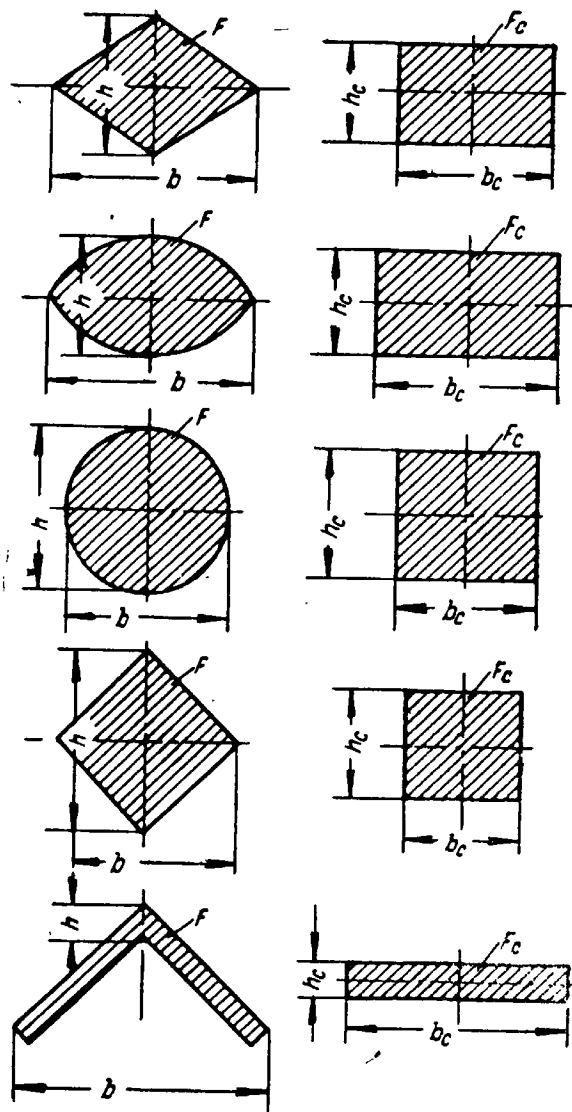


Рис. 57. Поперечные сечения соответственных полос. Для всех полос  $F = F_c$  и  $\frac{b}{h} = \frac{b_c}{h_c}$

Кроме общепринятого способа расчета средней величины обжатия, есть еще метод А. Ф. Головина [14]. Сущность его метода

заключается в следующем. Полоса данного сечения и полоса с прямоугольным поперечным сечением называются соответственными, если площади и отношение сходственных осей (сторон) их поперечного сечения равны. На рис. 57 изображены полосы различного фасонного сечения и соответственные им полосы.

Для соответственных полос должно быть равенство:

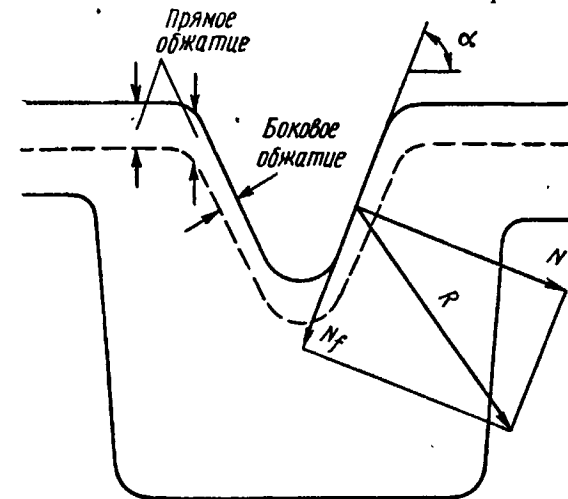


Рис. 58. Боковое обжатие в разрезном калибре

$$\left. \begin{aligned} F &= F_c = h_c \cdot b_c; \quad a = a_c; \\ a &= \frac{b}{h} = \frac{b_c}{h_c} = a_c. \end{aligned} \right\}$$

Тогда

$$\Delta h_c = H_c - h_c.$$

При калибровке профилей приходится различать два вида обжатий: прямое или вертикальное и боковое обжатия, т. е. обжатие полосы в горизонтальном направлении.

Боковое обжатие появляется в тех местах калибра, где образующая валка составляет с его осью более или менее значительный угол, вследствие чего боковые части полосы уменьшают свою толщину за счет сближения наклонных поверхностей верхнего и нижнего валков (рис. 58).

На правой части рис. 58 показаны силы, приложенные к частице металла со стороны верхнего вала. Боковое обжатие наблюдается в тех случаях, когда равнодействующая  $R$  отклоняется от вертикального направления в сторону обжимаемого фланца, т. е. когда угол наклона обжимаемой поверхности превышает угол трения:

$$\alpha > \beta \text{ или } \operatorname{tg} \alpha > f.$$

При углах  $\alpha$  меньше  $60^\circ$  действие такого обжатия начинает преобладать над прямым.

При распределении обжатий (вытяжек) необходимо учитывать пластичность металла, прочность валков, мощность двигателя, условия захвата, износ валков.

Настойчивые попытки различных исследователей-прокатчиков найти объективный и рациональный метод определения коэффициентов вытяжки по проходам пока еще не дали положительных результатов. Поэтому при проектировании калибровок руководствуются практическими данными. На практике применяют следующие коэффициенты вытяжки за проход:

1. Блюминги и обжимные станы . . . . .	1,10—1,25
2. Сортной металл:	
чистовые калибры . . . . .	1,14—1,15
подготовительные . . . . .	1,14—1,20
квадрат-овал . . . . .	1,20—1,80
ромбические . . . . .	1,25—1,50
полосовые, обрубные . . . . .	1,30—2,0
3. Фасонные профили:	
отделочные калибры . . . . .	1,10—1,20
черновые (двутавровые, тавровые швеллеры) . . . . .	1,20—1,30
черновые (уголки и др.) . . . . .	1,30—1,40
обжимные для фасонных профилей . . . . .	1,30—1,80

При распределении обжатий (вытяжек) по проходам пользуются следующими правилами:

а) при деформации литой структуры в первых проходах обжатия даются минимальные, по мере раздробления структуры вытяжка увеличивается;

б) с понижением температуры металла при прокатке вытяжка уменьшается, так как сопротивление деформации металла возрастает;

в) при распределении обжатий по проходам стремятся, чтобы нагрузка двигателя была равномерной при всех проходах и чтобы мощность двигателя была использована полностью;

г) выбранные обжатия должны обеспечить лучшие условия захвата металла валками, прочность валков и отсутствие нарушения сплошности деформируемого металла.

## § 8. ДОПУСКИ ПРИ ПРОКАТКЕ

При прокатке любого профиля невозможно достичь номинального его размера. Возможны отклонения от номинального размера профиля в сторону увеличения (плюс) или уменьшения (минус). Эти отклонения размеров ограничены ГОСТами, которыми установлены так называемые допуски. Фактический размер профиля считается годным, если он находится в пределах установленного допуска.

Прокатка профиля с минимальным допуском зависит от мно-

гих факторов. Для получения профиля повышенной точности прокатку необходимо производить в чистовой клети системы дуо при отношении длины бочки валка к его диаметру на чистовых клетях в пределах 1,0—1,35; при прецизионной прокатке — 0,5—1,0 и при температуре конца прокатки не ниже  $850^\circ$  [15].

Если рассчитывать чистовой калибр по размерам профиля в горячем состоянии, то по мере износа калибра размеры готового профиля увеличатся, что может в конце концов выйти за пределы допусков. Более выгодной считается расточка чистовых калибров по размерам профиля в холодном состоянии. Вначале чистовой профиль будет иметь размеры меньше заданных по номиналу, но в пределах допуска на минус. По мере износа калибра они будут приближаться к номинальным, а затем станут больше номинальных, но в пределах допуска на плюс. Практикуют также расточку чистовых калибров по размерам профиля в холодном состоянии по минусовому допуску. Этот способ расточки калибров называют калибровкой на минус.

Размеры горячего профиля определяют умножением его размеров в холодном состоянии на биномиальный коэффициент  $1 + \alpha t$  ( $\alpha$  — коэффициент линейного расширения железа, равный  $12 \cdot 10^{-6}$ ,  $t$  — температура металла).

В интервале температур прокатки  $900—1200^\circ$  размеры горячего профиля определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} h_r &= (1,011 \div 1,015) h_x; \\ b_r &= (1,011 \div 1,015) b_x; \\ l_r &= (1,011 \div 1,015) l_x. \end{aligned} \right\}$$

## § 9. ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ

При непрерывной прокатке полоса одновременно деформируется в нескольких клетях, последовательно расположенных одна за другой. Схема непрерывной прокатки указана на рис. 59. Соблюдение равенства секундных объемов прокатываемого металла во всех клетях непрерывного стана считается основным условием непрерывной прокатки и выражается следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} v_1 F_1 &= v_2 F_2 = \dots v_{n-1} F_{n-1} = v_n F_n = \text{const}, \\ \frac{F_1}{F_2} &= \frac{v_2}{v_1} = \mu_2; v_2 = \mu_2 v_1; v_3 = \mu_3 v_2 \text{ и т. д.}, \end{aligned} \right\}$$

где  $v$  — скорость выхода полосы из валков;

$F$  — площадь поперечного сечения полосы;

$\mu$  — коэффициент вытяжки.

С учетом опережения  $S$  при известных значениях катающего

диаметра валков  $D_k$  и числа их оборотов  $n$  последнее уравнение примет вид

$$\frac{\pi D_1 n_1}{60} (1 + S_1) F_1 = \frac{\pi D_2 n_2}{60} (1 + S_2) F_2 = \dots$$

$$\dots \frac{\pi D_{n-1} n_{n-1}}{60} \cdot (1 + S_{n-1}) F_{n-1} = \frac{\pi D_n n_n}{60} (1 + S_n) F_n = \text{const}$$

или после сокращения на постоянную величину  $\frac{\pi}{60}$

$$F_1 D_1 n_1 (1 + S_1) = F_2 D_2 n_2 (1 + S_2) =$$

$$= \dots F_{n-1} D_{n-1} n_{n-1} \cdot (1 + S_{n-1}) = F_n D_n n_n \times$$

$$\times (1 + S_n) = \text{const.}$$

Произведение  $FD_k n (1 + S)$  называют постоянной непрерывного стана или константой калибровки.

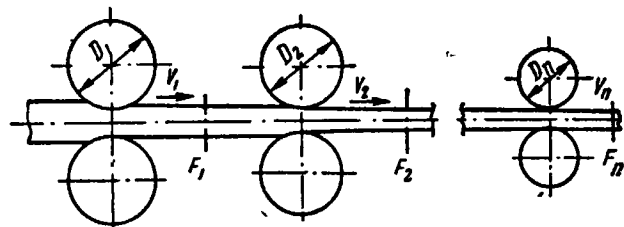


Рис. 59. Схема непрерывной прокатки

Практически выполнить условие константы калибровки трудно, так как температура полосы, коэффициент трения, зазор между валками и другие факторы, влияющие на величину опережения  $S$  и сечение полосы  $F$ , не остаются постоянными за весь период прокатки металла.

В связи с этим в реальных условиях работают либо с натяжением, либо с петлей, что зависит от формы и размеров прокатываемого сечения. При больших сечениях лучше работать с небольшим натяжением; при малых сечениях чаще всего работают с петлей.

Различают два случая проектирования калибровок валков непрерывного стана: для имеющейся непрерывной группы клетей; для вновь строящегося непрерывного стана.

В первом случае уже известны передаточные отношения от двигателя к каждой клетке, поэтому соблюдение константы калибровки изменением числа оборотов не представляется возможным. В этих условиях калибровщику приходится достигать соблюдения константы калибровки только соответствующим

подбором формы и площадей калибров и катающих диаметров валков.

Во втором случае проектирование калибровки валков для непрерывной группы прокатного стана не представляет больших затруднений. Калибровка в таких условиях ведется обычным методом.

После расчета размеров всех калибров и определения константы калибровки по первой или последней клетке обороты валков остальных клетей находятся из уравнения

$$n = \frac{C}{FD_k},$$

где  $C$  — константа калибровки непрерывного стана.

Зная число оборотов валков каждой клетки непрерывного стана, определяют передаточные числа для редуктора.

Калибровка валков действующего непрерывного стана с широкой регулировкой числа оборотов валков каждой отдельной клетки почти ничем не отличается от калибровки станом других типов; неточность, допущенная при расчете, может быть легко исправлена непосредственно в процессе прокатки путем соответствующей регулировки числа оборотов валков по клетям.

На непрерывных станах с групповым приводом прокатки профилей с одинаковой вытяжкой в смежных калибрах затруднительна, а в отдельных случаях даже невозможна.

Катающие диаметры. Задача по определению катающих диаметров  $D_p$  для непрерывного стана является достаточно сложной. Под катающим или рабочим диаметром понимается такой диаметр валков, окружная скорость которого соответствует скорости выхода металла из валков. Следовательно, катающий диаметр валков зависит не только от формы профиля калибра, но и от других параметров: коэффициента контактного трения, величины обжатия, натяжения и т. д.

В этих условиях трудно математически определить действительный катающий диаметр, поэтому прибегают к практическим приемам, которые с достаточной ясностью изложены в книге Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова [16].

Из уравнения константы калибровки определяют катающий диаметр:

$$D_k = \frac{C}{F \cdot n}.$$

Затем находят катающий диаметр по обычной формуле:

$$D_k = D_n - \frac{F}{B},$$

где  $D_n$  — начальный диаметр;

$F$  — площадь профиля;

$B$  — ширина профиля.

## § 10. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ

Для расчета калибровки необходимо:

1. Согласно заданию на проектирование калибровки профиля определенного размера изучить требования, предъявляемые к нему ГОСТом или Техническими условиями.
2. Изучить условия прокатки (тип стана, мощность, скорости прокатки, условия нагрева и уборки металла, а также факторы, определяющие качество профиля, химический состав стали, механические свойства стали или сплава при температурах прокатки).
3. Выбрать схему прокатки с учетом требований, предъявляемых к качеству профиля и производительности стана.
4. Определить оптимальные исходные размеры заготовки или слитка для получения требуемого профиля при заданных условиях работы прокатного стана.
5. Задаться средним коэффициентом вытяжки.
6. Определить полный коэффициент вытяжки и требуемое число проходов.
7. Построить кривую распределения температур по проходам.
8. Согласно графику распределения температур по проходам и сопротивления деформации металла при температурах прокатки задаться коэффициентами вытяжек по проходам так, чтобы последние соответствовали равенству

$$\mu^n = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \cdot \cdot \cdot \mu_n.$$

9. По общепризнанным методам, рассмотренным ниже, определить формы и размеры калибров.
10. Для каждого шаблона калибра найти его центр тяжести.
11. Наметить среднюю линию.
12. Задаться значением верхнего или нижнего давления  $m$ .
13. Определить линию прокатки, с которой совмещается нейтральная линия.
14. Вычислить контактную площадь соприкосновения металла с валком.
15. Определить сопротивление деформации металла и давление металла на валок.
16. Проверить мощность двигателя или определить его мощность в случае проектирования нового стана.
17. Проверить на прочность основные детали стана (валок, станины, подушки, подшипники).
18. При данной схеме прокатки установить производительность стана, используя график Адамецкого.

**Задача 1.** Определить основные размеры валков— $D_{\text{ср}}$ ,  $D_{\text{н}}$  и  $D_{\text{б}}$  (см. рис. 60), если дано  $D_{\text{н}}^{\text{в}} = 900 \text{ мм}$  и  $D_{\text{н}}^{\text{н}} = 915 \text{ мм}$ , высота первого ящичного калибра  $H = 200 \text{ мм}$  и нижнее давление  $m = -15 \text{ мм}$ . Стан дуо реверсивный.

Решение. 1. Вначале проводим оси между валками  $AB$  и  $CM$  на расстоянии, равном среднему начальному диаметру:

$$D_{cp} = \frac{D_H^B + D_H^H}{2} = \frac{900 + 915}{2} = 907,5 \text{ мм.}$$

2. Расстояние между осями, равное  $D_{\text{ср}} = 907,5 \text{ мм}$ , делим

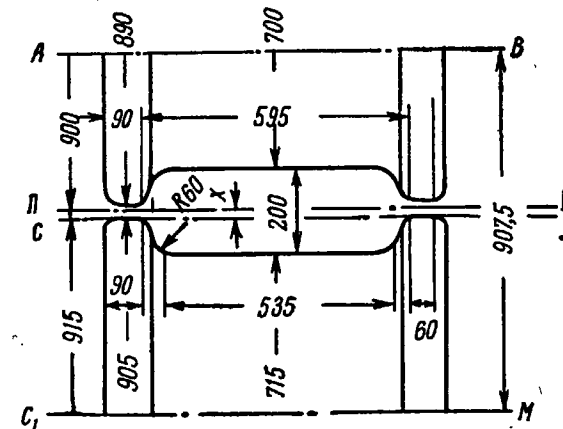


Рис: 60. Порядок выполнения чертежа калибровки

пополам и проводим посередине линию, параллельную осям валков СЛ (средняя линия валков).

3. На расстоянии  $x = \frac{m}{4} = \frac{15}{4} = 3,75$  мм выше линии СЛ проводим параллельную ей линию прокатки ЛП, с которой совмещается нейтральная линия, проходящая через центр тяжести калибра.
4. На линии прокатки ЛП строим форму ящичного калибра.
5. Так как высота калибра  $H = 200$  мм, то на линии, перпендикулярной линии прокатки, проходящей через центр тяжести ящичного калибра, откладываем вверх и вниз по 100 мм.
6. Определяем катающие диаметры валков:

$$D_K^B = D_H^B - 2h_B = 900 - 2 \cdot 100 = 700 \text{ мм},$$

$$D_K^H = D_H^H - 2h_H = 915 - 2 \cdot 100 = 715 \text{ мм.}$$

7. Определяем диаметры буртов:

$$D_6^B = D_K^B + (H - \Delta) = 700 + 200 - 10 = 890 \text{ мм},$$

$$D_6^H = D_K^H + (H - \Delta) = 715 + 200 - 10 = 905 \text{ мм}.$$

8. Производим проверку правильности расчетов:

$$\frac{D_K^B}{2} + \frac{D_K^H}{2} + H = D_{\text{ср}},$$

$$\frac{700}{2} + \frac{715}{2} + 200 = 907,5 \text{ мм},$$

$$D_H^B = D_{\text{ср}} - 2x = 907,5 - 2 \cdot 3,75 = 900 \text{ мм},$$

$$D_H^H = D_{\text{ср}} + 2x = 907,5 + 2 \cdot 3,75 = 915 \text{ мм}.$$

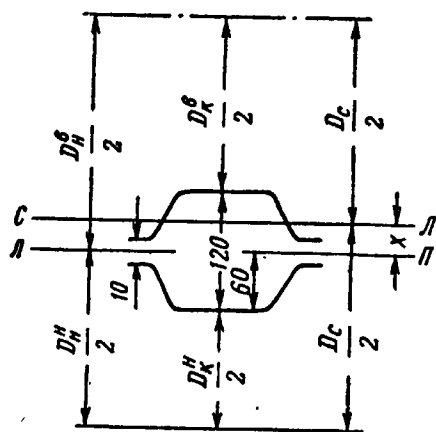


Рис. 61. К определению  $D_K^B$  и  $D_K^H$

Начальные радиусы определяем по формулам:

$$R_H^B = \frac{D_H^B}{2} = \frac{D_{\text{ср}}}{2} + \frac{m}{4} = 350 + \frac{10}{4} = 352,5 \text{ мм или } D_H^B = 705 \text{ мм},$$

$$R_H^H = \frac{D_H^H}{2} = \frac{D_{\text{ср}}}{2} - \frac{m}{4} = 350 - \frac{10}{4} = 347,5 \text{ мм или } D_H^H = 695 \text{ мм}.$$

Наносим положение осей верхнего и нижнего валков на расстоянии, равном  $R_H^B$  и  $R_H^H$  от линии прокатки. Вычерчиваем бурты, задаваясь величиной зазора  $\Delta = 10 \text{ мм}$ .

Находим:

$$D_K^B = D_H^B - H = 705 - 120 = 585 \text{ мм},$$

$$D_K^H = D_H^H - H = 695 - 120 = 575 \text{ мм}.$$

Как видно, расчет основных размеров валков произведен правильно.

**Задача 2.** Определить  $D_K^B$  и  $D_K^H$ , если известны  $D_{\text{ср}} = 700 \text{ мм}$ ,  $H = 120 \text{ мм}$  и верхнее давление  $m = +10 \text{ мм}$  (рис. 61).

**Решение.** Наносим линию прокатки ЛП ниже средней линии СЛ на  $x = \frac{m}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ мм}$ .

Нейтральная линия совпадает с центром тяжести прямоугольного калибра в точке О и с линией прокатки ЛП.

**Задача 3.** Дано:  $D_K^B = 605 \text{ мм}$ ,  $D_K^H = 595 \text{ мм}$ ,  $\frac{H}{2} = 100 \text{ мм}$ .

Определить:  $m$ ,  $D_{\text{ср}}$ ,  $D_H^B$ ,  $D_H^H$

**Решение.**

$$m = D_K^B - D_K^H = 605 - 595 = 10 \text{ мм},$$

$$D_H^B = D_K^B + \frac{H}{2} = 605 + 100 = 705 \text{ мм},$$

$$D_H^H = D_K^H + \frac{H}{2} = 595 + 100 = 695 \text{ мм},$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{(D_K^B + D_K^H) + H}{2} = \frac{605 + 595}{2} + 100 = 700 \text{ мм},$$

$$\frac{D_H^B + D_H^H}{2} = \frac{705 + 695}{2} = 700 \text{ мм}.$$

**Задача 4.** Определить размеры катающих диаметров сопряженных калибров стана трио (рис. 62), если известны диаметры  $D_{\text{ср}}^B$ ,  $D_{\text{ср}}^H$ ; высота нижнего калибра  $H$ ; высота верхнего калибра  $h$ .

**Решение.** Размеры катающих диаметров определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} D_K^H &= (D_{\text{ср}}^H - H) - \frac{(H-h) - (D_{\text{ср}}^H - D_{\text{ср}}^B)}{2}; \\ D_K^C &= D_K^H + (H-h) - (D_{\text{ср}}^H - D_{\text{ср}}^B); \\ D_K^B &= D_K^C + (H-h) - (D_{\text{ср}}^H - D_{\text{ср}}^B). \end{aligned} \right\}$$

Если  $D_{\text{ср}}^H = D_{\text{ср}}^B$ , то

$$b = \frac{1}{4}(H+h);$$

$$a = H - b = 0,75\left(H - \frac{h}{3}\right);$$

$$c = h - b = 0,75\left(h - \frac{H}{3}\right).$$

Указанные формулы справедливы, если верхнее давление в обоих сопряженных калибрах равно, т. е.

$$D_K^C - D_K^H = D_K^B - D_K^C = m.$$



Если

$$D_{\text{ср}}^{\text{н}} - D_{\text{ср}}^{\text{в}} = \Delta h,$$

то

$$D_{\text{к}}^{\text{н}} = D_{\text{к}}^{\text{с}} = D_{\text{к}}^{\text{в}}.$$

При равенстве высот нижнего и верхнего калибров  $H = h'$  и равенства средних диаметров  $D_{\text{ср}}^{\text{н}} = D_{\text{ср}}^{\text{в}}$  рабочие диаметры всех трех валков равны, т. е.

$$D_{\text{к}}^{\text{н}} = D_{\text{к}}^{\text{с}} = D_{\text{к}}^{\text{в}}.$$

Размеры буртов определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{б}}^{\text{н}} &= D_{\text{к}}^{\text{н}} + 2a + \Delta; \\ D_{\text{б}}^{\text{с}} &= 2 \left[ D_{\text{ср}}^{\text{н}} - \left( \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{н}}}{2} \right) \right]; \\ D_{\text{б}}^{\text{в}} &= 2 \left[ D_{\text{ср}}^{\text{в}} - \left( \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{с}}}{2} \right) \right]. \end{aligned} \right\}$$

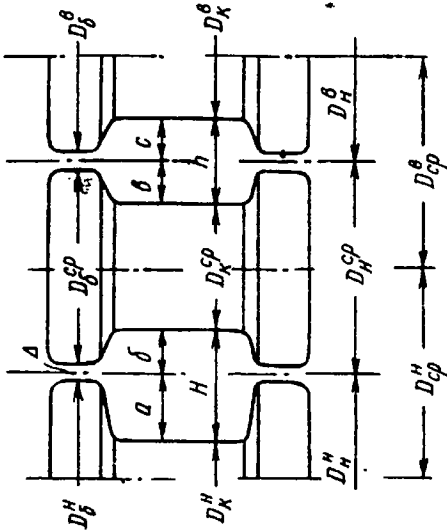


Рис. 62. Расположение прямоугольных (ящичных) калибров в валках трио

**Задача 5.** По данным калибровки валков обжимного стана трио  $D_{\text{ср}}^{\text{н}} = D_{\text{ср}}^{\text{в}} = 625$  мм. Высота нижнего калибра  $H = 207,5$  мм и верхнего  $h = 170$  мм. Верхнее давление в обоих сопряженных калибрах равно 37,5 мм. Зазор между буртами  $\Delta = 15$  мм.

Определить рабочие диаметры  $D_{\text{к}}^{\text{н}}$ ,  $D_{\text{к}}^{\text{с}}$ ,  $D_{\text{к}}^{\text{в}}$ ; диаметры буртов  $D_{\text{б}}^{\text{н}}$ ,  $D_{\text{б}}^{\text{с}}$ ,  $D_{\text{б}}^{\text{в}}$  и глубину вреза в нижний, средний и верхний валки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

**Решение.** Пользуясь формулами, рассмотренными нами в задаче № 4, определяем:

$$D_{\text{к}}^{\text{н}} = (D_{\text{ср}}^{\text{н}} - H) - \frac{H - h}{2} = (625 - 207,5) - \frac{207,5 - 170}{2} = 398,75 \text{ мм},$$

$$D_{\text{к}}^{\text{с}} = D_{\text{к}}^{\text{н}} + (H - h) = 398,75 + (207,5 - 170) = 436,25 \text{ мм},$$

$$D_{\text{к}}^{\text{в}} = D_{\text{к}}^{\text{с}} + (H - h) = 436,25 + (207,5 - 170) = 473,75 \text{ мм}.$$

Глубина вреза в валки:

$$\text{средний } b = \frac{1}{4} (H + h) = \frac{1}{4} (207,5 + 170) = 94,375 \text{ мм},$$

$$\text{нижний } a = H - b = 207,5 - 94,375 = 113,125 \text{ мм},$$

$$\text{верхний } c = h - b = 170 - 94,375 = 75,625 \text{ мм}.$$

Проверим правильность расчета:

$$D_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{D_{\text{к}}^{\text{н}}}{2} + H + \frac{D_{\text{к}}^{\text{с}}}{2} = \frac{398,75}{2} + 207,5 + \frac{436,25}{2} = 199,375 + 207,5 + 218,125 = 625 \text{ мм},$$

$$D_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{D_{\text{к}}^{\text{с}}}{2} + h + \frac{D_{\text{к}}^{\text{в}}}{2} = \frac{436,25}{2} + 170 + \frac{473,75}{2} = 218,125 + 170 + 236,875 = 625 \text{ мм}.$$

Таким образом, имеем

$$D_{\text{ср}}^{\text{н}} = D_{\text{ср}}^{\text{в}} = 625 \text{ мм}.$$

Величина давления в нижнем калибре

$$m_{\text{н}} = D_{\text{к}}^{\text{с}} - D_{\text{к}}^{\text{н}} = 436,25 - 398,75 = 37,5 \text{ мм}.$$

Величина верхнего давления в верхнем сопряженном калибре

$$m_{\text{в}} = D_{\text{к}}^{\text{в}} - D_{\text{к}}^{\text{с}} = 473,75 - 436,25 = 37,5 \text{ мм},$$

откуда

$$m_{\text{н}} = m_{\text{в}}.$$

Результаты проверки соответствуют условиям задачи. Размеры буртов определяют по формулам:

$$D_{\text{б}}^{\text{н}} = D_{\text{к}}^{\text{н}} + 2a - \Delta = 398,75 + 2 \cdot 113,125 - 15 = 610 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б}}^{\text{с}} = 2 \left[ D_{\text{ср}}^{\text{н}} - \left( \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{н}}}{2} \right) \right] = 2 \left[ 625 - \left( 15 + \frac{610}{2} \right) \right] = 610 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б}}^{\text{в}} = 2 \left[ D_{\text{ср}}^{\text{в}} - \left( \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{с}}}{2} \right) \right] = 2 \left[ 625 - \left( 15 + \frac{610}{2} \right) \right] = 610 \text{ мм}.$$

Проверка правильности расчета:

$$D_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{D_{\text{б}}^{\text{н}}}{2} + \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{с}}}{2} = \frac{610}{2} + 15 + \frac{610}{2} = 625 \text{ мм},$$

$$D_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{D_{\text{б}}^{\text{с}}}{2} + \Delta + \frac{D_{\text{б}}^{\text{в}}}{2} = \frac{610}{2} + 15 + \frac{610}{2} = 625 \text{ мм},$$

откуда  $D_{\text{ср}}^{\text{н}} = D_{\text{ср}}^{\text{в}}$ , что соответствует условиям задачи.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какая разница между калибром и ручьем?
2. Для какой цели делается зазор между буртами?
3. Какая зависимость между числом буртов и числом калибров?

4. Нарисуйте калибры открытого и закрытого типов.
5. В каких пределах изменяется величина зазора между буртами от диаметра валков?
6. В каких случаях используют калибры закрытой и открытой формы?
7. Для какой цели проектируется чередование положения разъема калибров, указанных на рис. 39?
8. Для какой цели углы калибра закругляются определенным радиусом (см. рис. 41)?
9. Для какой цели определяется центр тяжести шаблона калибра?
10. Что называется средней линией, нейтральной и линией прокатки?
11. Перечислите факторы, влияющие на величину «игры» валков и назовите условия прокатки с минимальными упругими деформациями деталей рабочей клетки сортопрокатных станов.
12. Составьте эскиз вреза в валки чистового калибра двутавровой балки и укажите, к какому типу он относится. С какой целью делается наклон боковых поверхностей калибра?
13. Что называется выпуском боковых стенок калибра, как он определяется и его назначение?
14. Что называется верхним и нижним давлением и для какой цели применяют валки разного диаметра?
15. Как определить секундное растяжение и в каких пределах оно может меняться в обжимных станах?
16. Как определить линейное обжатие  $\Delta h$  при задаче квадрата в овал, овала в чистовой круг, ромба в ромб и ромба в квадрат?
17. В каких пределах изменяется коэффициент переточки валков?
18. Как определяется диаметр стана, номинальный диаметр, средний и рабочий диаметры?

#### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить выпуск ящичного калибра по данным: глубина вреза в нижний валок  $h_n = 127$  мм, в верхний  $h_v = 53$  мм, зазор между буртами  $\Delta = 10$  мм, ширина калибра у разъема валков  $B_k = 235$  мм, ширина на глубине вреза  $b_k = 205$  мм.

Отв. 11,8%, или  $6^\circ 46'$ .

2. Насколько изменится размер диаметра валка по буртам при глубине выработки стенки калибра на 0,5 мм и при выпуске прямоугольного калибра  $6^\circ 46'$ ?

Отв.  $\Delta D'_v = 8,47$  мм.

3. Определить глубину выработки стенки калибра, если после переточки валков их диаметр уменьшится на 12 мм при выпуске ящичного калибра 15%.

Отв. 0,9 мм.

4. Диаметр новых валков по буртам  $D_b = 600$  мм, выпуск в прямоугольных калибрах составляет 12%. Общее уменьшение диаметра валков за 8 переточек составляет 40 мм. Определить среднюю глубину выработки стенки калибра.

Отв. 0,3 мм.

5. Определить положение центра тяжести равностороннего треугольника, сторона которого равна  $a = 30$  мм.

Отв.  $y_c = 8,7$  мм.

6. Определить положение центра тяжести трапеции, две параллельные стороны которой соответственно равны  $a = 45$  и  $b = 30$  мм, третья сторона, перпендикулярная двум параллельным сторонам, равна  $h = 50$  мм.

Отв.  $y_a = 23,3$  мм,  
 $y_b = 26,7$  мм.

7. Определить положение центра тяжести  $AB$  равнобокого угольника  $100 \times 100 \times 10$  мм.

Отв.  $x_c = y_c = 28,7$  мм.

8. Определить положение центра тяжести неравнобокого угольника  $100 \times 80 \times 10$  мм.

Отв.  $x_c = 23,53$  мм,  
 $y_c = 31,47$  мм.

9. Определить положение центра тяжести швеллера № 10:  $h = 100$  мм,  $b = 48$  мм,  $d = 5,3$  мм,  $t = 8,5$  мм, уклон полки 10%.

Отв.  $y_c = 15,2$  мм.

10. Построить ящичный калибр реверсивного стана дуо и проверить правильность его размеров, если дано: средний диаметр валков  $D_{ср} = 850$  мм, зазор между буртами валков  $\Delta = 10$  мм. Нижнее давление  $m = -12$  мм; теоретическая высота калибра  $b_k = 200$  мм, ширина дна калибра  $b'_k = 530$  мм, выпуск  $i = 12\%$ .

Отв.  $B_k = 552,8$  мм,  
 $D_k^a = 644$  мм,  
 $D_k^n = 656$  мм.

11. Проверить правильность размеров калибра обжимных валков, если на чертеже указаны размеры:  $D_{ср} = 907,5$  мм, высота калибра  $H = 200$  мм, нижнее давление —  $m = 15$  мм, зазор между буртами валков  $\Delta = 10$  мм.

Отв.  $D_k^a = 700$  мм,  $D_k^n = 715$  мм,  $D_g^a = 890$  мм,  $D_g^n = 905$  мм.

12. На обжимной клетке трио 600 построен ящичный калибр, имеющий глубину вреза в нижний валок  $h_p = 104$  мм, ширину

калибра у разъема валков  $B_k = 210$  мм на глубине вреза  $b_k = 200$  мм. Определить угол наклона боковых стенок  $\psi$  и величину выпуска в процентах  $i$ .

Отв.  $\psi = 2,75^\circ$ ,  
 $i = 4,8\%$ .

13. Диаметр обжимного стана  $D_n = 600$  мм. В каких пределах изменяется величина начального диаметра валков в процессе их эксплуатации, если коэффициент переточки  $K = 0,10$  и величина зазора между буртами  $\Delta = 12$  мм?

Отв.  $D_{\text{макс}} = 618$  мм,  
 $D_{\text{мин}} = 558$  мм.

14. Определить допустимый начальный диаметр валков для прокатки круга диаметром 150 мм при зазоре между буртами  $\Delta = 8$  мм.

Отв.  $D_n = 852$  мм.

15. Определить секундное растяжение в первом ящичном калибре обжимного стана трио 650, имеющем рабочий диаметр среднего валка  $D_p^c = 400$  мм, нижнего валка  $D_p^n = 380$  мм. Скорость вращения валков  $n = 75$  об/мин.

Отв.  $q = 78,5$  мм/сек.

16. Найти рабочий диаметр среднего валка  $D_p^c$  первого ящичного калибра стана трио по данным: высота калибра, образованная нижним и средним валками,  $H = 210$  мм, рабочий диаметр нижнего валка первого калибра  $D_p^n = 372$  мм, средний диаметр валков  $D_{cp} = 604,5$  мм.

Отв.  $D_p^c = 417$  мм.

17. Определить диаметр буртов нижнего валка обжимного стана трио, если средний диаметр валков  $D_{cp} = 604,5$  мм, диаметр бурта среднего валка  $D_6^c = 545$  мм, рабочий диаметр среднего валка  $D_p^c = 397$  мм, зазор между буртами валков  $\Delta = 13$  мм, высота калибра, образованная верхним и средним валками с учетом зазора между буртами,  $H = 225$  мм.

Отв.  $D_6^n = 638$  мм.

18. Высота калибра  $H = 210$  мм, средний диаметр валков  $D_{cp} = 604,5$  мм, верхнее давление  $m = 45$  мм. Определить значения рабочих диаметров валков.

Отв.  $D_p^n = 372$  мм,  
 $D_p^c = 417$  мм.

19. Определить рабочие диаметры  $D_p^n$ ,  $D_p^c$ ,  $D_p^a$  для двух первых сопряжений ящичных калибров обжимного трио стана 600,

если средний диаметр валков между нижним и средним валками  $D_{cp}^n = 604,5$  мм, между средним и верхним валками  $D_{cp}^a = 609,5$  мм. Высота нижнего калибра  $H_n = 210$  мм, верхнего сопряженного  $H_v = 170$  мм.

Отв.  $D_p^n = 372$  мм;  $D_p^c = 417$  мм,  $D_p^a = 462$  мм.

20. Средние диаметры между нижним и средним, средним и верхним валками те же, что в задаче № 19, но  $H_n = 225$  мм и  $H_v = 195$  мм. Определить рабочие диаметры.

Отв.  $D_p^n = 362$  мм,  $D_p^c = 397$  мм,  $D_p^a = 432$  мм.

21. По условиям задачи № 19 определить диаметр буртов  $D_6^n$ ,  $D_6^c$ ,  $D_6^a$ , если зазор между ними  $\Delta = 13$  мм и глубина вреза в нижний валок  $h_p = 133$  мм.

Отв.  $D_6^n = 638$  мм,  $D_6^c = 545$  мм,  $D_6^a = 648$  мм.

22. Определить рабочие диаметры валков обжимного стана трио 600 мм для двух первых сопряженных ящичных калибров по данным:  $D_{cp}^n = 604,5$  мм,  $D_{cp}^a = 609,5$  мм, обжатие в первом нижнем калибре  $\Delta h = 40$  мм, во втором верхнем  $\Delta h = 35$  мм, начальная толщина заготовки  $h_0 = 230$  мм. Проверить правильность расчета.

Отв.  $D_p^n = 374,5$  мм,  $D_p^c = 414,5$  мм,  $D_p^a = 454,5$  мм.

23. Определить катающий диаметр  $D_k$  чистового круглого калибра  $d = 30$  мм с зазором между валками  $\Delta = 3$  мм и начальным диаметром валков  $D_0 = 300$  мм.

Отв.  $D_k = 276,45$  мм.

24. Определить катающий диаметр  $D_k$  овала  $25 \times 41,6$  мм с зазором между валками  $\Delta = 3$  мм и начальным диаметром валков  $D_n = 300$  мм.

Отв.  $D_k = 283,3$  мм.

25. Определить катающий диаметр  $D_k$  ромба, имеющего диагонали  $159 \times 225$  мм, зазор между буртами  $\Delta = 10$  мм и начальный диаметр  $D_n = 720$  мм.

Отв.  $D_k = 640,5$  мм.

26. На обжимном стане 600 мм в ящичном калибре выпуск равен 14%. Определить разность  $B_k - b_k$  ( $B_k$  — ширина калибра при разъеме,  $b_k$  — ширина калибра у основания), если глубина вреза ручья  $h_p = 112$  мм.

Отв. 31,36 мм.

# КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ПРОСТЕЙШИХ ПРОФИЛЕЙ

## ГЛАВА IV

### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАНОВ

Листы толщиной 4—160 мм, шириной от 600—5000 мм и длиной 2—12 м называются толстыми. В некоторых случаях длина листов может достигать 18—20 м.

Требования, предъявляемые к листам, обуславливаются соответствующими действующими ГОСТами<sup>1</sup>.

1. Сталь листовая котельная и топочная для паровозов (ГОСТ 399—41).

2. Сталь листовая углеродистая для котлостроения (ГОСТ 5520—50).

3. Сталь горячекатаная углеродистая для судостроения (ГОСТ 5521—60).

4. Сталь прокатная толстолистовая (ГОСТ 5681—57).

5. Сталь углеродистая горячекатаная для мостостроения (ГОСТ 6713—53).

Прокатку толстых листов ведут на следующих станах:

1. Одноклетевых двухвалковых реверсивных (дуо) и четырехвалковых станах (кварто).

2. Одноклетевых трехвалковых станах для прокатки листов толщиной 4—50 мм.

3. Станах с последовательным расположением клетей (тан-дем) для прокатки средних и толстых листов.

4. Двухвалковых реверсивных и трехвалковых неререверсивных универсальных станах для прокатки листов толщиной 6—50 мм.

5. Непрерывных станах для прокатки средних и тонких листов.

<sup>1</sup> Указатель государственных стандартов, действующих в 1962 г. Стандартиз, 1962.

## § 1. СПОСОБЫ ПРОКАТКИ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Прокатку листа производят из слитков и слябов различными способами.

I. В тех случаях, когда ширина сляба равна ширине прокатываемого листа с необрезными боковыми кромками, сляб прока-

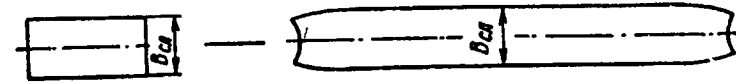


Рис. 63. Схема прокатки толстых листов из слябов (ширина сляба примерно равна ширине листа)

тывают вдоль до толщины и длины листа с припуском для обрезки переднего и заднего концов. Схема прокатки толстых листов

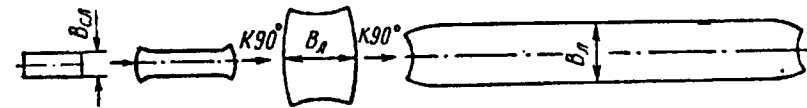


Рис. 64. Схема прокатки толстых листов из слябов (ширина сляба меньше ширины листа)

из слябов (ширина сляба примерно равна ширине листа) показана на рис. 63.

II. В тех случаях, когда ширина сляба меньше ширины листа

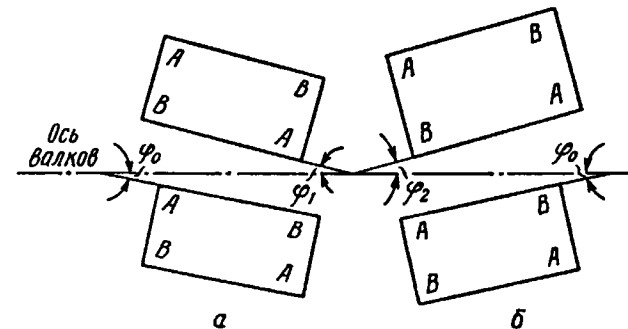


Рис. 65. Прокатка на угол:  
а — задача раската углом  $A$ ; б — задача раската углом  $B$

(рис. 64), на современных листовых станах линейного типа, оборудованных манипуляторами и кантователями, прокатка листа производится по следующей схеме:

1) прокатка сляба вдоль для выравнивания толщины по его длине (2—4 прохода);

2) поворот раската на 90°;

3) прокатка раската поперек для получения необходимой ширины;

4) поворот раската на 90°;

5) прокатка раската вдоль для получения необходимой толщины и длины листа.

Второй способ применяют только при прокатке листов из слябов.

III. На старых станах линейного типа прокатку слитка или сляба до необходимой ширины листа часто ведут с задачей их не по длине, а на угол (рис. 65). Для ускорения разбивки ширины листа угол задачи обычно принимают в пределах 10—20°.

Ширина раската при прокатке на угол определяется по формуле И. М. Павлова:

$$b_1 = \frac{\mu b_0}{\sqrt{1 + \sin^2 \psi_0 (\mu^2 - 1)}},$$

где  $b_0$  — ширина раската до прохода;

$b_1$  — ширина раската после прохода;

$\psi$  — угол задачи.

Величину  $b_1$  можно определить по номограмме (рис. 66).

IV. Если ширина листа может получиться из длины сляба, а длина из ширины сляба, то прокатка листа может производиться без разбивки листа.

V. На непрерывных станах, на которых прокатывают листы из слябов, имеющих толщину 70—250 мм, ширину до

клетей определяют соотношением ширины сляба и готового листа. Толщина раската после уширительной клетки равна

$$h_1 = \frac{H_0 B_0}{b_1}.$$

Необходимое абсолютное и относительное обжатия равны

$$\Delta h = \frac{H_0 (b_1 - B_0)}{b_1},$$

$$u \% = 100 \frac{H_0 - h_1}{h_0} = 100 \frac{b_1 - B_0}{b_1},$$

где  $H_0$ ,  $B_0$  — толщина и ширина раската до прокатки;

$h_1$ ,  $b_1$  — то же, после прокатки в уширительной клетке.

Перед уширительной клетью устанавливают окалиноломатель (клеть дуо с горизонтальными валками, а иногда с верти-

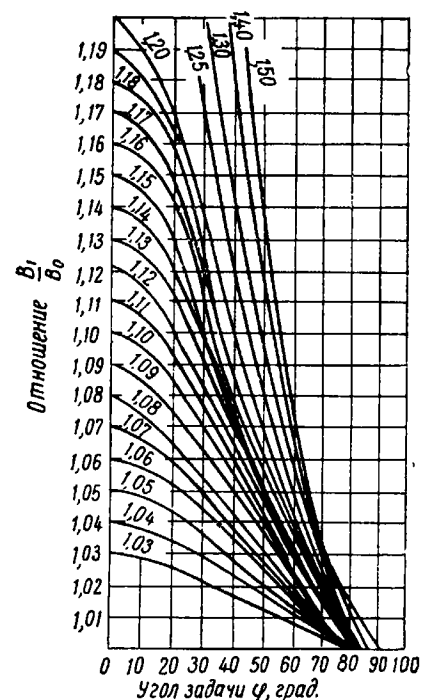


Рис. 66. Уширение при прокатке «на угол» в зависимости от вытяжки

2400 мм, длину до 6 м и вес до 14 т, ширина которых меньше ширины прокатываемых листов, устанавливают уширительные клетки кварто. Схема прокатки листа в уширительной клетке представлена на рис. 67. В этом случае слябы перед уширительной клетью поворачивают на 90° и задают в валки широкой стороной. При прокатке с уширением обжатие в уширительной

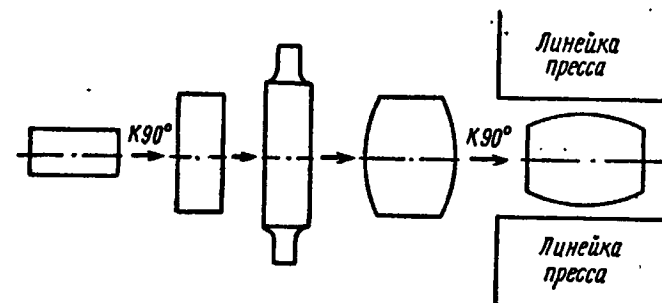


Рис. 67. Схема прокатки сляба в уширительной клетке

кальными). В черновом окалиноломателе обжатие, как правило, принимается 5—15%, а в чистовом окалиноломателе до 10%.

Прокатка раската «на прямую» (без поворота сляба на 90°) в уширительной клетке возможна в тех случаях, когда ширина сляба на 10—20 мм больше ширины листа.

После прокатки в уширительной клетке раскат получается с выпуклыми концами, которые после второго поворота на 90° становятся боковыми (см. рис. 67).

Для выравнивания боковых кромок за этой клетью обычно устанавливают пресс с линейками для обжатия раската. Получение раската с одинаковой шириной по длине облегчает работу вертикальных валков черновых клетей и позволяет вести прокатку листов из слябов, ширина которых больше ширины прокатываемых листов. Если прокатка производится из слябов, ширина которых равна ширине прокатываемых листов, то в этом случае уширительная клетка и пресс для обжатия боковых кромок не устанавливаются в линию прокатного стана, поэтому этот способ прокатки листа считается наиболее выгодным.

## § 2. ВЫБОР ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Лучшей заготовкой для листа данных размеров будет та, которая имеет минимально возможную толщину. В этом случае сляб или слиток должен иметь наибольшую ширину и длину. Ширина слитков превосходит их толщину в 2—3 раза и достигает 60—70% длины. Для слитков весом 1—5 т наилучшее отношение их толщины в среднем сечении к длине 1:3, а отношение толщины к ширине 1:2,5. Для слитков же кипящей стали весом 250—500 кг отношение толщины к длине может достигать до 1:5.

Размеры слябов и слитков для прокатки листовой и универсальной стали показаны в табл. 8, 9.

Таблица 8

Размеры слябов для прокатки листовой и универсальной стали

Станы	Размеры слябов, мм			Вес, т (не более)
	толщина	ширина	длина	
Линейного типа . . . . .	100—250	600—1600	До 5500	8,0
Универсальные . . . . .	100—200	250—1100	» 4500	7,5
Непрерывные . . . . .	100—250	600—1600	» 1600	12,0

Примечание. У слябов по техническим условиям допускают: радиус закругления углов до 20 мм; вогнутость и выпуклость боковых граней в пределах допусков по ширине, но не более 10 мм на сторону; косина реза не более 40 мм, серповидность не более 15 мм на 1 пог. м. Допускаются без зачистки дефекты глубиной до 1 мм.

Таблица 9

Размеры слитков, мм, прокатываемых на листовом стане завода А

Вес слитка кг	Верх		Низ		Высота
	толщина	ширина	толщина	ширина	
400	180	370	210	420	850
500	130—200	610—510	155—200	650—550	850
600	170—200	710—570	200—230	750—610	850—900
800	175	610	210	650	900—1000
1000	240—200	710—510	240—230	750—550	1000—1100

При определении веса слитка или сляба необходимо пользоваться формулой

$$M = m \cdot a,$$

где  $M$  — вес слитка или сляба, т;

$m$  — вес годного листа, т;

$a$  — расход металла на 1 т годного листа (табл. 10).

Таблица 10

Технико-экономические показатели работы листовых станов в зависимости от вида исходного металла

Сталь	Расход металла на 1 т годного, т		
	слитков	слябов	слябов, пересчитанных на слитки

Толсто- и среднелистовые станы

Углеродистая:			
рядовая кипящая . . . . .	1,340—1,43	1,100	1,330
спокойная . . . . .	1,550	1,150	1,470
Котельно-топочная . . . . .	1,900	1,350	1,600
Углеродистая качественная . . . . .	1,600	1,200	1,530
Нержавеющая . . . . .	—	1,290	1,750

Универсальные станы

Углеродистая рядовая . . . . .	1,145	1,100	1,250
Углеродистая качественная . . . . .	1,245	1,110	1,370
Легированная . . . . .	1,250	1,185	1,470
Нержавеющая . . . . .	—	1,215	1,600

## § 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЖАТИИ ПО ПРОХОДАМ

Под калибровкой листового стана понимают последовательный подбор обжатий по проходам при прокатке листа. При установлении рациональной калибровки необходимо:

- 1) выбрать исходную заготовку (слиток, сляб, сутунку);
- 2) выбрать начальную температуру прокатки;
- 3) выбрать температуру металла по проходам;
- 4) рассчитать усилия, возникающие при выбранных обжатиях;
- 5) определить расход энергии и мощности двигателя;
- 6) рассчитать производительность при всех возможных вариантах калибровки.

Нами рассматриваются два метода распределения обжатий по проходам — В. А. Тягунова и Н. В. Литовченко.

По В. А. Тягунову [8] обжатия за проход выбирают исходя из главных условий:

1. Механических свойств металла при температурах прокатки (см. § 2, глава I).

2. Условий захвата металла валками.

3. Условий прочности вала. Расчет производится в двух случаях по-разному:

а) при отсутствии скольжения, когда отношение средней длины пояса деформации  $l_c$  к средней толщине  $h_c$  меньше единицы и коэффициент, учитывающий внешнее сопротивление  $k_f$ , равен единице;

б) при наличии скольжения, когда  $k_f > 1$ . Зная размеры вала и допускаемое напряжение материала вала на изгиб, трудно определить нагрузку на валок:

$$P_{\text{доп}} = \frac{0,4D^3 \cdot \sigma_{\text{изг}}^*}{(L + l) - 0,5b_c},$$

где  $D$  — диаметр вала (крайнего в трехвалковых станах);

$L + l$  — длина бочки и шейки вала;

$b_c$  — ширина раската или листа.

В толстолистовых станах допускаемое напряжение на изгиб можно принять:

для обыкновенных чугуновых валков  $\sigma_{\text{изг}} = 6-8$ ; легированных  $\sigma_{\text{изг}} = 8-9$  кг/мм<sup>2</sup>; литых стальных  $\sigma_{\text{изг}} = 10-12$  кг/мм<sup>2</sup>; кованных стальных  $\sigma_{\text{изг}} = 12-16$  кг/мм<sup>2</sup>.

Затем определяют максимальное линейное обжатие, обеспечивающее прочность вала:

$$\Delta h_{\text{макс}} = \frac{1}{R_c} \left( \frac{P}{p_0 \cdot b_c} \right)^2,$$

где  $R_c$  — средний радиус вала стана трио Лаута;

$p_0$  — полезное удельное давление, равное по В. А. Тягунову:

$$p_0 = k_f \cdot \sigma_b.$$

Определив  $\Delta h_{\text{макс}}$ , вычисляют среднюю длину пояса деформации  $l_c$ :

$$l_c = \sqrt{R_c \Delta h_{\text{макс}}}$$

и среднюю толщину прокатываемого металла

$$h_c = h_0 - \frac{\Delta h_{\text{макс}}}{2}.$$

По данным  $l_c$ ,  $h_c$  и коэффициенту трения  $f$  можно определить  $k_f$  по формуле А. Ф. Головина:

$$k_f = 1 + f \left( \frac{l_c}{h_c} - 1 \right).$$

Если  $\frac{l_c}{h_c} < 1$  и  $k_f = 1$ , подсчитанное максимальное обжатие отвечает указанному выше первому случаю расчета, а если  $k_f > 1$ , то максимальное обжатие ( $\Delta h_{\text{макс}}$ ) нужно рассчитывать по формуле В. В. Швейкина и В. А. Тягунова:

$$\Delta h_{\text{макс}} = \frac{1}{R_c} \left( \frac{P_{\text{доп}}}{k_f \cdot p_0 \cdot b_c} \right)^2.$$

В этом случае необходимо допускаемое усилие  $P'_{\text{доп}}$  определять по формуле

$$P'_{\text{доп}} = p_0 b_c \sqrt{\Delta h \cdot R_c} \left[ 1 + f \left( \frac{\sqrt{R_c \Delta h}}{h_0 - \frac{\Delta h}{2}} - 1 \right) \right].$$

При использовании этой формулы следует учитывать, что вначале задаются линейным обжатием  $\Delta h$ , и если после подстановки значения  $\Delta h$  в эту формулу значение  $P'_{\text{доп}}$  будет равно  $P_{\text{доп}}$ , подсчитанного из условия прочности вала, то задача решена правильно. При  $P'_{\text{доп}} > P_{\text{доп}}$  следует  $\Delta h$  уменьшить; если  $P'_{\text{доп}} < P_{\text{доп}}$ , то  $\Delta h$  надо увеличить.

При выборе обжатий по проходам для листовых станов с маломощными двигателями необходимо руководствоваться следующими равенствами:

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_1}{N_2} &= \sqrt{\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}}; \\ \frac{N_2}{N_3} &= \sqrt{\frac{\Delta h_2}{\Delta h_3}}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{N_{n-1}}{N_n} &= \sqrt{\frac{\Delta h_{n-1}}{\Delta h_n}}, \end{aligned} \right\}$$

причем  $N_1 = N$  ( $N$  — мощность двигателя листового стана;  $N_1, N_2, N_3 \dots N_{n-1}, N_n$  — необходимая мощность для прокатки листа при заданном обжатии  $\Delta h$ ).

Мощность прокатки по проходам при равномерной нагрузке вала должна иметь в листовых станах наибольшие значения в первых проходах и убывать по мере приближения к концу прокатки, учитывая при этом — с маховиком или без маховика привод стана. В станах с приводом без маховика наибольшая пере-

\* Для определения нагрузки, при которой валок ломается, вместо  $\sigma_{\text{изг}}$  подставляется значение  $\sigma_b$ , равное:

Материал валков	$\sigma_b, \text{кг/мм}^2$
Стальное литье	50—60
Чугун	30—37,5
Кованая сталь	60—65
Кованая легированная сталь	70—75

грузки двигателей должна быть в первых проходах. Если же станы имеют привод с маховиком, то перегрузка в первых проходах полностью снимается маховиком и не отражается на двигателе: двигатель нагружается лишь в последних проходах.

Перегрузка по мощности возможна в случаях, когда мощности двигателя ниже средней мощности прокатки, т. е. вообще недостаточна, или же в случае несоответствующего веса маховика. Метод расчета работы прокатки рассмотрен был ранее.

#### § 4. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА ПО ПРОХОДАМ

При рациональной калибровке листовых станов необходимо знание изменения температуры по проходам. Конечная температура прокатки должна быть не ниже 850—900°.

Для определения температуры металла после каждого прохода пользуются формулой В. А. Тягунова

$$T_n = T_0 - \frac{K'}{h_{n-1}},$$

где  $T_n$  — температура металла в данном проходе;

$T_0$  — условная температура, определяемая по формуле

$$T_0 = T_1 + \frac{K'}{h_0}.$$

Здесь  $T_1$  — температура начала прокатки;

$T_k$  — температура листа при последнем проходе;

$h_0$  — начальная толщина сляба;

$h_{n-1}$  — толщина металла в предпоследнем проходе; коэффициент  $K'$  определяют по выражению

$$K' = \frac{T_1 - T_k}{h_0 - h_{n-1}} h_0 h_{n-1}.$$

Пример 1. Дано: начальная толщина сляба  $h_0 = 220$  мм; конечная толщина сляба  $h_n = h_{n-1} = 7$  мм; температура начала прокатки  $T_1 = 1200^\circ$ ; температура конца прокатки  $T_k = 870^\circ$ . Определить температуру металла в пятом проходе, если прокатка производится при следующих обжатиях:  $\Delta h_1 = 10$  мм;  $\Delta h_2 = 18$  мм;  $\Delta h_3 = 36$  мм;  $\Delta h_4 = 20$  мм.

Константа  $K'$  при заданных температурах равна

$$K' = \frac{1200 - 870}{220 - 7} \cdot 220 \cdot 7 = 2380 \text{ град/мм.}$$

Условная температура  $T_0$  равна

$$T_0 = \frac{K'}{h_0} + T_1 = 1200 + \frac{2380}{220} = 1211^\circ.$$

Температура металла по проходам равна:  
во втором

$$T_2 = T_0 - \frac{K'}{h_1} = 1211 - \frac{2380}{210} = 1200^\circ;$$

в третьем

$$T_3 = T_0 - \frac{K'}{h_3} = 1211 - \frac{2380}{192} = 1199^\circ;$$

в четвертом

$$T_4 = T_0 - \frac{K'}{h_3} = 1211 - \frac{2380}{156} = 1196^\circ;$$

в пятом

$$T_5 = T_0 - \frac{K'}{h_4} = 1211 - \frac{2380}{136} = 1194^\circ.$$

В том случае, когда требуется определить температуру конца прокатки, константа  $K'$  рассчитывается по формуле

$$K' = \frac{T_1 - 400}{16} \cdot \frac{\mu_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}} - 1} \cdot Z,$$

где  $T_1$  — температура начала прокатки;  
 $\mu_{\text{ср}}$  — средний коэффициент вытяжки;

$\frac{\tau}{n} = Z$  — средняя продолжительность пропуска, сек.;

$\tau$  — продолжительность прокатки за  $n$  проходов;  
 $n$  — число проходов.

Пример 2. Дан лист  $3 \times 1400 \times 8400$  мм, прокатываемый из раската  $15 \times 1500$  мм весом 340 кг в 8 проходов. Начальная температура  $T_0 = 1007^\circ$ . Продолжительность прокатки в 9 проходов (один проход — проглаживание)  $\tau = 40$  сек. Определить конечную температуру  $T_k$ .

$$\lg \mu_{\text{ср}} = \frac{\lg \mu_{\text{об}}}{n - 1} = \frac{\lg \frac{15}{3}}{9 - 1} = 0,087,$$

$$\mu_{\text{ср}} = 1,223.$$

Находим среднюю продолжительность прохода:

$$Z = \frac{\tau}{n} = \frac{40}{9} = 4,5 \text{ сек.}$$

Рассчитываем константу  $K'$ :

$$K' = \frac{T_1 - 400}{16} \cdot \frac{\mu_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}} - 1} \cdot Z = \frac{1007 - 400}{16} \cdot \frac{1,223}{1,223 - 1} \cdot 4,5 = 940 \text{ град/мм.}$$

Определяем перепад температуры за 9 проходов:

$$\Delta T = \frac{K'}{h_{n-1}} - \frac{K'}{h_0} = \frac{940}{3} - \frac{940}{15} = 250^\circ.$$

Конечная температура:

$$T_k = 1007 - 250 = 757^\circ.$$



# § 5. РАСЧЕТ РЕЖИМА ОБЖАТИЙ ПО МЕТОДУ В. А. ТЯГУНОВА [8]

Составить режим обжатий для прокатки листа  $4 \times 1500 \times 5600$  мм из сляба  $130 \times 300 \times 900$  мм весом 276 кг на стане 750/500/750  $\times$  2000 мм. Материал листа — сталь Ст. 3; предел прочности стали Ст. 3  $\sigma_b = 40$  кг/мм<sup>2</sup>; начальная температура прокатки  $T_1 = 1200^\circ$ ; температура плавления стали Ст. 3  $T_{пл} = 1475^\circ$ ; конечная температура листа  $T_k = 870^\circ$ ; длина шейки валка  $l = 425$  мм; материал валков — чугун; допускаемое напряжение при изгибе  $\sigma_{изг} = 8$  кг/мм<sup>2</sup>; скорость вращения валков 750 об/мин.

Предварительные расчеты. 1. Допускаемое давление металла на валок:

$$P_{доп} = \frac{0,4D^3\sigma_{изг}}{(L \div l) - 0,5b_c} = \frac{0,4 \cdot 750^3 \cdot 8}{2000 \div 425 - 0,5 \cdot 1500} = 805 \text{ т.}$$

2. Значение константы  $K'$ :

$$K' = \frac{T_1 - T_k}{h_0 - h_{n-1}} h_0 \cdot h_{n-1} = \frac{1200 - 870}{130 - 4} \cdot 130 \cdot 4 = 1710 \text{ г/мм.}$$

3. Условная температура  $T_0$ :

$$T_0 = T_1 + \frac{K'}{h_0} = 1200 + \frac{1710}{130} = 1213^\circ.$$

4. Принимается средний коэффициент вытяжки  $\mu_{ср} = 1,416^*$ .

5. Логарифм общего коэффициента вытяжки равен

$$\lg \mu_{общ} = \lg H - \lg h = \lg 130 - \lg 4 = 1,51188.$$

6. Число проходов

$$n = \frac{\lg \mu_{общ}}{\lg \mu_{ср}} = \frac{1,51188}{0,15119} = 10.$$

Принимаем последний проход без обжатий, тогда  $n = 11$ .

7. Средний радиус валков

$$R_c = \frac{DD'}{D \div D'} = \frac{750 \cdot 500}{750 \div 500} = 300 \text{ мм.}$$

Расчеты калибровки по проходам. 1-й проход. Дано:  $h_0 = 130$  мм;  $b_0 = 300$  мм;  $T_1 = 1200^\circ$ .

1. Задаемся обжатием  $\Delta h = 12$  мм, тогда  $h = 130 - 12 = 118$  мм.

2. Температурный коэффициент  $k_t$  определяем по формуле (18):

$$k_t = \frac{(t_{пл} - 75) - t_1}{1500} = \frac{(1475 - 75) - 1200}{1500} = 0,133.$$

\* Средний коэффициент вытяжки принимается в зависимости от условий прокатки, главным образом от химсостава стали в пределах  $\mu_{ср} = 1,1 - 1,4$ .

3. Полезное удельное давление  $k_t \sigma_b$  равно

$$k_t \cdot \sigma_b = 0,133 \cdot 40 = 5,3 \text{ кг/мм}^2.$$

4. Средняя длина пояса деформации  $l_c$  равна

$$l_c = \sqrt{R_c \Delta h} = \sqrt{300 \cdot 12} = 60 \text{ мм.}$$

5. Средняя толщина  $h_c$  равна

$$h_c = h_0 - \frac{\Delta h}{2} = 130 - 6 = 124 \text{ мм,}$$

$$\frac{l_c}{h_c} = \frac{60}{124} = 0,482 < 1 \text{ и } k_f \text{ принимается равным единице.}$$

6. Полное удельное давление  $p$  равно

$$p = k_f k_t \sigma_b = 1 \cdot 0,133 \cdot 40 = 5,3 \text{ кг/мм}^2.$$

7. Коэффициент вытяжки  $\mu = \frac{130}{118} = 1,1$ .

8. Прокатка производится на угол  $\psi = 10^\circ$ .

9. Ширина раската равна

$$B_1 = \frac{\mu B_0}{\sqrt{1 \div \sin^2 \psi (\mu^2 - 1)}} = \frac{1,1 \cdot 300}{\sqrt{1 \div \sin^2 10^\circ (1,1^2 - 1)}} = 330 \text{ мм.}$$

10. Длина раската после 1-го прохода

$$L_1 = \frac{G}{\gamma b_1 h_1} = \frac{276000}{7,85 \cdot 11,8 \cdot 33} = 900 \text{ мм.}$$

$$11. \frac{B_1}{L_1} = \frac{330}{900} = 0,37.$$

$$\text{Ширина пояса деформации } b_c = \frac{L_1}{\cos 10^\circ} = \frac{900}{0,985} = 914 \text{ мм.}$$

12. Давление металла на валок

$$P_h = p \cdot b_c \cdot l_c = 5,3 \cdot 914 \cdot 60 = 291 \text{ т.}$$

2-й проход. Дано:  $h_1 = 118$  мм;  $b_1 = 330$  мм.

$$1. T_2 = T_0 - \frac{K'}{h_1} = 1213 - \frac{1710}{118} = 1199^\circ.$$

2. Полезное удельное давление принимаем, как и в 1-м проходе:  $p = k_t \sigma_b = 5,3$  кг/мм<sup>2</sup>.

3. Задаемся линейным обжатием из условия захвата металла валками  $\Delta h = 21$  мм, тогда  $h_2 = 118 - 21 = 97$  мм.

4. Средняя длина пояса деформации

$$l_c = \sqrt{R_c \Delta h} = \sqrt{300 \cdot 21} = 79,4 \text{ мм.}$$

5. Средняя толщина  $h_c$  равна

$$h_c = h_1 - \frac{\Delta h}{2} = 118 - \frac{21}{2} = 107,5 \text{ мм.}$$

$$6. \frac{l_0}{h_c} = \frac{79,4}{107,5} = 0,74 < 1; \text{ тогда } k_f = 1.$$

$$7. \text{ Полное удельное давление } p \text{ равно} \\ p = k_f k_t \sigma_b = 1,0,133 \cdot 40 = 5,3 \text{ кг/мм}^2.$$

$$8. \text{ Коэффициент вытяжки} \\ \mu = \frac{118}{97} = 1,22.$$

9. Прокатка производится на угол  $\psi = 10^\circ$ .

$$10. \text{ Ширина раската равна} \\ B_2 = \frac{1,22 \cdot 330}{\sqrt{1 + \sin^2 10(1,22^2 - 1)}} = 400 \text{ мм.}$$

$$11. \text{ Длина раската} \\ L_2 = \frac{276\,000}{7,85 \cdot 9,7 \cdot 40,0} = 905 \text{ мм.}$$

$$12. \text{ Ширина пояса деформации} \\ b_c = \frac{905}{0,985} = 915 \text{ мм.}$$

$$13. \text{ Давление металла на валок} \\ P_h = 5,3 \cdot 915 \cdot 79,4 = 390 \text{ т.}$$

3-й проход. Дано:  $h_2 = 97 \text{ мм}$ ;  $b_2 = 400 \text{ мм}$ ;  $\Delta h = 21 \text{ мм}$ .

$$1. \text{ Температура 3-го прохода:} \\ T_3 = T_0 - \frac{K'}{h_2} = 1213 - \frac{1710}{97} = 1196^\circ.$$

$$2. \text{ Температурный коэффициент } k_t \text{ равен} \\ k_t = \frac{(T_{пл} - 75) - T_2}{1500} = \frac{(1475 - 75) - 1199}{1500} = 0,133.$$

$$3. \text{ Полезное удельное давление } k_t \sigma_b \text{ равно} \\ \sigma_b = 0,133 \cdot 40 = 5,3 \text{ кг/мм}^2.$$

$$4. \text{ Средняя длина пояса деформации } l_c \text{ равна} \\ l_c = \sqrt{300 \cdot 21} = 79,4 \text{ мм.}$$

$$5. \text{ Средняя толщина } h_c \text{ равна} \\ h_c = h_2 - \frac{\Delta h}{2} = 97 - \frac{21}{2} = 86,5 \text{ мм.}$$

$$6. \text{ Полное удельное давление } p \text{ равно} \\ p = 1,0,133 \cdot 40 = 5,3 \text{ кг/мм}^2.$$

## 7. Коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{97}{76} = 1,276.$$

8. Прокатка производится на угол  $\psi = 10^\circ$ .

$$9. \text{ Ширина раската равна:} \\ B_3 = \frac{1,276 \cdot 400}{\sqrt{1 + \sin^2 10^\circ \cdot (1,276 - 1)}} = 505 \text{ мм.}$$

$$10. \text{ Длина раската} \\ L_3 = \frac{276\,000}{7,85 \cdot 7,6 \cdot 50,5} = 916 \text{ мм.}$$

$$11. \text{ Ширина пояса деформации} \\ b_c = \frac{916}{0,985} = 929 \text{ мм.}$$

$$12. \text{ Давление металла на валок} \\ P_h = 5,3 \cdot 929 \cdot 79,4 = 392 \text{ т.}$$

Прокатка на угол кончается на 6-м проходе. Расчеты калибровки до конца прокатки производятся тем же методом, какой был использован при трех первых проходах. Результаты всех расчетов приведены в табл. 11.

Таблица 11

Калибровка при прокатке листа  $4 \times 1500 \times 5600 \text{ мм}$  из сляба  $130 \times 130 \times 900 \text{ мм}$  весом 273 кг в 11 проходов

№ прохода	$h$ мм	$\Delta h$ мм	$L$ м	$\mu$	$B$ мм	$\psi$	$h_c$ мм	$t$ , °C	$p$ кг/мм <sup>2</sup>	$P_h$ т	$P_{доп}$ т
0	130	—	0,9	—	300	—	—	—	—	—	—
1	118	12	0,9	1,10	330	10	914	1200	5,3	291	680
2	97	21	0,9	1,22	400	10	915	1199	5,3	390	680
3	76	21	0,916	1,276	505	10	929	1196	5,3	392	680
4	55	21	0,93	1,38	690	10	945	1195	5,9	432	680
5	36	19	0,94	1,53	1035	10	955	1190	6,8	485	690
6	24	12	0,97	1,50	1500	10	1500	1180	7,75	495	690
7	15	9	1,56	1,60	1500	90	1500	1168	9,7	741	805
8	9	6	2,59	1,67	1500	90	1500	1144	12,7	808	805
9	5,7	3,3	4,10	1,58	1500	90	1500	1103	16,7	790	805
10	4	1,7	5,84	1,425	1500	90	1500	1037	21,5	725	805
11	4	0	5,84	0	1500	90	1500	973	—	—	—

Калибровка непрерывных толстолистовых станов рассчитывается по тому же методу, по которому составлена калибровка листа  $4 \times 1500 \times 5600 \text{ мм}$ , с той разницей, что в случае непрерывной прокатки листа выбранные коэффициенты вытяжки по про-

ходам и число оборотов рабочих клеток должно быть в полном соответствии с константой калибровки.

## § 6. РАСЧЕТ РЕЖИМА ОБЖАТИЙ ПО МЕТОДУ Н. В. ЛИТОВЧЕНКО [17]

В основе своего метода Н. В. Литовченко использует положения А. П. Чекмарева и А. П. Виноградова, сущность которых сводится к тому, чтобы распределение обжатий по проходам производить из расчета величины относительных обжатий:

$$\frac{H-h}{h} = k. \quad (28)$$

Из формулы (28) следует:

$$\text{по ходу прокатки } h = \frac{H}{1+k}, \quad (29)$$

$$\text{против хода прокатки } H = h(1+k). \quad (30)$$

При распределении обжатий учитывается расположение оборудования, так как отдельные механизмы стана (кантователи, поворотные цепи и др.) могут значительно изменить схему и режим обжатий.

Пример [17]. Составить режим обжатий для прокатки листа  $100 \times 2200 \times 4900$  мм из подката  $330 \times 1700 \times 1900$  мм. Сталь Ст. 3; диаметр валков  $D = 1250$  мм; двигатель  $N = 8000$  л. с.; скорость вращения  $0 \div 20$  об/мин; исходя из практики работы  $n_{\max} = 15$  об/мин.

Получение необходимой ширины листа. Вначале производят прокатку для получения необходимой ширины листа от  $B = 1700$  мм до  $b = 2200$  мм. Уширение при прокатке принимается равным нулю, тогда

$$\frac{H}{h} = \frac{b}{B} = \frac{2200}{1700} = 1,294.$$

В этих условиях толщина раската будет равна

$$h = \frac{H}{1,294} = \frac{330}{1,294} = 255 \text{ мм.}$$

Суммарное обжатие при раскате ширины

$$\Sigma \Delta h = H - h = 330 - 255 = 75 \text{ мм.}$$

Необходимое число проходов при раскатке ширины принимается на один больше против расчетной, исходя из нагрузки на двигатель и расположения кантователя. Первый лишний проход делается холостым. Число рабочих проходов принимается равным  $n = 4$ . Определяем среднее обжатие за один проход:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \Delta h}{n} = \frac{75}{4} = 19 \text{ мм.}$$

Принимаем линейное обжатие во втором проходе  $\Delta h_2 = 20$  мм, считая в первом проходе  $\Delta h_1 = 0$  по соображениям, указанным выше. Тогда после 2-го прохода:

$$\begin{aligned} \Delta h_2 &= 330 - h_2 = 20 \text{ мм,} \\ h_2 &= 330 - 20 = 310 \text{ мм,} \\ k_2 &= \frac{\Delta h_2}{h_2} = \frac{20}{310} = 0,0645. \end{aligned}$$

В пятом проходе принимаем  $\Delta h_5 = 15$  мм (с учетом понижения температуры). Тогда

$$k_5 = \frac{\Delta h_5}{h_5} = \frac{15}{255} = 0,059.$$

На основании данных относительных обжатий строим график (рис. 68). По оси абсцисс отложены размеры  $h_2$  и  $h_5$ , по оси ординат —  $k_2$  и  $k_5$ . По этим координатам строится прямая линия. Пользуясь этим графиком (прямая линия), определяем методом интерполяции значение  $k$  для каждого прохода:  $k_1 = 0$ ;  $k_2 = 0,0645$ ;  $k_3 = 0,0636$ ;  $k_4 = 0,0618$ ;  $k_5 = 0,059$ .

По формуле (29) определяем толщину после второго прохода:

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{H_1}{1+k} = \frac{330}{1+0,0645} = \frac{330}{1,0615} = 310 \text{ мм;} \\ b_2 &= 1700 \cdot 1,0645 = 1810 \text{ мм;} \\ \Delta h_2 &= 330 - 310 = 20 \text{ мм.} \end{aligned}$$

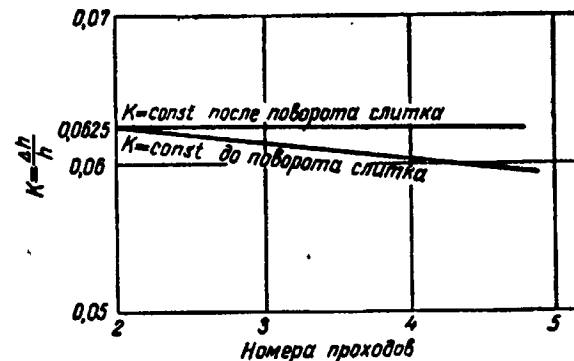


Рис. 68. График для определения величины константы  $k$  и толщины листа в каждом проходе (по Литовченко)

После 3-го прохода:

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{310}{1,0636} = 290 \text{ мм;} \\ \Delta h_3 &= h_2 - h_3 = 310 - 290 = 20 \text{ мм;} \\ b_3 &= 1810 \cdot 1,0636 = 1940 \text{ мм.} \end{aligned}$$

После 4-го прохода:

$$\begin{aligned} h_4 &= \frac{290}{1,0618} = 272 \text{ мм;} \\ \Delta h_4 &= 290 - 272 = 18 \text{ мм;} \\ b_4 &= 1940 \cdot 1,0618 = 2070 \text{ мм.} \end{aligned}$$

После 5-го прохода:

$$\begin{aligned} \Delta h_5 &= \Sigma \Delta h - (h_2 - h_3 - h_4) = 75 - (20 - 20 - 28) = 17 \text{ мм;} \\ h_5 &= 272 - 17 = 255 \text{ мм;} \\ k &= \frac{17}{255} = 0,066; \\ b_5 &= 2070 \cdot 1,066 \approx 2200 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Прокатка на длину при  $B = \text{const}$ . Общее обжатие после кантовки

$$\Delta h_{\text{общ}} = h_s - h_{\text{кон}} = 255 - 100 = 155 \text{ мм.}$$

За время раскатки на ширину 2200 мм пластичность металла несколько снизилась, поэтому для дальнейшей прокатки (после кантовки) принимают меньшие величины абсолютных обжатий. Среднее обжатие за проход принимают равным  $\Delta h_{\text{ср}} = 10 \text{ мм}$ , тогда число проходов будет

$$n = \frac{\Delta h_{\text{общ}}}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{155}{10} \approx 15.$$

В первом проходе после кантовки линейное обжатие принимаем равным  $\Delta h_6 = 15 \text{ мм}$ , тогда

$$\frac{\Delta h_6}{h_6} = \frac{15}{255 - 15} = 0,0625.$$

В 15-м проходе после кантовки, или в 20-м с начала прокатки, линейное обжатие будет

$$\Delta h_{20} = 6,25 \text{ мм};$$

$$k_{20} = \frac{\Delta h_{20}}{h} = \frac{6,25}{100} = 0,0625$$

Получаем:  $k_6 = k_{20} = 0,0625$ .

При значении  $k = \text{const}$  расчет упрощается и построение графика теряет всякий смысл. Так как прокатка может заканчиваться только на нечетном числе проходов, то обжатие в 20-м проходе разбивается соответственно на 4 и 2,25 мм.

Все расчетные данные приведены в табл. 12.

После этого проверяется мощность двигателя при прокатке в первом проходе после кантовки. Из табл. 12 берутся данные:  $H = 225 \text{ мм}$ ;  $h = 240 \text{ мм}$ ; температура металла принимается равной  $t_6 = 950^\circ$ ; среднее удельное давление, рассчитанное по Эжелунду, для стали Ст. 3 в данных условиях прокатки равно  $p_{\text{ср}} = 9,2 \text{ кг/мм}^2$ .

Мощность, потребную для деформации металла, определяем по формуле И. М. Павлова, преобразованной Н. В. Литовченко:

$$N = pB \Delta h v.$$

При скорости вращения валков  $n = 15 \text{ об/мин}$  скорость валков равна

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{\pi 1250 \cdot 15}{60} = 0,98 \text{ м/сек} = 1 \text{ м/сек.}$$

$$\text{Тогда } N = 9,2 \cdot 2200 \cdot 15 \cdot \frac{1}{75} = 4050 \text{ л. с.}$$

Учитывая, что расчетная мощность составляет 50% от номинальной мощности двигателя, можно считать, что схема калибровки принята правильно.

Таблица 12

Режимы обжатий подката  $330 \times 1700 \times 1900 \text{ мм}$  в лист  $100 \times 2200 \times 4900 \text{ мм}$

(по Н. В. Литовченко)

№ прохода	Высота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	Длина $L$ , мм	Обжатие $\Delta h$ , мм	$k = \frac{\Delta h}{h}$	Уширение $\Delta b$ , мм	Удлинение $\Delta l$ , мм	Угол захвата $\alpha$	Примечание
1	330	1700	1900	0	0	0	0	—	
2	310	1900	1810	20	0,0645	110	—	10°15'	
3	290	1900	1940	20	0,0636	130	—	—	
4	272	1900	2070	18	0,0618	130	—	—	
5*	255	1900	2200	17	0,06	130	—	9°30'	
6	240	2200	2020	15	0,0625	—	120	8°54'	
7	226	2200	2145	14	0,0625	—	125	—	
8	213	2200	2280	13	0,0625	—	135	—	
9	200	2200	2430	13	0,0625	—	150	—	
10	188	2200	2585	12	0,0625	—	155	—	
11	177	2200	2745	11	0,0625	—	160	—	
12	166	2200	2930	11	0,0625	—	185	—	
13	156	2200	3110	10	0,0625	—	180	—	
14	146	2200	3325	10	0,0625	—	215	—	
15	137	2200	3545	9	0,0625	—	220	—	
16	126	2200	3800	9	0,0625	—	255	—	
17	120	2200	4050	8	0,0625	—	250	—	
18	113	2200	4300	7	0,0625	—	250	—	
19	106	2200	4570	7	0,0625	—	270	—	
20	102	2200	4750	4	0,0625	—	180	—	
21	100	2200	4850	2	0,0625	—	150	—	

\* Кантовка.

## КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ТОНКОЛИСТОВЫХ СТАНОВ

Программой прокатки предусматривается большое количество размеров листов: около 16 размеров декапированных листов толщиной 0,35—8 мм и 100 позиций автомобильных листов толщиной 0,4—3 мм.

Тонкие листы производят двумя способами:

1. Прокаткой из слэбов полос на непрерывных станах в рулонах (современный метод).

2. Горячей прокаткой из сутунки на станах дуо с постоянным направлением вращения валков (старый метод).

Современный метод производства листа считается наиболее производительным и эффективным [18]. Исходным материалом являются слэбы толщиной 70—250 мм, шириной 600—2400 мм, длиной 1500—6000 мм и весом до 14 т [19]. Из слэбов прокатывают листы толщиной 4—50 мм, шириной 600—2600 мм и длиной до 20 м и листы в рулонах толщиной 1,2—6 мм шириной до 1550 мм. Для прокатки тонколистовой стали применяют также станы с печными моталками. Листовые станы с печными моталками устанавливают в тех случаях, когда требуется широкий сортament прокатываемой листовой стали при небольшом объеме производства. На двухклетевом стане с печными моталками прокатывается динамная и трансформаторная сталь в рулонах толщиной 1,5—4,2 мм, шириной 620—1020 мм.

На непрерывных станах и станах с печными моталками можно прокатывать нержавеющую и другие легированные марки стали. В рулонах производится также прокатка жести.

### § 1. ПРОКАТКА ЛИСТОВ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ

Рациональный режим в черновой группе стана при прокатке по пятому способу (см. § 1, стр. 96) должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Суммарное обжатие в черновой группе рабочих клетей непрерывного стана должно быть возможно максимальным.

2. Полное давление металла на валки по клетям и мощность прокатки должны быть выбраны такими, чтобы детали рабочих клетей и двигатель были нагружены в допустимых пределах.

3. Для упрощения настройки чистовой группы диапазон толщины раскатов после черновой группы для всего сортамента стана должен быть по возможности меньшим, а количество разных по толщине раскатов минимальным.

Лимитирующим фактором при выборе максимальных обжатий в горизонтальных клетях черновой группы являются углы захвата. Выбор обжатий в черновой группе клетей непрерывного стана производится из расчета допускаемого угла захвата  $\alpha = 17^\circ$ , полученного при минимальном диаметре рабочих валков. В отдельных случаях для увеличения обжатия в первой черновой клети чугунные валки заменяют стальными, а для улучшения условий захвата устанавливают механизмы для вталкивания раската в валки. Из условий прочности валков, обжатия за проход определяются по методу М. М. Сафьяна [19].

Допустимое давление при прокатке из условий прочности шейки опорного валка равно

$$P_{ш} = \frac{0,4d_0^3\sigma_{изг}}{a_1 - l},$$

где  $d_0$  — диаметр шейки, см;

$\sigma_{изг}$  — допускаемое напряжение на изгиб, кг/см<sup>2</sup>;

$a_1$  — расстояние между осями, проходящими через среднюю шеек валков;

$l$  — длина бочки валка (включая галтели).

Допустимое давление при прокатке из условий прочности бочки опорного валка равно

$$P_6 = \frac{0,8D_0^3\sigma_{изг}}{2a_1 - L} \text{ кг},$$

где  $D_0$  — диаметр опорного валка;

$L$  — длина рабочей бочки опорного валка.

Максимально допускаемое полное давление прокатки из условий прочности нагруженной шейки рабочего валка находится как

$$P = \frac{0,4d_1^3\tau}{\sqrt{R\Delta h}},$$

где  $\tau$  — допустимое напряжение материала валка на кручение, кг/см<sup>2</sup>;

$\Delta h$  — абсолютное обжатие.

Из уравнения для давления  $P$  получим

$$\Delta h = \frac{0,16d^6\tau^2}{P^2R}.$$

Правильность выбора линейных обжатий по проходам устанавливаем после определения требуемой мощности двигателя за проход, пользуясь формулой

$$M_{дв} = \frac{(1,25 \div 1,18) \cdot P \left( 2a \pm f d_{тр} \cdot \frac{D_p}{D_{оп}} \right) n_b}{n_{дв}},$$

где  $M_{дв}$  — крутящий момент на валу двигателя, необходимый для привода валков прокатного стана;

$P$  — полное давление металла на валок;

$a$  — плечо момента, которое для непрерывных листовых станов горячей прокатки в первых клетях непрерывной группы равно  $0,48 l_d$ , в последних клетях —  $0,39 l_d$ , ( $l_d$  — длина проекции дуги контакта металла с валками);

$f$  — коэффициент трения для роликовых подшипников и подшипников жидкостного трения ( $f = 0,003—0,005$ );

$d_{тр}$  — диаметр, по которому происходит трение в подшипниках, в данном случае роликовых или подшипников жидкостного трения;

$D_p, D_{оп}$  — соответственно диаметр рабочих и опорных валков;

$n_{дв}, n_b$  — скорость вращения вала двигателя и валков.

После обрезки переднего раската на летучих ножницах металл поступает в окулиномателе перед чистовой группой стана. В окулиномателе раскат обжимается на 5—10%.

Скорость вращения валков окулиномателе должна быть установлена в соответствии со скоростью в остальных клетях чистовой группы. Необходимым условием нормальной прокатки в чистовой группе является постоянство секундных объемов металла по клетям (см. § 8, глава III, часть первая).

По данным М. М. Сафьяна, толщина раската в клетях чистовой группы, подсчитанная без учета опережения, отличается от действительной примерно на 7%. Поэтому при расчете калибровки листа, прокатываемого на непрерывных станах, необходимо учитывать опережение (см. § 4, глава II).

Толщина прокатываемой полосы после прокатки в одной из клеток непрерывного стана определяется по формуле (расчет производится против хода прокатки):

$$h_{n-1} = \frac{h_n v_n (1 \pm S_n)}{v_{n-1} (1 \pm S_{n+1})},$$

где  $h_n, h_{n-1}$  — толщина полосы в предыдущей  $n$ -й и последующей  $(n-1)$ -й клетях;

$v_n, v_{n-1}$  — скорость валков в предыдущей и последующей  $(n-1)$ -й клетях;

$S_n, S_{n-1}$  — опережение, %, в предыдущей клетке и последующей клетях.

Для облегчения пользования формулой С. Н. Рабиновичем составлен график (рис. 69).

В современных непрерывных станах порячей прокатки скорость прокатки в последней клетке чистовой группы достигает 12 м/сек. Скорость прокатки в последней клетке чистовой группы устанавливают не только с учетом технологических требований, но также с учетом соотношения скоростей в первой и последней клетях чистовой группы и общей вытяжки полосы в чистовой группе. Если длина раската после черновой группы больше, чем расстояние между чистовым окулиномателем и первой клетью, то скорость прокатки определяют соотношением скоростей в чистовом окулиномателе и последней клетке и общей вытяжкой в чистовой группе.

Пример. Необходимо прокатать полосу в чистовой группе стана толщиной  $h = 1,8$  мм из раската толщиной  $H = 34$  мм со скоростью прокатки в последней клетке  $v_n = 7,2$  м/сек. Линейное обжатие в окулиномателе  $\Delta h = 2$  мм. Возможна ли прокатка полосы при скорости в последней клетке 7,2 м/сек при номинальной окружной скорости валков чистового окулиномателе  $v_{н.о} = 0,41—1,23$  м/сек; номинальной скорости валков в последней клетке чистовой группы  $v_{н.в} = 3,9—8,92$  м/сек?

Решение. С учетом возможности регулирования секундных объемов металла по клетям рабочая скорость прокатки у окулиномателе будет колебаться в пределах:

$$v_{р.мин} = 1,08 v_{н.о.мин} = 1,08 \cdot 0,41 = 0,44 \text{ м/сек},$$

$$v_{р.макс} = 0,92 v_{н.о.макс} = 0,92 \cdot 1,23 = 1,13 \text{ м/сек}.$$

Скорость прокатки в последней клетке:

$$v_{р.в.мин} = 1,08 \cdot 3,9 = 4,21 \text{ м/сек},$$

$$v_{р.в.макс} = 0,92 \cdot 8,92 = 8,2 \text{ м/сек}.$$

Общая вытяжка в чистовой группе

$$\mu_{общ} = \frac{34 - 2}{1,8} = 17,8 \text{ мм}.$$

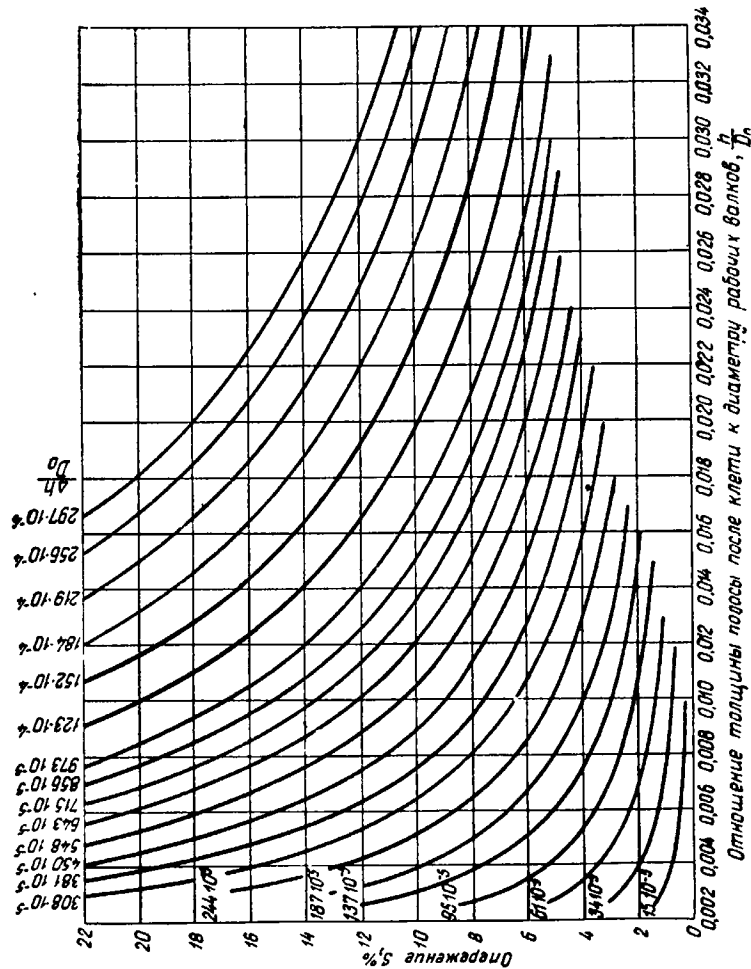
При выходной скорости полосы 7,2 м/сек скорость раската после окулиномателе должна быть

$$v_{ок} = \frac{7,2}{17,8} = 0,405 \text{ м/сек}.$$

При этой скорости окулиномателе прокатка невозможна, так как минимальная скорость окулиномателе больше или равна 0,44 м/сек. Прокатка возможна будет при условии увеличения скорости последней клетки чистовой группы до 7,8 м/сек. Для этого необходимо минимальную скорость окулиномателе умножить на величину общего коэффициента вытяжки в чистовой группе, т. е.

$$0,44 \cdot \frac{32}{18} = 7,8 \text{ м/сек}.$$

Рис. 69. Кривые зависимости опережения от отношения толщины полосы и обжатия к диаметру валков (по С. Н. Рабиновичу)



При определении полного давления металла на валок (см. § 3, глава I, часть первая) находят температуру прокатываемой полосы в клетях чистовой группы по формуле М. М. Сафьяна

$$t = t_p - \Gamma \left( \frac{h_p}{h} - 1 \right),$$

где

$$\Gamma = \frac{(t_p - t_n) \cdot h_n}{t_p - h_n}.$$

Здесь  $t$  — искомая температура прокатываемой полосы толщиной  $h$ , °С;

$t_p, h_p$  — соответственно температура и толщина раската перед чистовой группой;

$t_n, h_n$  — соответственно температура и толщина полосы последней клетки чистовой группы.

При прокатке полос в чистовой группе среднее удельное давление металла на валки достигает сравнительно больших величин. При этом возникает упругое сжатие рабочих валков, в результате которого длина дуги контакта металла с валками увеличивается, что приводит к уменьшению величины плеча  $a$  момента равнодействующей всех сил, действующих в очаге деформации.

Длина дуги контакта металла с валками с учетом сплющивания валков определяется по формуле

$$l'_d = X_0 + \sqrt{R_p \Delta h + X_0^2};$$

для стальных рабочих валков

$$X_0 = \frac{p_{cp} R_p}{9500};$$

для чугунных рабочих валков

$$X'_0 = \frac{p_{cp} R_p}{5400},$$

где  $p_{cp}$  — среднее удельное давление, кг/мм<sup>2</sup>;

$R_p$  — радиус рабочего валка, мм;

$\Delta h$  — абсолютное обжатие, мм.

В отдельных случаях общее давление металла на валок определяют по расходу энергии при прокатке по формуле М. М. Сафьяна:

$$P = \frac{135 (W_{n+1} - W_n) G D_p \eta}{L_p (2a + f \cdot d_{тр}) \frac{D_p}{D_0}} m,$$

где  $W_n, W_{n+1}$  — соответственно энергия, расходуемая на 1 т проката в данной, предыдущей и последующей клетях, считая по ходу прокатки, л. с. час/т;

$G$  — вес прокатываемого раската, т;  
 $D_p$  — диаметр рабочих валков, м;  
 $\eta$  — к. п. д. = 0,95 ÷ 0,98;  
 $L_p$  — длина раската после прокатки в данной клетке, м;

$$2a + f d_{\text{тр}} \cdot \frac{D_p}{D_0} \text{ (см. § 2);}$$

$$W = \frac{N}{3600 \eta F \gamma_1} \text{ л. с. час/т.}$$

Здесь  $N$  — мощность, потребляемая главным приводным электродвигателем клетки, л. с.;

$v$  — скорость прокатки, м/сек;

$F$  — площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$\gamma_1$  — удельный вес прокатываемого металла, т/м<sup>3</sup>.

Общее давление металла на валок  $P$  по расходу энергии определяют при исследовании того или другого непрерывного стана. Для упрощения нахождения величин  $W_n$  и  $W_{n+1}$  используют кривые удельного расхода энергии в зависимости от вытяжки или толщины раската (последнее более удобно при прокатке листов и полос).

Пример по распределению обжатий по клетям при прокатке тонкого листа на непрерывных станах. Прокатка производится на непрерывном стане 1700. Уширительная клетка на этом стане отсутствует, так как слябинг прокатывает слябы требуемой ширины. Всю листовую сталь, прокатываемую на этом стане, сматывают в рулоны. Скорость прокатки в последней клетке данного стана доходит до 15 м/сек, что позволяет обеспечить необходимую температуру конца прокатки листов толщиной до 1,2 мм.

На непрерывном стане 1700 прокатывается листовая сталь толщиной 1,5 мм и шириной 1030 мм из слэбов толщиной  $H=175$  мм, шириной  $B=1100$  мм, длиной  $L=5800$  мм и весом 8,7 т. Температура начала прокатки  $t_n=1250^\circ$ , конца прокатки  $t_k=850^\circ$ . Прокатываемый металл: сталь Ст. 3. Требуется составить схему обжатий по клетям.

Решение. Воспользуемся данными Гипромеца [17]. В клетки с вертикальными валками принимается обжатие 6,4%, тогда ширина сляба после прохода в этой клетке будет равна

$$b_1 = B - 0,064B = 1100 - 0,064 \cdot 1100 = 1030 \text{ мм.}$$

Суммарное обжатие

$$\Sigma \Delta h = 175 - 1,5 = 173,5 \text{ мм.}$$

Суммарное обжатие в чистовой группе непрерывных станов составляет 10—30% от суммарного обжатия во всех клетях стана. Толщина подката, выходящего из черновой группы стана, зависит от толщины прокатываемых листов и обычно равна 12—25 мм. Величина обжатия в каждой клетке чистовой группы определяется мощностью двигателя и прочностью валков. Однако с целью обеспечения наименьшей разнотолщинности по ширине величина обжатия в предчистой клетке снижается до 20—25%, а в чистовой до 10—15%. В чистовом окатиноломателе полосу прокатывают с обжатием 5—10%. Принимаем суммарное обжатие в чистовой группе 10% от суммы обжатия во всех клетях стана:

$$\Sigma \Delta h_{\text{чист}} = 0,1 \Sigma \Delta h = 0,1 \cdot 173,5 = 17,3 \text{ мм} = 17 \text{ мм,}$$

тогда толщина раската, поступающего в чистовой окатиноломатель, равна

$$H_1 = 1,5 + 17,0 = 18,5 \text{ мм,}$$

ширина —  $B_1 = 1030$  мм.

Принимаем в окатиноломателе обжатие, равное 10% от толщины полосы, поступающей в него:

$$\Delta h = 0,10H = 0,1 \cdot 18,5 \approx 0,2 \text{ мм,}$$

тогда толщина полосы, поступающей в первую клетку чистовой группы:

$$H_2 = 18,5 - 0,2 = 18,3 \text{ мм.}$$

Общий коэффициент вытяжки при прокатке раската в чистовой группе

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{H_2}{h_n} = \frac{18,3}{1,5} = 12,2.$$

Распределяем общий коэффициент вытяжки по клетям чистовой группы:

$$\mu_6 \cdot \mu_7 \cdot \mu_8 \cdot \mu_9 \cdot \mu_{10} \cdot \mu_{11} = 12,2$$

или

$$2,03 \cdot 1,73 \cdot 1,58 \cdot 1,44 \cdot 1,35 \cdot 1,133 = 12,2.$$

Толщина полосы после прохода через клетки чистовой группы будет равна:

$$h_6 = \frac{H_2}{\mu_6} = \frac{18,3}{2,03} = 9,0 \text{ мм,}$$

$$h_7 = \frac{h_6}{\mu_7} = \frac{9,0}{1,73} = 5,2 \text{ мм,}$$

$$h_8 = \frac{h_7}{\mu_8} = \frac{5,2}{1,58} = 3,3 \text{ мм,}$$

$$h_9 = \frac{h_8}{\mu_9} = \frac{3,3}{1,44} = 2,3 \text{ мм,}$$

$$h_{10} = \frac{h_9}{\mu_{10}} = \frac{2,3}{1,35} = 1,7 \text{ мм,}$$

$$h_{11} = \frac{h_{10}}{\mu_{11}} = \frac{1,7}{1,133} = 1,5 \text{ мм.}$$

Правильность выбора обжатия в клетке № 6 проверяем из условий захвата:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D_p} = 1 - \frac{18,3 - 9,0}{700} = 0,9867,$$

$$\alpha = 9^\circ 20'.$$

Полученный угол захвата удовлетворяет условиям захвата, так как максимально допустимый угол захвата  $\alpha = 17^\circ$ . Скорость прокатки в каждой клетке можно определить, пользуясь константой калибровки, равной (см. § 8, глава III):

$$C = F D_k n (1 + S)$$

или из условий равенства отношений

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2 (1 + S_2)}{v_1 (1 + S_1)} = \mu.$$



В нашем случае  $\Delta b = 0$ , тогда коэффициент вытяжки можно представить в следующем виде:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{v_2(1 + S_2)}{v_1(1 + S_1)} = \mu.$$

Известно, что выходная скорость полосы из 11-й клетки с учетом опережения равна  $v_1 = 12,5$  м/сек, а также  $h_1 = 1,5$  мм,  $h_{10} = 1,7$  мм,  $\mu_{11} = 1,133$ . Тогда для клеток:

$$10\text{-й: } \frac{1,7}{1,5} = \frac{12,5}{v_{10}} = 1,133$$

$$\text{или } v_{10} = \frac{12,5}{1,133} = 11 \text{ м/сек};$$

$$9\text{-й: } v_9 = \frac{11,0}{1,35} = 8,2 \text{ м/сек};$$

$$8\text{-й: } v_8 = \frac{8,2}{1,44} = 5,7 \text{ м/сек};$$

$$7\text{-й: } v_7 = \frac{5,7}{1,58} = 3,6 \text{ м/сек};$$

$$6\text{-й: } v_6 = \frac{3,6}{1,73} = 2,10 \text{ м/сек}.$$

Таким же методом распределяются обжатия по клетям черновой группы непрерывного стана 1700 мм. Окончательные результаты расчета калибровки листа толщиной 1,5 мм сведены в табл. 13.

Таблица 13

Схема обжатий при прокатке листовой стали толщиной 1,5 мм и шириной 1030 мм из слэбов толщиной 175 мм, шириной 1100 мм, длиной 5800 мм и весом 8,7 т (по данным Гипромеза)

Клеть	Размеры раскатов			Обжатие		Скорость прокатки м/сек
	толщина мм	ширина мм	длина м	мм	%	
С вертикальными валками	175	1030	6,3	70	6,3	1,0
Черновой окалинотель	165	1030	6,6	10	5,7	1,0
Черновые:						
№ 1	125	1030	8,6	40	24,3	1,0
№ 2	87	1030	12,4	38	30,4	1,8
№ 3	55	1030	19,6	32	36,8	2,5
№ 4	33	1030	32,6	22	40,0	3,5
№ 5	18,5	1030	58,3	14,5	44,0	3,5
Чистой окалинотель	18,3	1030	58,8	0,2	1,1	1,02
Чистовые:						
№ 1	9,0	1030	120,0	9,3	50,8	2,1
№ 7	5,2	1030	207,0	3,8	42,3	3,6
№ 8	3,3	1030	327,0	1,9	36,5	5,7
№ 9	2,3	1030	470,0	1,0	30,0	8,2
№ 10	1,7	1030	635,0	0,6	26,0	11,0
№ 11	1,5	1030	720,3	0,2	11,7	12,5

## § 2. ПРОКАТКА ЛИСТОВ ИЗ СУТУНКИ НА СТАНАХ ДУО

На старых металлургических заводах с небольшим объемом производства еще до сих пор для горячей прокатки тонколистовой стали применяют станы дуо линейного типа. В настоящее время в Советском Союзе имеется около 40 заводов, имеющих в действии тонколистовые станы с клетями дуо и частично трио, на которых прокатка тонких листов производится из сутунки [20]. Сутунка применяется весом 6,1—20,6 кг при ширине 165—300 мм.

Прокатку тонких листов обычно производят на станах дуо, расположенных в одну линию. Диаметр валков, принятый на заводах, различен. В табл. 14 приведены размеры валков по различным заводам (валки изготавливаются из отбеленного чугуна).

Таблица 14

Размеры валков, мм, для прокатки тонких листов

Заводы	Размер бочек		Размер шейки		Размер тrefа	
	диаметр	длина	диаметр	длина	диаметр	длина
I	680	850	480	330	400	200
II	660—650	760	508	378	430	203
III	670—700	820	520	412	—	—
IV	700	900	—	—	—	—
V	700	800—1050	—	—	—	—

Скорость вращения валков 36—40 об/мин. Привод осуществляется асинхронными двигателями мощностью 500 л. с. на три клетки и 950 л. с. на пять клеток с маховиком весом до 100 т.

Для уменьшения веса маховика за последнее время устанавливают два маховика небольшого веса по обе стороны малой шестерни редуктора, соединенного эластичной муфтой с главным валом станкового двигателя. Каждая клеть обслуживается одной камерной печью. Способы прокатки листов указаны в табл. 15.

Процесс прокатки производится следующим образом. Нагретые сутунки подаются к стану по две (за исключением способа 1 × 1). Сутунку поочередно задают в валки и прокатывают до толщины 2—2,5 мм в 6—10 проходов, в зависимости от толщины сутунки и ее нагрева. Это соответствует средней вытяжке  $\mu_{\text{ср}} = 1,2—1,3$ . После этого раскаты спариваются и «парочкой» прокатываются до толщины 2—2,5 мм. Число проходов при прокатке пакетов равно от 2 до 5 со средними вытяжками  $\mu_{\text{ср}} = 1,1—1,2$ . Таким способом можно получить листы толщиной до 1 мм.

Таблица 15

## Способы прокатки тонких листов

Толщина* листов мм	Вес листа кг	Способ прокатки	Число нагре- вов	Лист катается
2	От 16 и более	1×1	2	По одному
1,0—1,5	8—12	1×2	2	Пакетом из двух сутунок одинарного развеса
0,5—1,0	4—8	2×4	2	Из двух сутунок двойного веса с дублированием
0,35—0,5	2,7—4	2×6	3	Из трех сутунок двойного развеса с дублированием
0,33 и более	<2,7	4×8	3	Из двух сутунок четырехкратного развеса с дублированием

\* Ширина листов 710 мм, длина 1420 мм.

В случае необходимости получить лист толщиной до 0,5 мм прокатанную «парочку» дублируют, подогревают и снова прокатывают до толщины 2—2,5 мм. Число проходов при прокатке пакетов равно от 3 до 6 со средними вытяжками 1,25. При прокатке более тонких листов прибегают к двойному дублированию или складыванию двух полуторных (при прокатке тройками и шестерками) пакетов с неизбежным третьим подогревом.

## § 3. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ПРОКАТКИ ЛИСТА ИЗ СУТУНКИ

Обычно размеры обрезного листа, а следовательно, и его вес бывают заданы.

По данным табл. 15 в зависимости от толщины листа устанавливается способ прокатки. Принимая во внимание коэффициент расхода металла  $K$ , учитывающий обрезь и угар, определяем вес сутунки:

$$Q_c = KQ_n$$

где  $K = 1,19$ .

По заданной длине и ширине сутунки определяется ее толщина:

$$H = \frac{Q_c}{\gamma \cdot B \cdot L},$$

где  $\gamma = 7,85$ .

После этого рассчитывается общий коэффициент вытяжки:

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{H}{h}.$$

Задаваясь числом проходов, средним коэффициентом вытяжки при прокатке до дублирования, определяем толщину «пароч-

ки» и этим же методом находим толщину пакета после дублирования и его прокатки. Особое внимание уделяется распределению обжатий по проходам. Имея данные установленной схемы прокатки, производим проверку выбранной схемы: рассчитываем падение температуры металла при прокатке, полезное сопротивление деформации, давление металла на валок, проверяем прочность вала на изгиб и, наконец, рассчитываем требуемую мощность двигателя. Для чугунных валков, при температуре их не выше 300°, допускаемое напряжение на изгиб  $\sigma_{\text{изг}} = 7 \text{ кг/мм}^2$ ; при температуре до 400°  $\sigma_b = 6,0 \text{ кг/мм}^2$  и при 500°  $\sigma_b = 5 \text{ кг/мм}^2$ . При прокатке тонких листов обжатия по проходам задаются из условий  $P = P_{\text{доп}}$  только до тех пор, пока имеется зазор между валками. С момента перехода на «плотный нажим» обжатия будут происходить только за счет упругого усилия валков, которое по мере уменьшения толщины пакета быстро снижается. При толщине пакета менее 2 мм, вытяжка практически прекращается.

Для определения обжатия при «плотном нажиме» В. А. Тягунов предлагает пользоваться эмпирической формулой

$$P_{\text{пл}} = 200h_1,$$

где  $h_1$  — толщина пакета после прохода, мм;

$P_{\text{пл}}$  — давление при «плотном нажиме», т.

Средняя продолжительность одного прохода (пауза + машинное время) выражается в виде эмпирических формул: для сутунок

$$Z_p = 0,1Q + 2 \text{ (при } Q < 18 \text{ кг);}$$

$$Z_p = 0,3Q - 1,6 \text{ (при } Q > 18 \text{ кг);}$$

для пакетов

$$Z_{\text{п}} = 0,06Q + 3,4.$$

Пример. Рассчитать калибровку автолиста 1,5×1000×1810 мм из сутунки 13,6×240×1025 мм весом 26 кг. Прокатка производится на стане дуо; диаметр валков  $D=760$  мм, длина бочки валка  $L=1220$  мм, длина шеек валков  $l=480$  мм. Материал валков — чугун, допускаемое напряжение при изгибе  $\sigma_{\text{изг}} = 6 \text{ кг/мм}^2$ ;  $P_{\text{доп}} = 880000 \text{ кг/см}$ .

Ход расчета. Дано:  $h_0 = 13,6$  мм;  $b_0 = 1025$  мм;  $t = 800^\circ$ ;  $t_{\text{пл}} = 1475^\circ$ ;  $\sigma_b = 45 \text{ кг/мм}^2$ . Длительность прохода  $Z=6$  сек.

1-й проход. 1. Вычисляем сопротивление деформации автолиста при  $t=800^\circ$ :

$$p_0 = \frac{(t_{\text{пл}} - 75) - t}{1500} \cdot \sigma_b = \frac{(1475 - 75) - 800}{1500} \cdot 45 = 18 \text{ кг/мм}^2.$$

2. Для определения  $\Delta h_{\text{макс}}$  в первом проходе находим условную длину очага деформации

$$l_y = \frac{P_{\text{доп}}}{p_0 b_c} = \frac{880\,000}{18 \cdot 1025} = 47,8 \text{ мм}^*.$$

По кривым (рис. 70) ( $h_0=13,6$  мм,  $l_y=47,8$  мм) определяем  $\Delta h=2,6$  мм; тогда  $h_1=h_0-\Delta h=13,6-2,6=11$  мм.

2-й проход. 1. Падение температуры перед вторым проходом

$$\Delta t = \frac{t_1 - 400}{16} \cdot \frac{Z}{h_1} = \frac{(800-400) \cdot 6}{16 \cdot 11} = 14^\circ,$$

$$t_2 = 800^\circ - 14^\circ = 786^\circ.$$

2. Условная длина очага деформации  $l_y=47,8$  мм. По кривым (см. рис. 70) ( $h_1=11$  мм;  $l_y=47,8$  мм) находим  $\Delta h=2,25$  мм; тогда  $h_2=h_1-\Delta h=11-2,25=8,75$  мм.

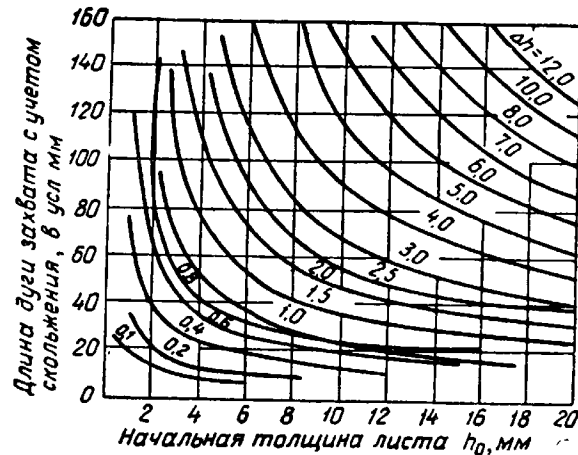


Рис. 70. Предельные обжатия из условий прочности валков стана 760

3-й проход. 1. Падение температуры перед 3-м проходом:

$$\Delta t = \frac{t_1 - 400}{16} \cdot \frac{Z}{h_2} = \frac{785 - 400}{16} \cdot \frac{6}{8,75} = 16,5^\circ \approx 17^\circ,$$

$$t_3 = t_2 - \Delta t = 785 - 17^\circ = 768^\circ.$$

2. Сопротивление листа при температуре  $t=768^\circ$ :

$$p_0 = \frac{(t_{\text{пл}} - 75) - t}{1500} \cdot \sigma_b = \frac{(1475 - 75) - 768}{1500} \cdot 45 = 19 \text{ кг/мм}^2$$

\* При прокатке на валках с другим диаметром условная длина очага деформации определяется по формуле

$$l_y = \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{\sqrt{\frac{D \cdot \Delta h}{2}}}{h_0 - \frac{\Delta h}{2}} - 1 \right) \right] \sqrt{\frac{\Delta h}{2} D}$$

3. Условная длина очага деформации

$$l_y = \frac{P}{p_0 b_c} = \frac{880\,000}{19 \cdot 1025} = 45,3 \text{ мм}$$

4. По кривым (см. рис. 70) ( $h_2=8,75$ ,  $l_y=45,3$  мм) находим  $\Delta h=1,75$  мм; тогда

$$h_3 = h_2 - \Delta h = 8,75 - 1,75 = 7 \text{ мм}.$$

4-й и 5-й проходы рассчитываются аналогично 3-му, тогда толщина раската получится  $h_4=5,5$  мм,  $h_5=4,4$  мм.

6-й проход. Задаемся обжатием в 6-м проходе  $\Delta h=1,0$  мм; в этом случае

$$P_{\text{пл}} = 200 (h_6 - 1) = 200 (4,4 - 1) = 680 \text{ т}.$$

Условная длина очага деформации  $l_y = \frac{680\,000}{21 \cdot 1025} = 31$  мм. По кривым (см. рис. 70) находим  $\Delta h=0,65$  мм;  $h_6=4,4-0,65=3,75$  мм. Аналогично производим вычисления для всех остальных проходов. Итоги расчетов приведены в табл. 16.

Таблица 16

Режим прокатки автолиста  $1,5 \times 1000 \times 1810$  мм  
из сутунки  $13,6 \times 240 \times 1025$  мм весом 26 кг

Операция	№ прохода	L мм	$\mu$	$h_1$ мм	$\Delta h$ мм	$\frac{\Delta h}{h} \cdot 100$ %	$t^\circ \text{C}$	$\Delta t^\circ \text{C}$	$p$ кг/мм <sup>2</sup>	$l_y$ мм	$P_{\text{доп}}$ т
Разбол- ванка	0	240		13,6							
	1	297	1,237	11,0	2,6	19,1	800	14	18	47,8	880
	2	373	1,258	8,75	2,25	25,7	786	17	18	47,8	880
	3	467	1,250	7,0	1,75	20,0	769	20	19	45,3	880
	4	595	1,272	5,5	1,50	27,4	749	22	19	45,3	880
	5	745	1,250	4,4	1,1	20,0	727	27	20	43,0	850
Прокатка пакета «парочкой»	6	875	1,174	3,75	0,65	14,8	700	—	21	31	650
	7	1120	1,285	7,5*	1,67	22,3	800	45	18	47,8	880
	8	1430	1,275	4,58	1,25	21,5	755	55	19	45,3	880
	9	1690	1,180	3,88	0,70	15,3	700	50	21	32,4	680
	10	1900	1,130	3,44	0,40	10,3	650	50	22	22,7	500
	11	2040	1,075	3,2	0,24	7,0	600	—	24	16,7	400

\* Нагрев.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Классифицируйте прокатные станы, применяемые для прокатки толстых и тонких листов по признакам расположения рабочих клеток и количеству валков в каждой клетке.

2. В каких случаях прокатки листа устанавливается уширительная клетка в линию непрерывного стана и каким способом определяется необходимое обжатие в уширительной клетке?

3. В каких случаях производится прокатка сляба «на прямую», в каких «на угол» и каким методом определить ширину раската при прокатке сляба «на угол»?

4. В каком месте непрерывного листового стана устанавливается окалиноломатель и какие допустимые обжатия используются при прокатке сляба в черновом и чистовом окалиноломателях?

5. Если дан размер годного листа, то каким способом определяются размеры сляба для него?

6. Что необходимо знать для определения допустимого максимального линейного обжатия за проход при прокатке сляба или раската, обеспечивающего прочность валка, удовлетворительные условия захвата металла валками и отсутствие перегрузки двигателя?

7. Каким методом определяется температура в каждом проходе, если известна температура начала и конца прокатки?

8. Каким методом определяется температура конца прокатки листа, если известна начальная температура, число проходов и продолжительность прокатки до конечного размера листа при данных размерах листа и сляба?

9. В чем заключается сущность метода Н. В. Литовченко распределения обжатия по проходам при прокатке листа?

10. Какие листы по толщине относятся к тонким листам?

11. По каким данным можно определить толщину полосы при прокатке в каждой из клеток непрерывного стана?

12. В каких случаях используются листовые станы с печными моталками?

13. В каких случаях при горячей прокатке листа учитывается сплющивание валков и как в этом случае определяется длина дуги контакта металла с валками?

14. Перечислить последовательность расчета схем обжатий при прокатке листа из сляба на непрерывном стане.

15. На каких станах производится прокатка листа из сутунки?

16. Перечислить способы прокатки тонкого листа из сутунки на станах дуо с одним приводным нижним валком.

17. В чем заключается метод В. А. Тягунова по определению обжатий по проходам при прокатке тонкого листа на стане дуо?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить ширину раската после прохода, если раскат задавался в валки под углом  $20^\circ$ . Начальная ширина листа равна 500 мм, а коэффициент вытяжки 1,25.

Отв. 573,5 мм

2. Сляб длиной 1300 мм прокатан на лист длиной 13000 мм и толщиной 8 мм. Определить толщину сляба.

Отв.  $h = 80$  мм

3. Заготовка размером  $30 \times 400 \times 600$  мм прокатана на лист сечением  $10 \times 500$  мм. Определить толщину раската, при которой производился поворот на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости и коэффициент вытяжки для этого случая.

Отв.  $h = 24$  мм,  
 $\mu = 1,25$ .

4. Определить допустимое максимальное обжатие  $\Delta h_{\max}$  за проход из условия захвата металла валками при прокатке листа на стане  $750/500/750 \times 2000$  при скорости прокатки  $v = 2,0$  м/сек.

Отв. 26 мм.

5. Из условия прочности валка определить максимальное линейное обжатие  $\Delta h_{\max}$  при прокатке листа  $7 \times 1400 \times 10000$  мм из стали Ст. 2 из слитка  $220 \times 600 \times 850$  мм на стане  $650/450/650$ . Ширина листа  $b_c = 1500$  мм; допускаемое напряжение на изгиб  $\sigma_{изг} = 6$  кг/мм<sup>2</sup>; материал валков — чугун; размеры валков: длина бочки  $L = 1870$  мм, длина шейки  $l = 390$  мм.

Отв.  $\Delta h_{\max} = 13,7$  мм.

6. При прокатке листа толщиной  $h_{n-1} = 10$  мм из заготовки толщиной  $h_0 = 185$  мм в первых четырех проходах следующие обжатия равны:  $\Delta h_1 = 20$  мм,  $\Delta h_2 = 15$  мм,  $\Delta h_3 = 15$  мм,  $\Delta h_4 = 10$  мм. Температура металла  $T_1 = 1240^\circ$  и конца прокатки  $T_k = 850^\circ$ . Определить температуры раскатов перед каждым проходом.

Отв.  $T_0 = 1262^\circ$ ;  
 $T_1 = 1240^\circ$ ;  $T_2 = 1237^\circ$ ;  
 $T_3 = 1234^\circ$ ;  $T_4 = 1231^\circ$ .

7. Определить конечную температуру  $T_k$  металла при прокатке листа  $6 \times 1500 \times 6000$  мм, прокатываемого за 7 проходов из раската  $20 \times 1500$  мм. Начальная температура  $T_1 = 1040^\circ$ . Продолжительность прокатки за 8 проходов равна 49 сек. (8-й проход — проглаживание).

Отв.  $T_k = 862^\circ$ .

8. Дан лист  $3 \times 1400 \times 8400$  мм, прокатываемый из раската  $15 \times 1500$  мм весом 340 кг за 8 проходов. Начальная температура  $T_1 = 1007^\circ$ , продолжительность прокатки за 9 проходов (один проход — проглаживание) — 40 сек. Определить конечную температуру  $T_k$ .

Отв.  $T_k = 757^\circ$

9. За 36 проходов прокатывается лист толщиной 8,5 мм из сляба толщиной 345 мм при общей продолжительности прокатки

232 сек. Определить конечную температуру листа  $T_k$ , если начальная температура  $T_1 = 1200^\circ$ .

Отв.  $T_k = 826^\circ$ .

10. Сутунка толщиной 7,1 мм прокатывается по следующей схеме:

№ прохода	0	1	2	3	4
Толщина, мм	7,1	5,0	3,7	2,9	2,5

Температура начала прокатки  $T_1 = 850^\circ$ . Определить температуру по проходам, если продолжительность каждого пропуска равна в среднем 4 сек.

Отв.  $T_1 = 850^\circ$ ;  
 $T_2 = 827^\circ$ ;  $T_3 = 798^\circ$ ;  
 $T_4 = 764^\circ$ ;  $T_5 = 733^\circ$ .

11. На стане трио 750/350/750 прокатывается раскат  $50 \times 600$  мм до размера  $40 \times 600$  мм при среднем удельном давлении  $p_{\text{ср}} = 10 \text{ кг/мм}^2$ . Определить коэффициент использования прочности крайних валков, имеющих следующие размеры: длина бочки 800 мм, диаметр шейки 560 мм, длина шейки 480 мм. Валки чугунные ( $\sigma_{\text{изг}} = 8 \text{ кг/мм}^2$ ).

Отв. 22%.

12. Размеры раската до прокатки  $50 \times 2000$  мм, после прокатки  $40 \times 2000$  мм. Среднее удельное давление  $p_{\text{ср}} = 10 \text{ кг/мм}^2$ , радиус валка  $R = 400$  мм, радиус шеек валков  $r = 300$  мм, скорость вращения валков  $n = 40$  об/мин. Коэффициент трения в подшипниках  $f = 0,006$ . Определить необходимую для данного случая мощность прокатки.

Отв.  $N = 4986 \text{ л. с.}$

13. Определить линейное обжатие во втором проходе  $\Delta h_2$ , если известно, что линейное обжатие в первом проходе равно  $\Delta h_1$  и необходимая для прокатки раската в этом проходе мощность равна  $N_1$ , а во втором  $N_2$ .

Отв.  $\Delta h_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \Delta h_1$ .

14. Определить расход энергии по формуле В. А. Тягунова  $A = 0,8BD \left[ \frac{H}{h} + \left(\frac{l^2}{h}\right)^2 \right]$  без холостого хода на тонну слябов, если дано: толщина сляба 150 мм, толщина листа 10 мм, ширина необрезного листа 1550 мм, диаметр стана 750 мм.

Отв. 15,3 квт-ч/т.

15. Определить расход электроэнергии по формуле В. А. Тягунова  $A = \frac{60}{h} + 80$  для случая прокатки листа толщиной  $h = 0,33$  мм.

Отв. 262 квт-ч/т.

16. Составить режим обжатий при прокатке листа (сталь Ст. 3) размером  $14 \times 1500 \times 6000$  мм из сляба: весом 1200 кг, размером  $195 \times 650 \times 1260$  мм. На обреш по ширине листа принимается 100 мм и по длине, с переднего и заднего концов, 860 мм.

Прокатка производится на двух клетях: на черновой в 13 проходов, на чистовой — в 11 проходов. Материал валков на черновой клети — сталь, чистовой — чугун. Обе клети одноклетные и расположены последовательно друг за другом (тандем) на расстоянии 29,6 м. Диаметр валков на обеих клетях 850/560/850 мм; длина бочки 2130 мм, длина и диаметр шеек соответственно 500 и 600/360 мм, скорость вращения валков в черновой клети 50, в чистовой — 80 об/мин. Средняя скорость прокатки в черновой клети 2,2 м/сек, в чистовой 3,55 м/сек. При расчете калибровки проверить допустимость принятых обжатий: на черновой клети  $\Delta h_{\text{черн}} = 10$ ; 17; 16; 16; 14; 13; 13; 12; 12; 8; 5; 5; 4; на чистовой клети  $\Delta h_{\text{чист}} = 3$ ; 7; 6; 5; 4; 4; 3; 5; 3,0; 2,5; 2,0; 0,5.

17. Рассчитать калибровку листа  $2 \times 685 \times 1400$  мм. Прокатка листа производится по методу  $1 \times 1$ . Предел прочности листа  $\sigma_b = 40 \text{ кг/мм}^2$ , температура нагрева сутунки  $t = 950^\circ$ , толщина сутунки  $h_0 = 18,1$  мм. Характеристика валков (см. примерный расчет § 4, глава V).

18. Рассчитать калибровку листа мягкой стали  $1,6 \times 750 \times 1500$  мм. Прокатка производится по методу  $(1 \times 2)$ . Предел прочности листа  $\sigma_b = 30 \text{ кг/мм}^2$ ; температура нагрева сутунки  $t = 800^\circ$ ; сутунка весом 16,2 кг. Размеры валков (см. § 3, глава V).

19. Рассчитать калибровку листа  $1,0 \times 750 \times 1500$  мм. Прокатка производится по методу  $(1 \times 3)$ ; вес сутунки 10,2 кг, температура нагрева  $800^\circ$ . Сутунка прокатывается в одиночку до длины около 700 мм, спаривается и вытягивается до 1000 мм; затем набираются тройки, прогреваются и прокатываются на меру. Размеры валков:  $D = 760$  мм,  $L = 1000$  мм,  $d = 600$  мм,  $l = 480$  мм. Материал — чугун.

20. Составить калибровку листа трансформаторной стали размером  $0,35 \times 750 \times 1500$  мм. Вес сутунки 15,1 кг; размер сутунки  $10 \times 245$  мм, температура нагрева сутунки  $1250^\circ$ . Размеры валков:  $D = 760$  мм,  $L = 1000$  мм,  $d = 600$  мм,  $l = 480$  мм. Прокатка производится по методу  $(4 \times 8)$ .

Примечание. При прокатке восьмерок допускаются 3 прохода, при прокатке четверок — 3, при спаривании 2 и до спаривания 2 прохода.

21. Составить схему обжатий при прокатке листа  $4 \times 1500$  мм из сляба  $120 \times 675 \times 980$  мм для двухклетового стана с последовательным расположением клетей. Первая клеть

трио — 750/500/750; вторая клеть кварто — 740/1100. Материал сляба сталь Ст. 3; общее число проходов 14, из них: два первых прохода для выравнивания концов сляба; последующие 4 прохода прокатка «на угол» для получения требуемой ширины, затем 7 проходов для получения требуемой толщины листа и последний проход для правки листа (проглаживание).

22. На непрерывном стане 1700 производится прокатка листовой стали  $3 \times 1520$  мм из сляба  $150 \times 1550 \times 6150$  весом 11,2 т. Выходная скорость листа из последней чистовой клетки  $v_{11} = 6,5$  м/сек. Толщина раската, поступающего в чистовой окатиноломатель,  $h_5 = 24$  мм. Распределить обжатия по клетям стана и определить скорость прокатки в каждой клетке.

23. На непрерывном стане 1700 производится прокатка листов  $10 \times 1520$  мм из сляба  $150 \times 1550 \times 6150$  мм, весом 11,2 т. Толщина раската, поступающего в чистовой окатиноломатель,  $h_5 = 35$  мм. Распределить обжатия по клетям и определить скорость прокатки в каждой клетке, если выходная скорость из последней чистовой клетки 6,0 м/сек.

24. На двухклетевом листовом стане 2250 производится прокатка листовой стали 1X18H9T  $4 \times 1500$  мм из сляба  $100 \times 1550 \times 2000$  мм. Требуется составить схему обжатий по проходам и проверить на прочность валки первой дуо-реверсивной клетки.

25. При прокатке листа  $2,5 \times 1300$  мм из сляба  $115 \times 1020 \times 1800$  мм используется черновой окатиноломатель и уширительная клетка. Определить необходимое абсолютное обжатие в уширительной клетке, если обжатие в окатиноломателе равно 4,5%.

Отв.  $\Delta h = 23,7$  мм.

26. Толщина полосы после прокатки на непрерывном стане в 10-й клетке с обжатием 0,53 мм  $h_{10} = 3,0$  мм; диаметр валков  $D_0 = 700$  мм. Определить скорость вращения валков в 9-й и 10-й клетках, если выходная скорость, с учетом опережения, из 10-й клетки составляет 6,0 м/сек и обжатие в 9-й клетке  $\Delta h_9 = 0,53$  мм. Коэффициент трения  $f = 0,4$ .

Отв.  $n_{10} = 164$  об/мин,  
 $n_9 = 139$  об/мин.

27. Определить толщину листа после 9-й клетки, если толщина листа после 10-й клетки  $h_{10} = 3,0$  мм, линейная скорость валков 10-й клетки  $v_{10} = 1,25$  м/сек; опережение в 10-й клетке  $S_{10} = 3,8\%$ , скорость валков в 9-й клетке  $v_9 = 1,21$  м/сек, опережение в 9-й клетке  $S_9 = 3,2\%$ .

Отв.  $h_9 = 3,53$  мм.

## ГЛАВА VI

# КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ БЛЮМИНГА

## § 1. СОРТАМЕНТ СТАНА

Блюминг предназначен для прокатки слитков различного веса в полупродукт — блюмы и слябы. В отдельных случаях на блюминге прокатывают фасонные заготовки для крупных балок и швеллеров. Максимальное сечение блюмов обычно  $400 \times 400$  мм, минимальное —  $150 \times 150$  мм. Заготовки прямоугольного сечения толщиной примерно 50—300 мм и шириной 500—1800 мм и более называют слябами и прокатывают их на блюмингах и слябингах. Форма, размеры и допускаемые отклонения в размерах блюмов и слябов приведены в соответствующих стандартах (например, ГОСТ 4692—57, ГОСТ 497—58, ГОСТ 4693—57, ГОСТ 9137—59) или Технических условиях.

## § 2. ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ

Исходным материалом при прокатке блюмов и слябов являются слитки. Вес и форма слитков, предназначенных к прокатке, зависят от марки выплавляемой стали, характеристики прокатного стана и вида получаемого полупродукта. При прокатке слябов применяют слитки значительно большего веса, чем при прокатке блюмов. Вес слитка и его размеры в значительной степени зависят от диаметра валков и мощности двигателя стана (см. § 4, глава VI).

В настоящее время вес слитков из углеродистой стали для прокатки блюмов составляет 5—10 т и более, а для прокатки слябов — до 30 т. Размер и вес слитков некоторых высоколегированных марок стали часто лимитируются особенностями их физико-химических свойств. Например, слитки быстрорежущих, инструментальных, а также других марок сталей с высоким содержанием легирующих элементов отливают небольших размеров; обычно их вес не превышает 500—700 кг. Это объясняется тем, что эти стали имеют малую теплопроводность, малую пластичность и допускают прокатку в узком интервале температур при небольших обжатиях за каждый проход [9].

Слитки нержавеющей стали 1X18H9T для прокатки слябов

отливают на отечественных заводах весом до 12 т. В качестве примера в табл. 17 приведены данные слитков, применяемых для прокатки на блюмингах.

Таблица 17

Форма и вес слитков

Форма слитков	Сталь	Вес слитка т	Размеры сечения, мм		Высота, мм	
			верхнего	нижнего	тела слитка	прибыльной части
Прямоугольная	Кипящая	6,7	760×620	760×680	2350	—
То же	Спокойная (качественная углеродистая)	7,1	700×620	760×680	1820	580
Квадратная	Спокойная (качественная и легированная)	6,3	740×740	590×590	1950	540
То же	Легированная и высоколегированная	2,08	480×480	—	1200	350
Круглая	Легированная и высоколегированная	1,0	420	—	1000	300

На отдельных заводах для прокатки на блюмингах используют слитки другого веса и размеров.

Слитки обычной, качественной и высококачественной стали имеют квадратное и прямоугольное поперечное сечение. Слитки прямоугольного сечения обеспечивают лучшие условия кристаллизации и нагрева.

Узкие слябы можно прокатывать из слитков квадратного или прямоугольного сечения с небольшим отношением сторон. При прокатке широких слябов ширина слитков определяется шириной прокатываемых слябов, а толщина — необходимым весом слитка и отношением толщины к ширине не менее  $\frac{2}{3}$ .

При расчетах размеров слитков необходимо учитывать, что уклон боковых сторон для слитка спокойной стали принимают равным 3—4% (на каждую сторону) от его высоты. Вес прибыли составляет 14—16% от общего веса слитка. Уклон боковых сторон для слитка кипящей стали принимают равным 1—1,5%. Отношение высоты к стороне среднего сечения  $\frac{H}{a}$

для слитка кипящей стали составляет 3—3,5; слитка спокойной стали — не более 3 (если принять высоту слитка без прибыли). При определении размеров слитка следует учитывать, что удельный вес спокойной стали равен 7,3, а кипящей 6,9. Размеры слитка определяются по методу М. Л. Зарошинского.

Пример. Блюм сечением 235×235 мм катается из слитка квадратного сечения весом 5200 кг. Определить размеры слитка стали 12ХН3А.

Решение. Удельный вес жидкой спокойной стали  $\gamma=7,3$ . Отношение

веса прибыльной части к весу слитка принимается равным 16%. Тогда вес тела слитка равен

$$5200 - 5200 \cdot 0,16 = 4368 \text{ кг.}$$

Объем слитка равен:

$$V = \frac{4368}{7,3} = 598 \text{ дцм}^3.$$

Отношение высоты слитка  $H$  к стороне среднего сечения  $a$  принимаем равным  $\frac{H}{a} = 3$ .

Тогда  $H = 3a$ .

Объем слитка  $V = Ha^3$  или  $V = 3a^3$ , откуда

$$a = \sqrt[3]{\frac{V}{3}} = \frac{598}{3} = 5,84 \text{ дцм} = 584 \text{ мм.}$$

Высота слитка  $H = 584 \cdot 3 = 1752 \text{ мм.}$

Конусность слитка принимаем 3% от высоты слитка или

$$i = 0,03 \cdot 1752 = 52,6 \text{ мм} \approx 53 \text{ мм.}$$

Тогда верхнее сечение равно  $584 + 53 = 637 \text{ мм}$  или  $640 \times 640 \text{ мм}$ ; нижнее сечение  $588 - 53 = 531$  или примерно  $530 \times 530 \text{ мм}$ .

### § 3. ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ БЛЮМОВ И СЛЯБОВ

Блюминги в зависимости от диаметра валков условно делятся на большие ( $D = 1100—1200 \text{ мм}$  и более), средние ( $D = 900—1000 \text{ мм}$ ) и малые ( $D < 900 \text{ мм}$ ). Наибольшее распространение в качестве крупных заготовочных станов для прокатки блюмов и слябов получили одноклетевые дуо-реверсивные блюминги с валками диаметром 1100—1150 мм.

В целях увеличения производительности и уменьшения затрат на строительство здания, нагревательных колодцев, транспортных средств в последнее время стали устанавливать по две реверсивные клетки одна за другой. С одного нагрева металл из 2-й клетки поступает в непрерывно-заготовочный стан и прокатывается до требуемого размера. Прокатка в обеих клетях блюминга может идти самостоятельно и одновременно. В первой клетке производится подкат для второй клетки, которая может выпускать блюм или сляб заданного размера. Блюминг из двух клеток прокатывает слитки весом 7—9,0 т в блюмы сечением  $300 \times 300 \text{ мм}$  и  $250 \times 250 \text{ мм}$  и слябы  $110 \div 220 \times 550 \div 1000 \text{ мм}$ . Затем блюмы прокатывают в квадратную или плоскую заготовку на сортовой группе непрерывного заготовочного стана.

Расположение основного оборудования слябинга аналогично расположению оборудования одноклетевого блюминга. Существуют блюминги с последовательным расположением неревверсивных клеток дуо. При последовательном расположении дуо-клетей наиболее полно осуществляется принцип поточности и работа стана может быть полностью автоматизирована. Производительность многоклетевого блюминга из 10 клеток при прокатке блюмов  $300 \times 300 \text{ мм}$  из слитка развесом 7 т составит не

менее 10 млн. т/год слитков, что пока не отвечает условиям работы и мощности современных мартеновских цехов какого-либо завода.

При небольшом объеме производства при прокатке блюмов и заготовок из слитков качественных сталей на некоторых заводах используют блюминги и обжимные станы трио с валками диаметром 800—1200 мм. Эти станы имеют валки, находящиеся в строго фиксированном положении или с перемещением верхнего и среднего валков в вертикальном направлении.

В первом случае (на станах с наиболее часто встречающимся диаметром валков 800 мм) можно прокатывать слитки со стороной квадрата 400—450 мм и весом до 1,5—2,5 т; во втором случае максимальное сечение прокатываемого слитка повышается до 550×550 мм и весом до 2,5—3,0 т. Обжимные станы трио состоят из одной или двух клетей, имеющих с обеих сторон подъемные столы с рольгангами. Характеристика одно-клетевых реверсивных обжимных станов дана в табл. 18.

Таблица 18

Характеристика реверсивных обжимных станов

Показатели	Диаметр валков, мм		
	1150	1000	900
Вес слитка, т . . . . .	5—8	3—7	1—4
Минимальный размер блюмов, мм . .	250×250	150×150	100×100
Рабочие валки, мм:			
диаметр . . . . .	1150	1000	900
длина бочки . . . . .	2600	2540	2135
Максимальный раствор рабочих валков, мм . . . . .	1020	1470	760
Главный привод:			
мощность двигателя, л. с. . . . .	7000	8000	7000
скорость вращения, об/мин . . . .	0—50—120	0—50—120	0—50—100

#### § 4. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

При выборе калибровки валков блюминга необходимо учитывать производительность стана, вес слитков и размер блюмов и выбирать наиболее оптимальный диаметр валков, их угловую скорость, обжатие за каждый проход, мощность двигателя за каждый проход. Эти вопросы в каждом отдельном случае решаются с учетом специфических особенностей работы блюминга на том или ином заводе.

Прокатка слитков на блюминге производится или в калибрах от первого до последнего прохода (рис. 71), или в валках, имеющих гладкую часть бочки (рис. 72, а). Система калибровки, представленная на рис. 71, применяется только на старых блюмингах, имеющих небольшой подъем верхнего валка (не более 350—400 мм). Глубина вреза в каждом валке по этой ка-

либровке относительно большая и достигает 30—35% от ширины калибра. Поэтому на таких валках отсутствует возможность прокатки слитка с увеличенными обжатиями.

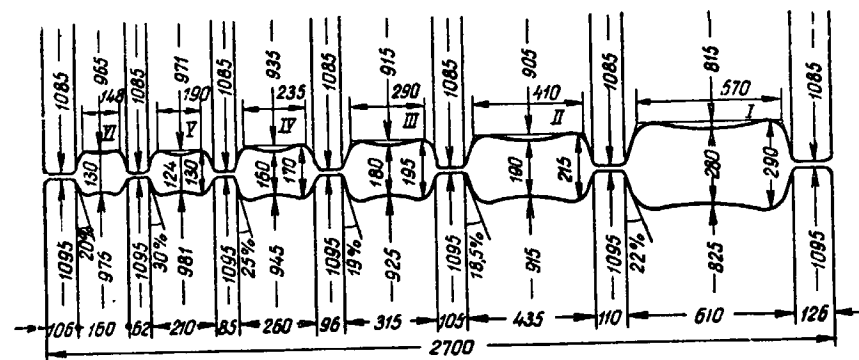


Рис. 71. Старая калибровка валков блюминга

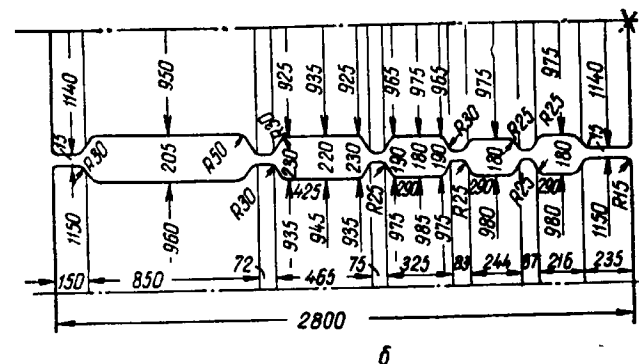
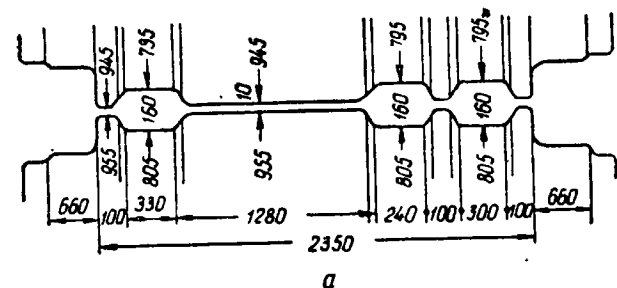


Рис. 72. Калибровка валков блюминга с гладкой бочкой в середине (а) и с краю (б)

На заводах США гладкая часть бочки (рис. 72, а) располагается посередине валка, на которой производят первые проходы. Требуемое сечение блюмов получается после нескольких проходов в калибрах, расположенных по обе стороны гладкой части бочки. На заводах СССР гладкая часть бочки (рис. 72, б)



выполняется в виде калибра, обычно с небольшой глубиной врезки, и располагается не посередине, а с краю, со стороны шестеренной клетки. Остальные калибры располагаются по ходу прокатки.

Прокатка слитков специальных сталей с высоким сопротивлением деформации требует оптимального диаметра и калибровки валков, обеспечивающей деформацию металла с возможно максимальной степенью стеснения калибра  $\theta$ . Один из типов калибровки, который дает удовлетворительные результаты при прокатке слитков с высоким сопротивлением деформации и малой пластичностью (например, сталь Р18), показан на рис. 73. По этой калибровке прокатывается слиток инструментальной стали весом 3900 кг в заготовку сечением 200 мм.

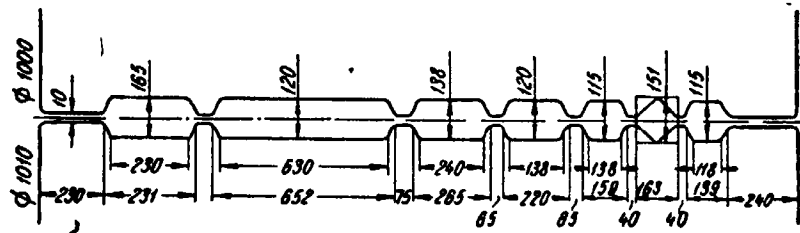


Рис. 73. Калибровка валков блюминга для прокатки высоколегированных сталей

В первых проходах слиток прокатывается с обжатием 5,3%, затем через несколько проходов обжатие возрастает до 23,1% и в последних проходах падает до 6,9% [21].

Для легированной стали, обладающей очень ограниченной пластичностью, требуется высокая температура конца прокатки (не для всех сталей). Для прокатки из такой стали готового профиля малого сечения необходимо во избежание переохлаждения полосы в период прокатки применять слиток минимально допустимых размеров и веса. Для этой цели устанавливают две клетки на одной оси с индивидуальным приводом каждая. При калибровке коэффициент вытяжки для каждого прохода выбирается по принципу, изложенному в § 2 (гл. I, первая часть).

Для каждого диаметра валков блюминга должен проектироваться слиток с оптимальными размерами по сечению. П. А. Александров [22] доказал, что для избежания образования внутренних дефектов в блюмах при калибровке валков блюминга необходимо соблюдать для каждого прохода строгое соотношение линейного обжатия к высоте слитка или раската к рабочему диаметру, а именно:

$$\Delta h \geq \frac{H^2}{2D}. \quad (31)$$

После преобразования выражения (31), выполненного

Н. В. Литовченко [12], оптимальный катающий диаметр валка блюминга должен быть равен

$$D_k = \frac{4H}{\alpha(4+\alpha)}, \quad (32)$$

где  $H$  — высота полосы;

$\alpha$  — угол захвата, радиан.

При анализе калибровок валков блюминга пользуются уравнением (31) или уточненной формулой (32). Если в каждом проходе отношение толщины  $H$  к катающему диаметру  $D_k$  равно или менее угла захвата (в радианах)  $\frac{H}{D_k} \leq \alpha$  или

$\frac{H}{D_k} \leq \frac{\alpha(4+\alpha)}{4}$  (по Н. В. Литовченко), то слиток или заготовка прорабатывается по высоте, в результате чего металл должен получаться без внутренних надрывов.

Пример. Толщина раската до прохода  $H=355$  мм, катающий диаметр валков  $D_k=935$  мм, толщина раската после прохода  $h=300$  мм. Определить правильность выбранного обжатия за проход с точки зрения условий объемного напряженного состояния.

Решение. Линейное обжатие  $\Delta h=355-300=55$  мм. Угол захвата в радианах:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \frac{55}{467,5} = 0,343;$$

$$\frac{H}{D} = \frac{355}{935} = 0,38.$$

По уточненной формуле Н. В. Литовченко:

$$\frac{\alpha(4+\alpha)}{4} = \frac{0,343(4+0,343)}{4} = \frac{1,49}{4} = 0,373.$$

Отношение  $\frac{H}{D} = 0,38$  незначительно отличается от отношения  $\frac{\alpha(4+\alpha)}{4} = 0,373$ . Следовательно, условия деформации металла за данный проход можно считать нормальными, обеспечивающими прокатку металла без внутренних надрывов в раскате.

Толщина слитка при данном диаметре валков блюминга определяется по формуле Н. В. Литовченко

$$H = 0,56D_k. \quad (33)$$

Формула (33) выведена из условий предельного захвата слитка ( $\alpha = 30^\circ$ ).

Учитывая малое сопротивление деформации литой структуры слитка, обжатия для первых проходов должны выбираться меньшими, чем требуется по условиям полной прорабатываемости полосы и предельного захвата металла валками.

После определения линейных обжатий за каждый проход с точки зрения оптимальных условий деформации слитка проверяется возможность их применения при прокатке, исходя из условий захвата металла валками, прочности валков и других деталей рабочей клетки, мощности двигателя и пластичности

прокатываемого металла. Допускаемые углы захвата в зависимости от окружной скорости можно определять по табл. 19 и графику (рис. 74).

Таблица 19

Допускаемые углы захвата  
(по Тягунову)

Характеристика валков	Углы захвата, град., при окружной скорости, м/сек								
	0*	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4—7
Гладкая бочка	25,4	24,5	23,5	22,5	19,5	16	12,5	12	—
Калиброванные	29,0	27,5	26,0	24,5	21,0	17	13,0	12	—
С насечкой . .	33,0	32,0	31,0	30,0	28,0	26	24,0	21	20

\* Под нулевой скоростью захвата подразумевается случай, когда слиток задается рольгангом в валки в момент начала их вращения.

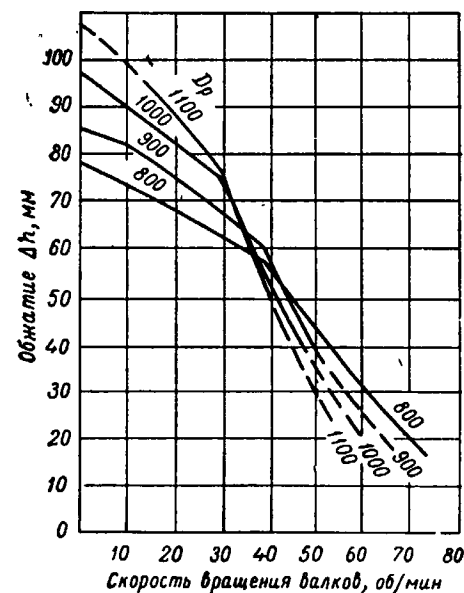


Рис. 74. Зависимость величины обжатия от скорости вращения валков при захвате и диаметра валков

Средняя величина обжатия за проход равна

$$\Delta h_{\text{ср}} = 0,95 \Delta h_{\text{макс}} = 70 \text{ мм.}$$

Необходимое число проходов  $n$  для прокатки слитка в bloom заданного сечения должно быть нечетным и определено по выражению

$$n = \frac{1,15[(B-b) + (H-h)]}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{1,15[(700-300) + (700-300)]}{70} = 13. \quad (34)$$

Пример. Определить допустимое обжатие из условий захвата металла валками и число проходов при прокатке на блюминге 1150 блюмов  $300 \times 300$  мм из слитка сечением  $700 \times 700$  мм.

Решение. Для определения катающего диаметра принимаем высоту первого широкого калибра равной 150 мм. С учетом уменьшения номинального диаметра валков при переточках на 10% будем иметь минимальный катающий диаметр:

$$D_k = 0,9(1150 - 150) = 900 \text{ мм}$$

Допустимое максимальное обжатие  $\Delta h$  из условий захвата определяем по формуле:

$$\Delta h_{\text{макс}} = A \cdot D_k;$$

при температуре металла  $1250^\circ$   $A = 0,082$  (см. § 2, глава II), тогда  $\Delta h_{\text{макс}} = 0,082 \cdot 900 = 73,8 \text{ мм} = 74 \text{ мм}$ . По данным табл. 19 при скорости прокатки менее 2 м/сек принимаем  $\alpha = 23,5^\circ$ .

Тогда

$$\Delta h_{\text{макс}} = D_k^{\text{мин}} (1 - \cos \alpha_{\text{доп}}) = 900 (1 - \cos 23,5^\circ) = 75 \text{ мм}$$

Применяя насечку валков, что в настоящее время редко используется, величину обжатия можно увеличить на 20—30%, т. е. до 90—100 мм. На основании опыта действующих калибровок допускаемые обжатия металла из условия пластичности рекомендуется принимать для первых проходов  $\Delta h = 75 \text{ мм}$ , для последующих  $\Delta h = 90 \text{ мм}$ .

Из условия прочности валков линейные обжатия почти всегда получаются преувеличенными и недопустимыми как по условиям захвата, так и по условиям пластичности прокатываемого металла. Независимо от этого проверка на прочность валков необходима при данных обжатиях и температуре металла.

Допускаемое обжатие из условия прочности валков определяют следующим образом. Вначале находят допускаемое прочностью валков усилие (пренебрегая кручением):

$$P_{\text{доп}} = 0,1 D_k^3 \cdot R_b \frac{L + l}{c [(L + l) - c]}, \quad (35)^*$$

где  $D_k$ ,  $L$ ,  $l$  — соответственно рабочий диаметр, длина бочки и длина шейки валка, мм;

$c$  — расстояние от середины шейки валка до середины калибра, мм;

$R_b$  — допускаемое напряжение в валках;

$$R_b = \frac{\sigma_b}{5} \text{ кг/см}^2;$$

$\sigma_b$  — предел прочности материала валка на изгиб, кг/мм<sup>2</sup>. Для кованых валков из углеродистой стали  $\sigma_b = 60 \div 65 \text{ кг/мм}^2$ ,  $R_b = 1200 \text{—} 1300 \text{ кг/см}^2$ .

Для валков из стального углеродистого литья  $\sigma_b = 50 \text{—} 60 \text{ кг/мм}^2$ ,  $R_b = 1000 \div 1200 \text{ кг/см}^2$ .

Определив по формуле (35)  $P_{\text{доп}}$  и приравняв его к давлению полосы на валки, получим

$$P_{\text{доп}} = p_{\text{ср}} b_c l_c = p_{\text{ср}} b_{\text{ср}} \sqrt{R \Delta h}.$$

Теперь находим допускаемое обжатие по выражению

$$\Delta h = \frac{1}{R} \left( \frac{P_{\text{доп}}}{p \cdot b_c} \right)^2. \quad (36)$$

Пример. Определить допускаемое обжатие  $\Delta h$  при прокатке блюма на гладкой бочке валков блюминга 1000 из условия прочности валка. Прокатывается сталь Ст. 6 (температура плавления  $t_{\text{пл}} = 1400^\circ$ ; предел прочности  $\sigma_b = 70 \text{ кг/мм}^2$ ; температура металла при прокатке  $t = 1150^\circ$ . Ширина блюма  $b_c \approx 500 \text{ мм}$ ; размеры валков  $L + l = 3000 \text{ мм}$ ; материал валков — кованая сталь; допускаемый предел прочности  $R_b = 12 \text{ кг/мм}^2$ ; расстояние от середины шейки валка до середины калибра  $c = 1200 \text{ мм}$ ; рабочий диаметр  $D_p = 950 \text{ мм}$ .

Решение. Удельное давление металла на валок определяем по фор-

\* Исходя из прочности валков величина максимально допустимого давления металла на валки может быть подсчитана по формулам А. И. Целикова:

$$\begin{aligned} \text{для стальных валков } P_{\text{макс}} &= 0,265 d^2 \tau, \\ \text{для чугунных } P_{\text{макс}} &= 0,155 d^2 \tau, \end{aligned}$$

где  $d$  — диаметр шейки валка, см.

муле В. А. Тягунова (для блюмингов  $P_{ср}$  рекомендуется также определять по формуле Эжелунда):

$$p = \frac{(t_{пл} - 75) - t}{1500} \quad \sigma_b = \frac{(1400 - 75) - 1150}{1500} \cdot 70 = 8,2 \text{ кг/мм}^2;$$

$$pb_{ср} = 8,2 \cdot 500 = 4100 \text{ кг.}$$

Допускаемое прочностью валков усилие определяется как

$$P_{доп} = 0,1 \cdot 950^3 \cdot 12 \cdot \frac{3000}{1200(3000 - 1200)} = 1423 \text{ т.}$$

Тогда обжатие из условия прочности валка по формуле (36) равно

$$\Delta h = \frac{1}{475} \left( \frac{1423}{4,1} \right)^2 = 253,5 \text{ мм.}$$

Полученное линейное обжатие недопустимо, так как оно не удовлетворяет условиям захвата металла валками, а также пластичности деформируемой стали.

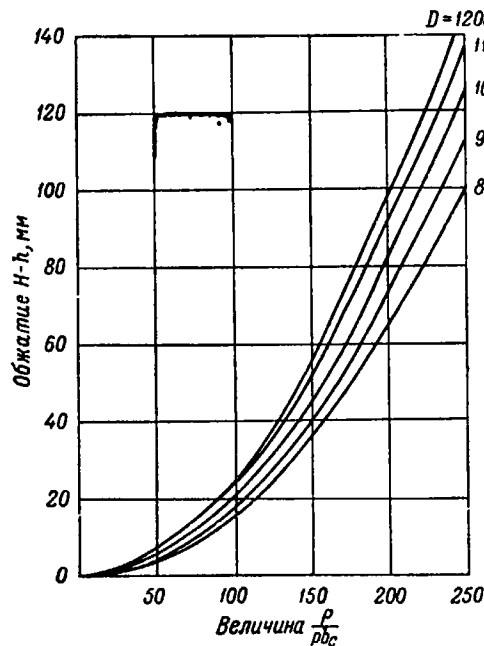


Рис. 75. Изменение величины допустимого обжатия от отношения  $\frac{P}{pb_c}$  и диаметра валков

Если величину  $\frac{P}{pb_c}$  принять за независимую переменную, то обжатие  $\Delta h$  будет изменяться по параболе, позволяющей довольно быстро определять линейное обжатие по графику М. Л. Зарошинского [5] (рис. 75).

Выбор допустимых обжатий при прокатке слитков на блюминге определяется также перегрузочным моментом двигателя или его нагревом. В этом случае делается расчет допустимых обжатий по способу В. В. Швейкина и В. А. Тягунова. Вначале определяют момент прокатки:

$$M_{пр} = P(l_c + fd),$$

где  $P$  — вертикальное давление на валок.

На рис. 76 приведены кривые допускаемых моментов прокатки, выражающие зависимость  $l_c = \varphi(M_{пр} \text{ и } pb_c)$ , построенные при  $f = 0,05$  и диаметре шеек валков  $d = 660 \text{ мм}$ .

Определив по этим кривым длина деформации  $l_c$ , вычисляют допустимое обжатие по формуле

$$\Delta h = \frac{l_c^2}{K}.$$

Пример. При прокатке слитка из стали Ст. 6 на блюминге 1130 определить допустимое обжатие  $\Delta h$  по следующим данным. Допускаемый момент прокатки  $M_{доп} = 190 \text{ тм}$ , произведение удельного давления на среднюю ширину очага деформации  $pb_c = 5250 \text{ кг}$  (рис. 76).

На кривой, соответствующей  $M_{доп} = 190 \text{ тм}$ , по данным значения  $pb_c$  отыскивается точка, ордината которой будет отвечать значению средней длины очага деформации  $l_c = 170 \text{ мм}$ . После этого определяется допустимое линейное обжатие

$$\Delta h = \frac{170 \cdot 170}{565} = 50 \text{ мм.}$$

Абсолютное обжатие  $\Delta h$  может быть также определено по другому графику (рис. 77).

Выбранный режим обжатий по проходам считается допустимым в

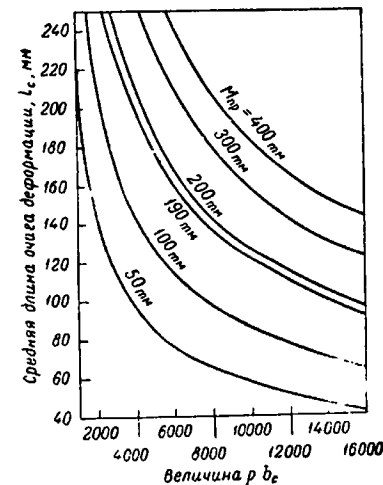


Рис. 76. К определению величины  $pb_c$

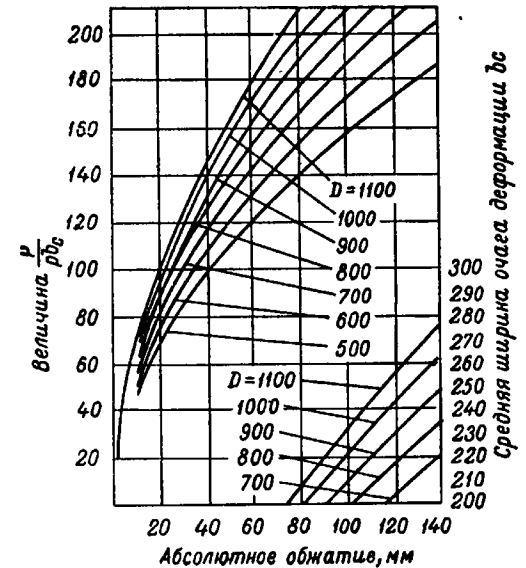


Рис. 77. К определению величины абсолютного обжатия

том случае, когда максимальный рабочий момент двигателя не превышает 2,2—2,5 номинального крутящего момента двигателя, определяемого по формуле

$$M_{ном} = \frac{0,716 N_H}{n} \text{ тм,}$$

где  $N_H$  — номинальная мощность двигателя, л. с.  
 $n$  — основные обороты двигателя, об/мин.

При прокатке на блюмингах, слябингах и реверсивных толстолистовых станах наиболее загруженные проходы производятся при оборотах, не превышающих основные.

Если двигатель блюминга имеет регулируемое число оборотов в пределах 0—50—120, то основными оборотами считаются

50 об/мин, при которых прокатка производится с увеличенными обжатиями.

При проектировании калибровки валков блюминга должно учитываться качество литого металла при выборе обжатий при прокатке слитка.

В этом вопросе существуют два направления. Так, например, по данным М. Л. Зарощинского [5], обжатие в первых проходах, пока сечение слитка не уменьшится до 40—50% первоначального, рекомендуется 10—12% для пластичной стали и 7—10% для малопластичной стали, с высоким сопротивлением деформации. В последующих проходах при уменьшении сечения на 80—85% от первоначального обжатия могут быть увеличены до 25% для мягкой стали и 20% для труднодеформированной. В остальных пропусках абсолютные обжатия должны быть снижены.

Наоборот, Ю. М. Чижиков [23] допускает возможность прокатки слитков легированной и высоколегированной стали на блюмингах с высокими обжатиями без какого-либо ухудшения качества слитков. Так, по его данным, при прокатке слитков весом 3,6 т из сталей 20ХНЗА, 12ХНЗА, 30ХГСА и др. число проходов в I калибре уменьшено с 12 до 6, т. е. в 2 раза. При про-

Таблица 20  
Режим обжатий при прокатке блюмов 280×280 мм  
из слитков 740×740 мм весом 6,3 т на блюминге 1150

№ калибра	Форма калибра	№ проходов	Размеры полосы после прохода, мм		$\Delta h$ мм	$\Delta b$ мм	$\frac{\Delta h}{H} 100$ %	Угол захвата α
			H	B				
I	Гладкая бочка	1	650	740	90	0	12,15	25°
		2	560	740	90	0	13,85	25°
		Кантовка						
		3	660	565	80	5	10,8	23°35'
		4	580	570	80	5	12,10	23°35'
		5	495	575	85	5	14,65	24°20'
II	Ящичный	6	410	580	85	5	17,15	24°20'
		Кантовка						
		7	495	420	85	10	14,65	24°35'
		8	410	430	85	10	17,15	24°35'
		Кантовка						
		9	365	420	65	10	15,10	21°20'
III	Ящичный	10	300	430	65	10	17,80	21°20'
		Кантовка						
IV	Ящичный	11	350	312	80	12	18,60	23°20'
		12	270	325	80	13	22,85	23°20'
V	Ящичный	Кантовка						
		13	280	280	45	10	13,85	17°30'

катке слитков весом 2,8 т из сталей 18ХНЗА, 1Х18Н9Т, СХ8 и др. число проходов уменьшено также с 12 до 6. При прокатке слитков весом 4,6 т из сталей 45Г2, 18ХГТ и др. число проходов в I калибре сокращено с 16 до 10.

Примеры схем обжатий при прокатке слитков на блюмингах по данным Украинского института металлов приведены в табл. 20, 21.

Таблица 21  
Режим обжатий при прокатке блюма 320×320 мм  
из слитков 740×740 мм рельсовой стали на блюминге 1100

№ калибра	Форма калибра	№ проходов	Размеры полосы после прохода, мм		$\Delta h$ мм	$\Delta b$ мм	$\frac{\Delta h}{H} 100$ %	Угол захвата α
			H	B				
I	Гладкая бочка	1	680	745	60	5	8,10	20°05'
		2	615	750	65	5	9,55	20°55'
		Кантовка						
		3	695	625	55	10	7,35	19°15'
		4	640	635	55	10	7,90	19°15'
		5	585	645	55	10	8,60	19°15'
		6	530	655	55	10	9,40	19°15'
		7	475	670	55	15	10,40	19°15'
		8	420	685	55	15	11,60	19°15'
		Кантовка						
II	Ящичный	9	620	427	65	7	9,50	21°20'
		10	555	434	65	7	10,50	21°20'
		11	490	442	65	8	11,70	21°20'
		12	420	450	70	8	14,30	22°10'
		Кантовка						
		13	375	430	75	10	16,65	22°15'
III	Ящичный	14	310	440	65	10	17,35	21°20'
		Кантовка						
IV	Ящичный	15	320	330	120	20	27,25	29°20'

Для прокатки слитков с увеличенными обжатиями используемая калибровка валков блюминга характеризуется следующим:

1. Гладкая часть бочки отсутствует; вместо нее проектируется калибр (первый), называемый часто бочкой, врезанный с края бочки валка (см. рис. 72). Глубина вреза первого калибра определяется минимальной толщиной прокатываемых слэбов, глубина врезов остальных ящичных калибров составляет 180—230 мм и более, что позволяет применять большие обжатия и улучшает качество проката.

2. Принимаются увеличенные выпуски в сравнении с «американской» калибровкой:  $i = 15 \div 30\%$ .

3. Глубина вреза ручьев увеличивается по П. А. Александрову до 100 мм.

4. Увеличивается диаметр валков блюминга; так, например, на КМК диаметр валков блюминга увеличен с 1100 до 1200 мм, на Закавказском металлургическом заводе с 950 до 1010 мм.

## § 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЖАТИЙ ПО ПРОХОДАМ [16]

При выборе режимов обжатий для прокатки блюмов из слитков необходимо учитывать факторы, лимитирующие величину обжатия.

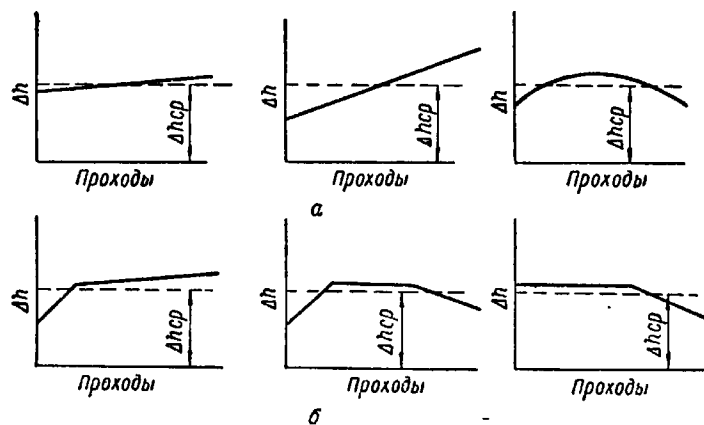


Рис. 78. Схемы распределения обжатий по проходам, если  $\Delta h$  лимитируется одним (а) или разными (б) факторами

Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов предлагают 6 вариантов распределения обжатий по проходам (рис. 78).

Первый вариант: один из факторов лимитирует величину обжатия на протяжении всей прокатки слитка. Для этого варианта

$$\Delta h_{\text{макс}} = \Delta h_{\text{ср.}}$$

Второй вариант: мощность двигателя на протяжении всей прокатки слитка ограничивает обжатие. В этом случае по

мере сокращения ширины полосы обжатие можно увеличивать.

Третий вариант: величина обжатия ограничивается пластичностью металла. В этом случае  $\Delta h_{\text{макс}} = (1,25 \div 1,1) \Delta h_{\text{ср.}}$

Четвертый вариант: величину обжатия в первых проходах ограничивает пластичность металла или мощность двигателя, в последних — условия захвата.

Пятый вариант: в начале и конце прокатки обжатия ограничиваются пластичностью, а в середине прокатки — условиями захвата полосы.

Шестой вариант: обжатия ограничиваются условиями захвата и только к концу прокатки — уменьшением размеров полосы и отчасти падением температуры прокатки.

## § 6. ПОРЯДОК РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

Расчет калибровки валков блюминга производится в следующей последовательности.

1. Устанавливается скоростной режим прокатки [24]\*.

Таблица 22

Распределение проходов и кантовок\*

Циклы	Суммарное число проходов																	
	13		15				17				19							
	варианты																	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
	сторона																	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	—	2	—	2	—	2	—	2	—	2	—	2	—	2	—	2	—
2	К	4	К	4	К	4	К	2	К	4	К	2	К	4	К	4	К	2
3	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К
4	К	2	К	4	К	2	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4	К	4
5	1	К	1	К	2	К	2	К	2	К	2	К	2	К	2	К	4	Е
6	—	—	—	—	К	1	К	1	К	1	К	1	К	2	К	1	К	2
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	К	1	К	—
Сумма	7	6	7	8	8	7	8	7	8	9	10	7	9	8	10	9	9	10
Число кантовок	4		4		5		5		5		5		6		5		6	

\* В этой таблице цифры в колонках обозначают число проходов за каждый цикл, а буквы К — кантовку.

2. Из условий захвата определяется допустимое максимальное обжатие  $\Delta h_{\text{макс}}$ .

\* По данным передовых приемов работы оператора ММК т. Киреева: скорость вращения валков при захвате слитка в первых проходах  $n_1 = 9 \div 20$  об/мин.; в средних  $n_2 = 24 \div 50$  об/мин; скорость вращения валков при выбросе  $n_3 = 34 \div 46$  об/мин; в последнем проходе выброс полосы производится при максимальной скорости вращения валков.

3. Определяется требуемое число проходов  $n$ . Одноклетевые блюминги имеют нечетное число проходов.

4. По данным табл. 22 выбираются варианты распределения проходов и кантовок. Кантовка намечается при отношении  $\frac{b}{h} \gg 1,5$ ; в противном случае могут быть свертыви.

5. Определяются катающие диаметры валков.

6. Задаются допустимыми углами захвата.

7. Определяются линейные обжатия за проход.

8. По данным угла захвата (табл. 19) устанавливается скоростной режим прокатки.

9. Уширение при прокатке определяется по формуле Б. П. Бахтинова.

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$$

или по формуле А. П. Чекмарева

$$\Delta b = \frac{2b_{\text{ср}} \cdot \Delta h \cdot k}{(H + h) \left[ 1 + (1 + \alpha) \left( \frac{b_{\text{ср}}}{R\alpha} \right)^n \right]} \text{ мм,}$$

где  $b_{\text{ср}} = \frac{B+b}{2}$  — средняя ширина очага деформации;

$k$  — коэффициент несвободного уширения, равный 1;

$\alpha$  — угол захвата в радианах;

$R\alpha$  — длина дуги захвата;

$n$  — показатель степени.

По данным В. М. Клименко, для мягких и средних углеродистых сталей  $\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0,11—0,16$ . Для твердых углеродистых

и легированных сталей  $\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0,17—0,23$ . По А. П. Чекмареву

$\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0,2—0,25$  (меньшее значение для больших размеров слитков и блюмов).

При большой ширине раската и относительно малых уширениях, как это имеет место на блюмингах, вместо  $b_{\text{ср}}$  можно подставлять  $B$  (при калибровке по ходу прокатки) и  $b$  (при калибровке против хода прокатки).

10. Производится расчет размеров калибров.

11. Составляется чертеж калибровки валков блюминга.

В случае прокатки блюмов из слитков на многоклетевых блюмингах принцип расчета калибровки валков остается тот же, что и при одноклетевом блюминге, но при этом необходимо учесть некоторые особенности работы многоклетевых блюмингов:

1. При калибровке двухклетевых блюмингов общее число проходов должно быть четным.

2. Обжатия и глубина вреза калибров принимаются больше, чем в одноклетевом блюминге, что возможно ввиду короткой бочки валков двухклетевого блюминга.

3. Общее время прокатки в каждой из клеток должно быть примерно одинаковым. Поэтому, например, в двухклетевом блюминге число проходов в первой клетки несколько больше, чем во второй.

4. Увеличение общего числа калибров позволяет применять прокатку со стесненным уширением в большем числе проходов, что должно благоприятно отразиться на качестве блюмов.

## § 7. ФОРМА И РАЗМЕРЫ КАЛИБРОВ

Калибры выполняются обычно прямоугольной формы со значительным выпуском (в пределах 5—25%) и со скруглением углов. Глубина вреза калибров должна быть меньше половины наименьшей толщины полосы, пропускаемой через этот калибр. Глубина вреза первого калибра в действующих калибрах колеблется от 0 до 200 мм и более. Если одни и те же валки используются для прокатки блюмов и слябов, глубина первого калибра берется из расчета, чтобы из него можно было выдавать слябы минимальной толщины. В некоторых случаях врез калибра вообще не делают. Глубина вреза остальных калибров для блюмингов с диаметром валков около 1150 мм берется чаще всего в пределах от 130—150 мм до 200—230 мм.

Ширина калибров в глубине вреза должна быть на 0—10 мм меньше минимальной ширины полосы, задаваемой в этот калибр. Ширина калибров в месте разъема валков должна быть несколько больше (на 5—10 мм) максимальной ширины полосы, выдаваемой из этого калибра. Разность по ширине в месте разъема валков и у основания калибра должна быть равна суммарному уширению

$$B_k - b_k \geq \Sigma \Delta b. \quad (37)$$

Чтобы сделать прокатку более устойчивой при недостаточно тесном калибре, необходимо, чтобы отношение сторон задаваемого профиля было не очень велико, не больше 1,5 при наличии в сортаменте блюминга слябов; ширина первого калибра должна быть не меньше, чем максимальная ширина слябов плюс 100—150 мм.

Выпуклость дна калибра делать не рекомендуется. Радиусы закруглений в чистовых калибрах принимаются в соответствии с действующим сортаментом, т. е. в пределах 0,12—0,15 от стороны квадрата. В остальных калибрах величину радиусов закруглений выбирают в пределах 7—10% от ширины калибра, но не более 35—40 мм. Для скругления фасок буртов применяются

те же радиусы, что и для скругления углов в глубине вреза калибра.

Ширина буртов определяется после размещения калибров на бочке валка. Средние бурты (между калибрами) должны иметь ширину не меньше, чем глубина ручья на валке, крайние — не меньше 100 мм. Зазор между валками блюминга обычно принимается равным  $\Delta = 15$  мм. Для предупреждения ударов выходящей полосы с первый ролик рольганга начальный диаметр нижнего валка берется на 10 мм больше верхнего.

Пример. Составить схему обжатий для прокатки на блюминге 1150 блюма  $300 \times 300$  мм из слитка  $760 \times 680$  мм (сталь 18ХНВА). Мощность двигателя  $N = 7000$  л. с.; скорость вращения  $n = 0-50-120$  об/мин. Прокатка слитка производится в валках с калибровкой, показанной на рис. 79.

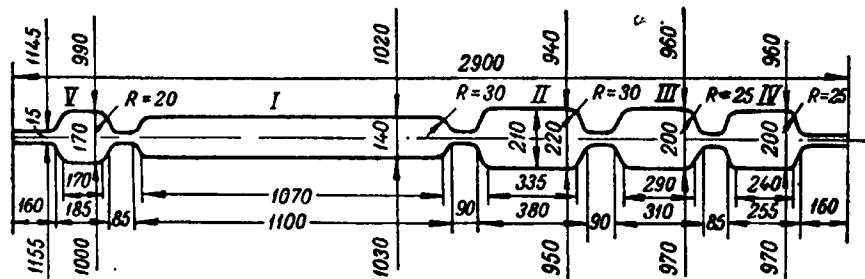


Рис. 79. Калибровка валков блюминга 1150

**Определение допустимого среднего обжатия  $\Delta h_{\text{ср}}$ .** 1. Если считать диаметр переточенных валков равным 0,9 от первоначального, то при глубине первого калибра 150 мм минимальный катающий диаметр будет равен

$$D_{\text{к.мин}} = 0,9(1150 - 150) = 900 \text{ мм.}$$

По данным графика (рис. 74, скорость вращения валков при захвате  $n = 10$  об/мин и  $D_{\text{к}} = 900$  мм) допускается обжатие  $\Delta h = 82$  мм.

2. Номинальный момент двигателя равен

$$M_{\text{н}} = 0,716 \cdot \frac{N}{n} = 0,716 \cdot \frac{7000}{50} = 125 \text{ тм.}$$

Максимальный момент двигателя не должен превышать

$$M_{\text{макс}} = (2,75 \div 3,0) M_{\text{н}} = (2,75 \div 3,0) \cdot 125 = 345 \div 375 \text{ тм.}$$

Для дальнейших расчетов принимаем  $M_{\text{макс}} = 300$  тм.

3. Пользуясь графиком (см. рис. 76, по данным  $M_{\text{макс}} = 300$  тм и  $pb_{\text{с}} = 6250$ ), определяем среднюю длину очага деформации  $l_{\text{с}} = 210$  мм.

Тогда

$$\Delta h = \frac{l_{\text{с}}^2}{R_{\text{к}}} = \frac{210^2}{450} = 98 \text{ мм.}$$

4. Допустимое обжатие из условий захвата определяем по формуле (25с). При температуре 1150° коэффициент  $A = 0,098$  (см. § 2, глава II), тогда

$$\Delta h_{\text{макс}} = 0,098 \cdot 900 = 88 \text{ мм.}$$

5. Допустимое обжатие  $\Delta h_{\text{макс}}$  из условий пластичности стали 18ХНВА ориентировочно принимаем, на основании данных Ю. М. Чижикова [25], равным

$$\Delta h = 100 \text{ мм.}$$

Среднюю величину обжатий по проходам, исходя из условий захвата и пластичности стали 18ХНВА, при последних проходах принимаем

$$\Delta h_{\text{ср}} = 0,8 \frac{100 + 88}{2} = 75,2 \approx 75 \text{ мм.}$$

**Определение угла захвата.** 6. Угол захвата, соответствующий  $\Delta h_{\text{ср}} = 75$  мм, равен

$$\alpha = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{75}{450}} = 23,4^\circ.$$

7. Принимаем скорость вращения валков при захвате 1 м/сек, при которой, согласно табл. 19, угол захвата на гладкой бочке 24,5°, на калиброванной — 27,5°.

Выбранный скоростной режим валков при захвате слитка соответствует полученному значению угла захвата и  $\Delta h_{\text{ср}}$ .

**Определение числа проходов и кантовок.** Число проходов определяем по формуле

$$n = \frac{1,15[(B+b)+(H-h)]}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{1,15[(760-300)+(680-300)]}{75} = \frac{966}{75} = 12,9.$$

Число проходов должно быть нечетным, поэтому принимаем  $n=13$ .

При числе проходов  $n=13$ , согласно табл. 22, число кантовок принимается 4. Первая кантовка — после первых двух проходов (иногда после 4 проходов), последующие кантовки — через четное число проходов с таким расчетом, чтобы отношение ширины полосы к толщине не превышало 1,5 при прокатке на гладкой бочке и 2,0 при прокатке в калибрах. Последняя кантовка делается перед последним проходом.

При составлении режима обжатий по проходам необходимо учитывать конкретные условия прокатки. Необходимо составлять несколько вариантов схем обжатий и выбирать из них наиболее оптимальные. Необходимо учитывать следующие особенности прокатки слитка на блюминге:

1) в первом проходе, когда слиток поступает в валки тонким концом, можно дать большее обжатие, так как первоначальный угол захвата будет невелик, а при установившемся процессе этот угол может быть в 1,4 раза больше;

2) чем шире полоса, тем меньше должно быть обжатие.

Все расчеты сведены в табл. 23.

**Расчет давления металла на валки и крутящих моментов прокатки.** Проводятся расчеты по определению вытяжки, углов захвата, длины дуги захвата, удельного давления  $p_{\text{ср}}$  (удельное давление принимается по опытным данным), полного давления металла на валок, моментов прокатки, подсчитанных по формуле

$$M_{\text{ср}} = P(\sqrt{R \Delta h} + d f \eta),$$

где  $d = 600$  мм (диаметр шейки валков);

Таблица 23

Схема распределения обжатий по проходам по калибровке валков блюминга 1150 (см. рис. 79)

№ прохода	Размер сечения, мм $H \times B$	$\Delta h$ , мм	$\Delta b$ , мм	№ калибра
Слиток 760 × 680 мм				
1	695 × 680	65	0	Гладкая бочка
2	630 × 680	65	0	
3	Кантовка 610 × 635	70	5	
4	540 × 640	70	5	
5	Кантовка 560 × 545	80	5	I
6	480 × 550	80	5	
7	410 × 555	70	5	
8	340 × 565	70	10	
9	Кантовка 490 × 345	75	5	II
10	420 × 355	70	10	
11	350 × 365	70	10	
12	290 × 370	60	10	
13	Кантовка 300 × 300	70	10	III

Примечания: 1. Ширина I калибра больше ширины слюба на 100 мм. 2. Ширина II калибра 380 мм. 3. Ширина III калибра 310 мм. 4. Ширина IV калибра 255 мм для прокатки блюма 250 × 250 мм. 5. Калибр V ребровой. Минимальная толщина слюба 140 мм. Высота калибров при зазоре  $\Delta = 15$  мм подсчитана обычным методом.

$f = 0,006$  (коэффициент трения в подшипниках валков);

$\eta = 2$  (коэффициент, учитывающий потери на трение в других вращающихся деталях).

Условия прорабатываемости слитка определяются по формуле П. А. Александрова

$$\frac{H}{D_k} \leq \frac{\alpha(4 + \alpha)}{4}$$

Все расчеты сведены в табл. 24.

Принятая схема обжатий при прокатке блюма 300 × 300 мм из слитка 760 × 680 мм, согласно данным табл. 24, удовлетворяет условиям: захвата металла, валками, прочности валков, мощности двигателя, полной прорабатываемости слитка только в 8, 12 и 13 проходах, частичной в 11, 10, 9, 7 проходах. В остальных проходах прорабатываемость слитка не обеспечивается.

Принимая во внимание хорошую пластичность при температурах прокатки стали, опасаться внутренних разрывов не следует, так как в последних проходах при хорошей прорабатываемости возможные внутренние разрывы в раскате будут завариваться.

Таблица 24  
Расчет давления металла на валки и крутящих моментов прокатки (см. рис. 79)

Данные калибровки	Номера проходов													III
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	II			13	
										10	11	12		
№ калибров														
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Катающий диаметр $D_k$ . . . . .	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	945	945	945	965
Линейное обжатие $\Delta h$ . . . . .	65	65	70	70	80	80	70	70	75	70	70	60	70	70
Коэффициент вытяжки $\mu$ . . . . .	1,08	1,1	1,105	1,11	1,11	1,16	1,16	1,17	1,15	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19
Угол захвата $\alpha$ . . . . .	20,4	20,4	21,2	21,2	22,6	22,6	21,2	21,2	22,8	22,0	22,0	20,4	21,8	21,8
Температура металла $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	1140	1135	1130	1125	1110	1105	1100	1095	1078	1070	1060	1050	1035	1035
Длина дуги захвата $ld$ . . . . .	182	182	189	189	202	202	189	189	196	181	181	168	184	184
Среднее удельное давление $p_{\text{ср}}$ . . . . .	8	8,2	8,4	8,6	9,0	9,2	9,4	9,6	10,3	10,6	11,0	11,3	11,8	11,8
Полное давление металла на валок $P$ . . . . .	990	1015	1000	1004	989	989	970	1016	686	670	720	690	640	640
Момент прокатки $M$ . . . . .	187	193	196	197	208	208	178	187	134	125	134	116	103	103
$H_{\text{ср}}$ . . . . .	0,760	0,667	0,615	0,660	0,625	0,530	0,460	0,400	0,592	0,520	0,445	0,370	0,382	0,382
$D_k$ . . . . .	0,387	0,387	0,400	0,400	0,410	0,410	0,400	0,400	0,440	0,418	0,418	0,381	0,416	0,416
$\alpha(4 + \alpha)$ . . . . .	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ширина раската $B_c$ . . . . .	680	680	630	635	540	555	552	560	342	350	360	367	295	295
$pB_c$ . . . . .	5440	5570	5292	5461	4860	5106	5188	5376	3523	3710	3960	4147	3481	3481
$P$ . . . . .	180	177	190	190	200	192	187	188	191	180	182	168	184	184
$pB_c$ . . . . .	65	63	72	72	83	75	73	73	72	65	65	53	66	66
Линейное обжатие (см. рис. 75) . . . . .														



## § 8. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ЗАГОТОВОЧНЫХ СТАНОВ

Современные заготовочные станы устанавливаются непосредственно за блюмингом; они прокатывают блюмы без промежуточного подогрева металла. Эти станы, как правило, являются непрерывными. Исходным материалом при прокатке заготовок на современных заготовочных станах служат блюмы сечением  $250 \times 250$  и  $300 \times 300$  мм и более.

Методика расчета калибровки валков непрерывного заготовочного стана ничем не отличается от калибровки валков обычных линейных станов, когда полоса находится только в одной клетке, но необходимо учитывать некоторые особенности. К ним относятся: а) равенство секундных объемов в каждой клетке (см. § 9, глава III); б) при расчете калибровки натяжение полосы между клетями следует определять по формуле

$$Q_n \% = \left( \frac{C_n}{C_{n-1}} - 1 \right) \cdot 100,$$

где  $Q_n$  — натяжение полосы между клетями  $n$ -й и  $(n-1)$ -й;  $C_n$  и  $C_{n-1}$  — константа калибровки. В производственных условиях натяжение полосы между клетями допускают 0,5%;

в) температура металла на непрерывно-заготовочном стане считается постоянной.

При калибровке валков непрерывно-заготовочных станов необходимо учесть кинематическую связь валков с двигателем, так как имеются станы с жесткой кинематической связью валков отдельных клетей, обслуживаемых одним общим электродвигателем через редуктор и станы с индивидуальным приводом и регулируемым числом оборотов.

При жесткой кинематической связи необходимо при расчете калибровок учитывать равенство секундных объемов в каждой клетке. Калибровка валков непрерывного стана с широкой регулировкой числа оборотов каждой отдельной клетки почти ничем не отличается от калибровки станов других типов. Для прокатки заготовок квадратного сечения на непрерывно-заготовочном стане применяют вытяжные калибры в основном ящичные и прямоугольной формы. В отдельных случаях, как например, на стане 450, используют систему калибров овал — квадрат. Переход от прямоугольных калибров к системе калибров ромб — квадрат объясняется главным образом необходимостью получать заготовки более точной квадратной формы.

**Пример [25].** Рассчитать калибровку валков непрерывного стана 610, состоящего из 6 клетей с индивидуальным приводом каждой клетки, для прокатки заготовки сечением  $100 \times 100$  мм из блюмов сечением  $200 \times 200$  мм при выходной окружной скорости  $V_b = 0,72$  м/сек и скорости вращения валков  $n = 27$  об/мин.

**Решение** (по А. П. Чекмареву). В непрерывно-заготовочных станах применяются в первых четырех клетях ящичные калибры, а в пятой

и шестой клетях — ромбический и квадратный. Определяем общий и средний коэффициенты вытяжки:

$$\mu_0 = \frac{F_0}{F_n} = \frac{200 \cdot 200}{100 \cdot 100} = 4,$$

$$\mu_{ср} = \sqrt[6]{4} = 1,26.$$

По рекомендации А. П. Чекмарева можно принимать по всем клетям вытяжки, равные средней вытяжке  $\mu_{ср}$ , или, уменьшив их в первых клетях, увеличить их в последующих с таким расчетом, чтобы произведение частных вытяжек было бы равно общей вытяжке. С целью упрощения принимаем, что  $\mu_{ср}$  во всех клетях равно 1,26.

Для нахождения основных размеров ящичных калибров определяем абсолютное обжатие в каждом калибре по формуле А. П. Чекмарева:

$$H - h = \frac{F_{n-1} - F_n}{B_n(1 - k)}.$$

Коэффициент  $k$  для толщин от 200 до 100 мм А. П. Чекмарев принимает в пределах 0,12—1,15.

Для первого ящичного калибра получим

$$H_0 - h_1 = \frac{F_0 - F_1}{B_0(1 - k)} = \frac{40000 - 31746}{200(1 - 0,12)} = 46 \text{ мм}.$$

$$\text{где } F_1 = \frac{F_0}{\mu} = \frac{40000}{1,26} = 31746 \text{ мм}^2$$

$$\Delta b = 0,12 \cdot 46 = 6 \text{ мм},$$

$$b_1 = B_0 + \Delta b = 206 \text{ мм},$$

$$h_1 = H_0 - \Delta h = 200 - 46 = 154 \text{ мм}.$$

Таким же образом подсчитываются размеры всех остальных калибров.

В ромбический калибр пятой клетки задается квадрат из четвертой клетки по диагонали. Для расчета принимаем, что диагональ квадрата равна большей диагонали ромба (она расположена горизонтально). Большая диагональ ромба по диагонали предыдущего квадрата определяется по формуле

$$h_p = \frac{2F_p}{h_k}.$$

Сторона квадрата  $a$  и его диагонали  $h_k = b_k$  определяются из следующих выражений:

$$a = \sqrt{F_k}; \quad h_k = b_k = 1,41a.$$

Из табл. 25 видно, что четвертый калибр имеет размеры  $123 \times 128$  мм, близкие квадрату 126 мм. Его диагональ равна  $126 \cdot 1,41 = 178$  мм.

Большая диагональ ромба в пятом калибре равна

$$h_5 = \frac{2 \cdot 12600}{178} = 141 \text{ мм}.$$

сторона квадрата шестой клетки стана 610 составит

$$a_6 = \frac{141}{1,41} = 100 \text{ мм},$$

т. е. то, что и требовалось по условиям задачи.

Катающие диаметры равны:

для ящичных калибров

$$D_k = D_{cp} - h,$$

для ромбических и квадратных

$$D_k = D_{cp} - \frac{2}{3} h,$$

где  $D_{cp}$  — средний диаметр валков.

Для определения скорости прокатки по всем клетям определяется константа калибровки без учета опережения:

$$C = \frac{F_6 \pi D_{cp}}{60} = \frac{10000 \cdot 3,14 \cdot 515 \cdot 27}{60} = 72 \cdot 10^5 \text{ мм}^3/\text{сек}.$$

Окружная скорость в предыдущей пятой клетке будет равна

$$v_5 = \frac{F_6 \cdot v_6}{F_5} = \frac{v_6}{\mu_6} = \frac{72 \cdot 10^5}{12600} = \frac{0,72}{1,26} = 0,57 \text{ м/сек}.$$

Таким же образом определяются скорости и в остальных клетях стана. Результаты подсчетов приведены в табл. 25.

Таблица 25

Калибровка непрерывно-заготовочного стана 610

Форма калибра*	Площадь попереч- ного сече- ния $F$	Уменьше- ние сечения	Расчетные размеры мм		Высота с учетом загрузки, мм	Обжатие $H - h$ , мм	Рабочий диаметр $D_p$ , мм	Угол захвата $\alpha^\circ$	Скорость враще- ния $n$ , об/мин	Окружная ско- рость $v$ , м/сек
	мм <sup>2</sup>		$F_0 - F_1$ мм <sup>2</sup>	$h$ мм	$b$ мм					
Ящичный	40000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	31700	8300	154	206	—	46	456	26°	9,6	0,23
»	25200	6500	117	212	—	37	493	22	11,2	0,29
»	20000	5200	162	123	—	50	448	27°30'	14,4	0,36
»	15900	4100	123	128	—	39	487	23	18,0	0,46
Ромбический	12600	3300	141	178	126	52	515	26	21,0	0,57
Квадратный	1000	2600	141	141	126	52	515	26	27,0	0,72

\* Коэффициент вытяжки  $\mu$  равен 1,26.

Конструирование прямоугольных калибров рекомендуется производить по методу ММК, разработанному И. П. Шулаевым [26]. Последовательность расчета размеров прямоугольных калибров сводится к следующему:

1. Ширина калибра принимается равной ширине задаваемой полосы.

2. Задаются степенью заполнения калибра  $\theta = 0,98\%$  или величину  $\theta$  определяют по графику (рис. 80) в зависимости от величины выпуска калибра.

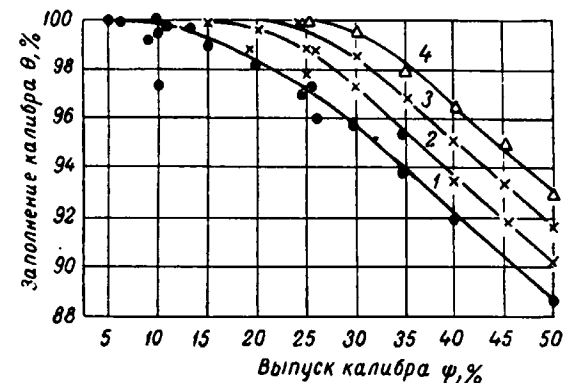


Рис. 80. Определение степени заполнения калибра при  $\frac{\Delta h}{H}$ :

1 — 20; 2 — 25; 3 — 30; 4 — 35%

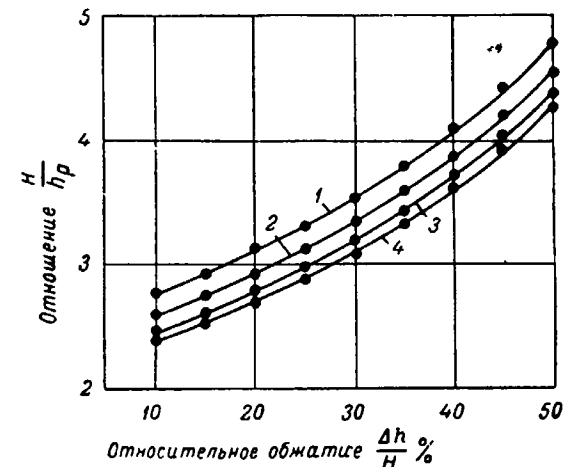


Рис. 81. Зависимость отношения  $\frac{H}{h_p}$  от величины относительного обжатия; зазор между валками  $\Delta$  равен:

1 — 0,2  $h$ ; 2 — 0,15  $h$ ; 3 — 0,1  $h$ ; 4 — 0,075  $h$

3. Задаются величиной зазора  $\Delta$  между валками или он находится по формуле

$$\Delta = (0,1 - 0,22) h,$$

где  $h$  — высота калибра.

4. По графику (рис. 81) отыскивается значение  $\frac{H}{h_p}$ , по которому определяют глубину вреза калибра.

5. Определяется ширина калибра по разъему валков:

$$B_k = b_k + 2h_p \operatorname{tg} \psi. \quad (38)$$

6. Радиусы закруглений калибра принимаются по данным Б. П. Бахтинова:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= (0,12 \div 0,20) b_k; \\ r_2 &= (0,08 \div 0,12) B_k. \end{aligned} \right\}$$

7. Уширение проверяется по формуле Б. П. Бахтинова.

8. Определяется степень заполнения прямоугольного калибра:

$$\theta = \frac{(b_1 \div b_k)}{(B_k \div b_k)} \cdot 100,$$

где  $b_k$  — ширина задаваемой полосы в калибр;

$b_1$  — ширина полосы после прохода;

$$b_1 = b_k + \Delta b;$$

$B_k$  — определяется по формуле (38).

Схема прямоугольного калибра указана на рис. 82.

Рис. 82. Схема прямоугольного калибра

Пример [26]. Высота задаваемой в прямоугольный калибр полосы  $H = 285$  мм, ширина 285 мм, обжатие  $\Delta h = 60$  мм, диаметр вала  $D = 710$  мм. Определить размеры прямоугольного калибра.

Решение. Величина относительного обжатия

$$\frac{\Delta h}{H} \cdot 100 = \frac{60}{285} \cdot 100 = 21\%.$$

Ширина дна калибра  $b_k$  принимается равной ширине задаваемой заготовки  $b$  или  $b_k = b = 285$  мм.

Во избежание переполнения калибра при прокатке средне- и высокоуглеродистых сталей принимается величина степени заполнения калибра  $\theta = 98\%$ .

По графику (см. рис. 80) при  $\frac{\Delta h}{H} = 21\%$  и  $\theta = 98\%$  выпуск калибра  $\psi = 20$ .

Зазор между валками принимается равным

$$\Delta = 0,15 h = 0,15 \cdot 225 = 33,75 = 33,8 \text{ мм}.$$

По графику (см. рис. 81, по данным  $\Delta = 0,15 h$  и  $\frac{\Delta h}{H} \cdot 100 = 21\%$ ) находится значение  $\frac{H}{h_p} = 2,94$ , откуда

$$h_p = \frac{285}{2,94} = 97,5 \text{ мм}.$$

Ширина калибра по разъему равна [см. формулу (38)]:

$$B_k = 285 \div 2 \cdot 97,5 \cdot 0,20 = 324 \text{ мм}.$$

Высота калибра:

$$h_k = 2h_p + \Delta = 2 \cdot 97,5 + 0,15 \cdot 225 = 228,8 \text{ мм}.$$

Полученная высота больше заданной по калибровке на 3,7 мм. Корректируется на эту величину зазор между валками:

$$\Delta = 33,7 - 3,7 = 30 \text{ мм}.$$

Уширение определяется по формуле Б. П. Бахтинова:

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) = 1,15 \frac{60}{2 \cdot 285} \left( \sqrt{257,5 \cdot 60} - \frac{60}{2 \cdot 0,5} \right) = 16 \text{ мм}.$$

Ширина полосы после прохода будет равна

$$b_1 = b + \Delta b = 285 + 16 = 301 \text{ мм}.$$

Степень заполнения калибра:

$$\theta = \frac{b_1 + b_k}{B_k + b_k} \cdot 100 = \frac{(301 + 285)}{(324 + 285)} \cdot 100 = 96,4\%.$$

что свидетельствует о достаточной точности расчета.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие профили и их предельные размеры входят в состав сортамента блюминга?
2. Каким методом по заданному весу слитка определяются его основные размеры?
3. Какие существуют современные схемы расположения основного оборудования блюминга?
4. Нарисуйте схемы калибровки валков блюминга и перечислите их основные достоинства и недостатки.
5. Как определить оптимальный катающий диаметр валков блюминга?
6. По каким основным данным находят допустимое максимальное обжатие при прокатке слитка, исходя из условий захвата металла валками?
7. Каким методом определяют допустимое максимальное обжатие при прокатке слитка, исходя из условий прочности вала?
8. Каким методом определяется допустимое максимальное обжатие при прокатке слитка с учетом загрузки двигателя?
9. По какой формуле определяется необходимое число проходов при прокатке слитка до требуемого размера?

10. По каким соображениям производится распределение обжатий по проходам при прокатке слитка или кованой заготовки на блюминге?

11. С каким выпуском проектируются прямоугольные калибры блюминга?

12. Какая зависимость между шириной калибра и шириной полосы, выдаваемой из этого калибра?

13. Целесообразно ли иметь выпуклость дна прямоугольного калибра?

14. Как определяется натяжение полосы между клетями непрерывно-заготовочного стана?

15. Как определить по методу А. П. Чекмарева абсолютное обжатие в ящичных калибрах при прокатке блюмов на непрерывно-заготовочных станах?

16. Каким методом определяется скорость валков в предыдущей клетке непрерывно-заготовочного стана?

17. В чем заключается сущность метода И. П. Шулаева для расчета прямоугольных калибров непрерывно-заготовочного стана?

18. Перечислить особенности расчета калибровки валков блюминга и непрерывно-заготовочного стана для прокатки сталей с высоким сопротивлением деформации и имеющих узкий интервал пластичности.

19. Нарисуйте по П. А. Александрову схему напряженного состояния металла при прокатке высоких  $\left[ \frac{H}{D_p} > \sin \alpha (B > l_d) \right]$  и низких полос  $\left[ \frac{H}{D_p} < \sin \alpha (B > l_d) \right]$ .

В обоих случаях объясните поведение металла в очаге деформации.

20. Как влияет число кантовок при прокатке слитка на качество блюмов?

21. Объясните причину образования внутренних надрывов и поверхностных рванин на блюмах.

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить размеры слитка рельсовой стали квадратного сечения весом 7,2 т по следующим данным: удельный вес 7,0 (учитывающий закругления углов слитка), отношение высоты слитка  $H$  к средней стороне поперечного сечения  $a$  равно 3, разность сторон верхнего и нижнего сечений слитка  $b - c = 50$  мм.

Отв. Низ  $725 \times 725$  мм,  
верх  $675 \times 675$  мм,  
 $H = 2100$  мм.

2. Определить число проходов при прокатке блюма сечением  $235 \times 235$  мм из слитка весом 7,2 т с размерами нижнего сече-

ния  $725 \times 725$  мм, верхнего  $675 \times 675$  мм, задавшись средним обжатием  $\Delta h_{\text{ср}} = 70$  мм.

Отв.  $n = 16$ , принимаем 17.

3. Определить размеры слитка квадратного сечения для прокатки блюма  $250 \times 250$  мм за 13 проходов со средним обжатием  $\Delta h_{\text{ср}} = 60$  мм; разница сторон верхнего и нижнего сечений слитка  $c - b = 100$  мм; конусность слитка 3%.

Отв. Верх  $640 \times 640$  мм,  
низ  $540 \times 540$  мм,  
 $H = 1670$  мм.

4. Определить вес слитка, имеющего: верхнее сечение  $640 \times 640$  мм, нижнее  $540 \times 540$  мм, высоту слитка 1670 мм; отношение веса прибыльной части к весу слитка 15%, удельный вес 7,0.

Отв. 4800 кг.

5. Блюм размером  $200 \times 200$  мм катается за 17 проходов из слитка с максимальным сечением  $740 \times 680$  мм. Определить средний коэффициент вытяжки, среднее обжатие за проход и число кантовок.

Отв.  $\mu_p = 1,15$ ,  
 $\Delta h_{\text{ср}} = 69$  мм,  $K = 6$ .

6. Определить из условий захвата металла валками для первого прохода допустимое максимальное обжатие при прокатке слитка сечением  $640 \times 640$  мм на блюминге с номинальным диаметром 1100 мм, исходя из следующих данных: скорость прокатки 1,5 м/сек; износ валков 10%; высота первого калибра 125 мм при зазоре между буртами валков  $\Delta = 15$  мм; материал слитка — малоуглеродистая кипящая сталь.

Отв.  $\Delta h_{\text{макс}} \approx 66$  мм.

7. Произвести проверку мощности двигателя слябинга 1150 (по статическому моменту) при прокатке в первых двух проходах слябов  $200 \times 1500$  мм из слитка  $1600 \times 1000$  мм мягкой углеродистой стали весом 25 т, исходя из следующих условий: номинальная мощность двигателя 10000 л. с.; номинальное число оборотов 50 об/мин; длина дуги очага деформации в первом проходе 107 мм; во втором — 130 мм; диаметр шейки валков 600 мм; давление металла на валки в первом проходе 510 т, во втором 625 т; коэффициент трения для текстолитовых подшипников  $f = 0,006$ ; коэффициент допустимой перегрузки для двигателя  $\lambda = 2,5$ .

Отв.  $M_{\text{ст}} = 286,4$  тм,  
 $M_1 = 58,1$  тм,  $M_2 = 85,6$  тм.  
Двигатель загружен на 29,6%.

8. Определить допустимое обжатие  $\Delta h$  по следующим данным: допустимый момент прокатки  $M_{\text{доп}} = 300$  т; произведение удельного давления на среднюю ширину очага деформации  $pb_c = 7000$ ; катающий диаметр валков блюминга  $D_k = 1130$  мм.

Отв.  $\Delta h = 64$  мм.

9. Определить ширину II ящичного калибра валков блюминга в глубине вреза  $b_k$  и у разъема валков  $B_k$  по следующим данным:

а) прокатка раската производится во II ящичном калибре по следующей схеме:

№ проходов	H	B	$\Delta h$
0	450	740	—
	Кантовка		
1	650	—	90
2	540	—	110
3	450	—	90
4	360	—	90

б) рабочий диаметр валков  $D_k = 960$  мм; коэффициент контактного трения  $f = 0,4$ ; высота II калибра  $h_k = 220$  мм; зазор между буртами  $\Delta = 10$  мм; ширина калибра в глубине вреза на 5 мм меньше минимальной ширины полосы, задаваемой в этот калибр; уширение определяется по формуле Бахтинова.

Отв.  $B_k = 480$  мм,  
 $b_k = 445$  мм.

10. Рассчитать режим обжатий и определить размеры калибров валков двухклетевого блюминга 1200 и 1000 при прокатке за 10 проходов блюмов сечением  $250 \times 250$  мм из слитков углеродистой кипящей стали весом 7,0 т и наибольшим сечением  $700 \times 700$  мм. Предусмотреть прокатку слябов  $120 \times 600$  мм. Привод блюминга 1200 — двигатель 10000 л. с. с числом оборотов 0—40—80 об/мин; привод блюминга 1000, двигатель 8000 л. с. с числом оборотов 0—65—130 об/мин.

Примечание. Строго руководствоваться методикой решения примерной задачи.

11. При калибровке валков блюминга 1150 (рис. 83) прокатать блюм  $200 \times 200$  мм из слитка  $\frac{740 \times 740}{590 \times 590} \times 2050$  мм. Вес слитка 6,35 т; материал слитка сталь 45; режим обжатий рассчитать в двух вариантах — за 17 и 15 проходов; проверить прорабатываемость слитка по П. А. Александрову.

12. Рассчитать калибровку валков блюминга 1150 для прокатки блюмов  $300 \times 300$  мм и слябов  $120 \times 600$  мм, исходя из следующих условий: нижнее сечение  $725 \times 725$  мм, верхнее сечение  $655 \times 655$  мм, длина 2200 мм, вес слитка 7000 кг. Привод блюминга — двигатель 9000 л. с. с числом оборотов  $n = 0—50—150$  об/мин.

13. Определить число оборотов валков первой клетки непрерывно-заготовочного стана 630 и размеры металла после прокатки по следующим данным: размер исходного блюма  $340 \times 320$  мм, ящичный калибр; константа калибровки  $C = 84,25 \times 10^7$ ; обжатие за проход  $\Delta h = 70$  мм, коэффициент трения  $f = 0,5$ ; температура металла  $t = 1100^\circ$ ; катающий диаметр  $D_k = 740$  мм.

Примечание. Площадь блюма определяется по формуле  $F_1 = bh - 0,86 r^2$ ,  $r = 20$  мм — радиус закругления углов калибра.

Отв.  $n_1 = 12,79$  об/мин,  $b_1 = 330,7$  мм,  $h_1 = 270,0$  мм.

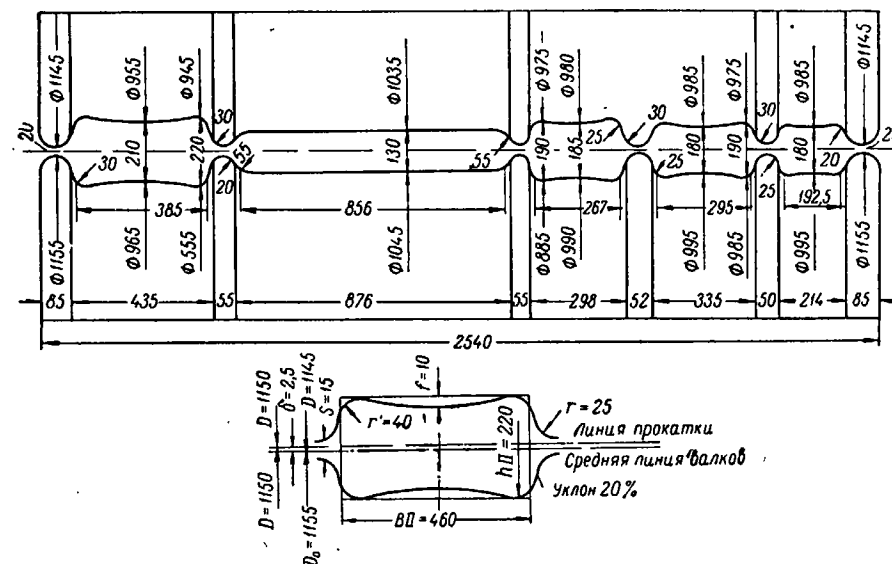


Рис. 83. Калибровка валков блюминга 1150 (к задаче 11)

14. Определить величину натяжения между второй и первой клетями непрерывно-заготовочного стана, если известно: константа калибровки валков первой клетки  $C_1 = 84,25 \cdot 10^7$ , а прокатка металла во второй клетке производится при числе оборотов валков 18,4 об/мин в калибре с катающим диаметром  $D_k = 600$  мм; коэффициент вытяжки в калибре 2-й клетки  $\mu_2 = 1,16$ , а площадь сечения исходного блюма  $F_1 = 88906$  мм<sup>2</sup>.

Отв.  $Q_2 = 0,5\%$ .

15. Определить площадь поперечного сечения и размеры блюма после прокатки в пятой клетке непрерывно-заготовочного стана, если известно: размеры блюма после прокатки в четвер-

той клетки  $H_4 - B_4 = 232,5$  мм; катающий диаметр  $D_5 = 500$  мм; число оборотов валков в пятой клетки 15,8 об/мин; константа калибровки четвертой клетки  $C_4 = 33,65 \cdot 10^7$ ; температура металла  $1100^\circ$ .

Отв.  $F_5 = 42600$  мм<sup>2</sup>,  $h_5 = 179,5$  мм,  $b_5 = 240,5$  мм.

16. Из шестой клетки непрерывно-заготовочного стана 720 выходит полоса квадратного сечения  $120 \times 120$  мм. Определить катающий диаметр квадратного калибра, если константа калибровки  $C_6 = 412 \cdot 10^6$ , а число оборотов валков этой клетки  $n_6 = 45,1$  об/мин.

Отв.  $D_p = 635$  мм.

## ГЛАВА VII

### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ КВАДРАТА, КРУГА, ПОЛОСЫ

К группе простейших профилей относятся те, оси симметрии которых проходят через центр тяжести: квадрат, круг, полоса и др.

По своим размерам простейшие профили можно разделить на следующие группы:

1. Крупносортовые (при стороне квадрата  $a$  или диаметре круга  $d$  более 70 мм).
2. Среднесортные ( $25 < a < 70$  мм).
3. Мелкосортные ( $a < 25$  мм).
4. Проволочные ( $5 < a < 8$  мм).

Вся полосовая сталь делится на эти же группы, считая ее размеры по площади равновеликого квадрата.

Пример. Полоса размером  $100 \times 25$  мм относится к среднесортному профилю, так как ее площадь равна площади квадрата со стороной

$$a = \sqrt{2500} = 50 \text{ мм.}$$

Все простейшие профили прокатываются в соответствии с требованиями существующих ГОСТов для стали:

квадратной — ГОСТ 2591—57, 1133—41, 5650—51, 4693—57;  
круглой — ГОСТ 2590—57, 1133—41, 5650—51;  
полосовой — ГОСТ 103—57, 4405—48.

В пределах указанных выше размеров простейшие профили прокатываются на крупносортовых, среднесортных, мелкосортных и проволочных станах с линейным или непрерывным расположением рабочих клетей.

#### § 1. ПРОКАТКА КВАДРАТНОЙ СТАЛИ

##### Методы построения ромбического ряда

Возможны три случая прокатки в ромбическом калибре. В первом случае (высота предыдущего калибра равна ширине последующего, т. е.  $h_{n-1} = b_n$ ) простор для уширения отсутствует (рис. 84, а, позиция 1) и при прокатке могут образоваться

заусенцы, так как металл потечет в зазор между буртами валков. Во избежание этого делают закругление в вершинах ромбических калибров, обычно при углах  $\alpha \leq 90^\circ$  (рис. 94, а, позиция 2), а иногда, кроме закруглений, еще и развал (рис. 84, а, позиция 3). В результате этого в последующий калибр поступает полоса, ширина сечения которой меньше ширины калибра, что дает место для уширения и предупреждает образование заусенцев.

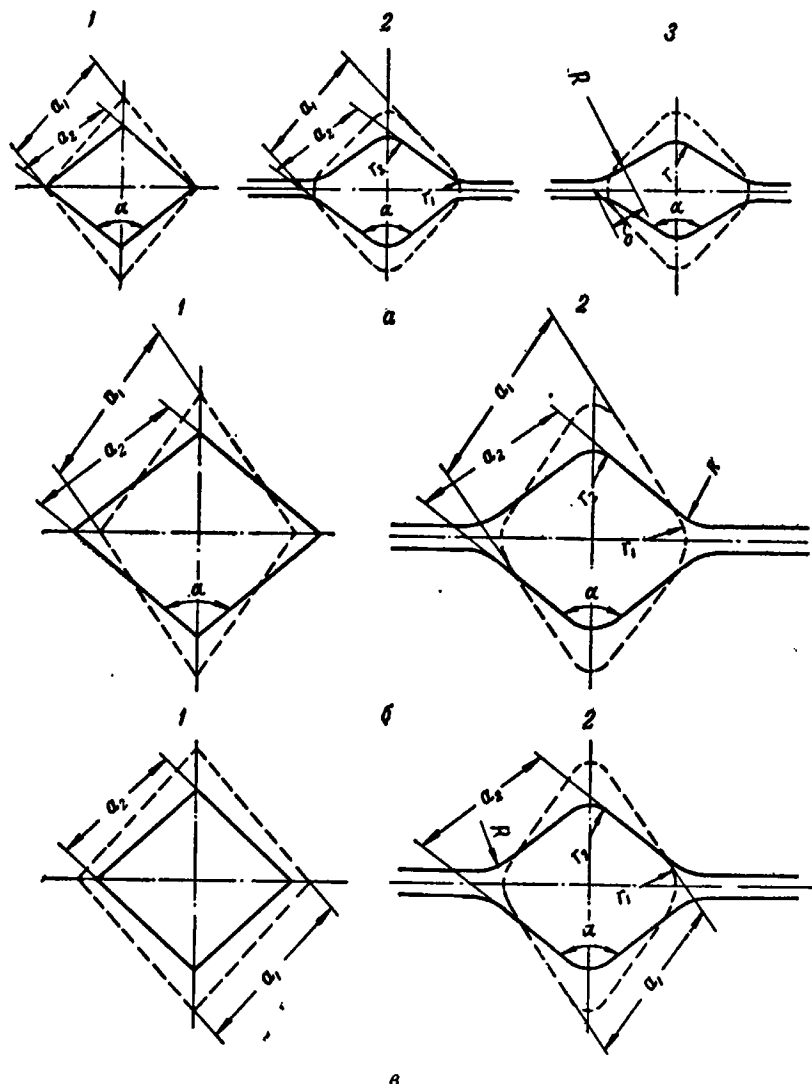


Рис. 84. Ромбические калибры  
а —  $h_{n-1} = h_n$ ; б —  $h_{n-1} < h_n$ ; в —  $h_{n-1} > h_n$

Коэффициент вытяжки для ряда этих калибров будет постоянным и равным

$$\mu = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2};$$

если  $\alpha = 100^\circ$  и  $\beta = 80^\circ$ , то коэффициент вытяжки  $\mu = 1,41$ . При более тупых углах  $\alpha$ , т. е. при  $\alpha > 100^\circ$ , коэффициент вытяжки будет больше.

Во втором случае (высота предыдущего калибра меньше ширины последующего, т. е.  $h_{n-1} < b_n$ ) уже имеется простор на уширение (рис. 84, б, позиция 1) и при применении закруглений в вершинах калибров этот простор увеличивается (рис. 84, б, позиция 2).

Коэффициент вытяжки в этом случае будет равен

$$\mu = \frac{h_{n-1}^2}{b_n^2} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

При условии  $h_{n-1} < b_n$  имеем  $\frac{h_{n-1}^2}{b_n^2} < 1$ , тогда

$$\mu < \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Если  $\alpha = 100^\circ$  и  $\beta = 80^\circ$ , то  $\mu < 1,41$ . Коэффициент вытяжки при такой калибровке чаще всего лежит в пределах  $\mu = 1,2—1,3$ .

В третьем случае (высота предыдущего больше ширины последующего, т. е.  $h_{n-1} > b_n$ ) контур полосы выходит за пределы калибра (рис. 84, в, позиция 1). Чтобы создать необходимый простор для уширения, необходимо делать закругления в вершинах, а также развал у разъема калибров (рис. 84, в, позиция 2). Коэффициент вытяжки в этом случае будет равен

$$\mu = \frac{h_{n-1}^2}{b_n^2} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

При условии  $h_{n-1} > b_n$  имеем  $\frac{h_{n-1}^2}{b_n^2} > 1$ ,

тогда

$$\mu > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Если  $\alpha = 100^\circ$  и  $\beta = 80^\circ$ , то  $\mu > 1,41$ . Ромбические калибры этого ряда строятся с углом при вершине  $\alpha = 94—96^\circ$  и  $\alpha = 97—105^\circ$ .

Система ромб — ромб обычно применяется при прокатке за-

готовки достаточно больших размеров. На практике коэффициенты вытяжки для ряда ромбических калибров равны 1,2—1,6; в черновых калибрах чаще всего принимают  $\mu = 1,25 \div 1,45$ .

### Порядок расчета калибров по системе ромб—ромб

Высота предыдущего калибра равна ширине последующего

1. В соответствии с общей вытяжкой и возможным числом калибров определяют частные вытяжки во всех пропусках (рис. 85). Обычно все частные вытяжки берутся примерно одинаковыми.

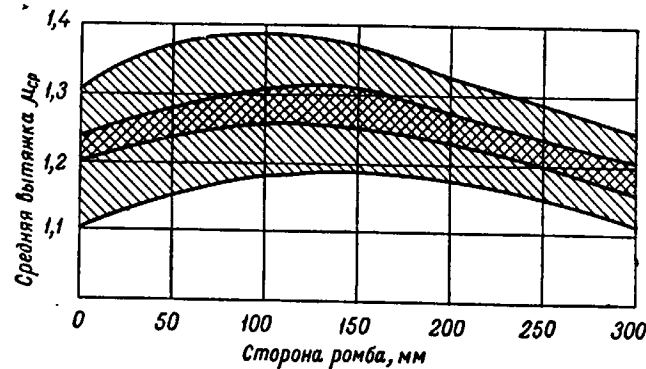


Рис. 85. Зависимость величины средней вытяжки от размеров ромба

2. При расчете калибровки по этой системе ромбы принимаются подобными, т. е. с равными углами при вершинах. Из условия подобия смежных ромбов следует:

$$b_1 = b_2 \sqrt{\mu},$$

$$h_1 = h_2 \sqrt{\mu},$$

$$a_1 = a_2 \sqrt{\mu}.$$

3. Определяются площади каждого калибра:

$$F = 0,5 bh.$$

4. В соответствии с выбранным способом построения калибров определяются ширина и высота каждого калибра для случаев:

$$h_{n-1} = b_n,$$

$$h_{n-1} = \frac{2F}{b_{n-1}}$$

или через угол при вершине  $\alpha$ :

$$h_{n-1} = \frac{b_{n-1}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

По найденным размерам строят калибр (рис. 86). Радиус закругления у вершины ромба принимают равным  $r = 0,18 h$ . Радиус развала  $R = a$  (сторона ромба). Закругление при этом начинается на расстоянии  $\frac{1}{3} a$  от конца горизонтальной диагонали.

Ширину вреза  $b_k$  получают по построению или определяют

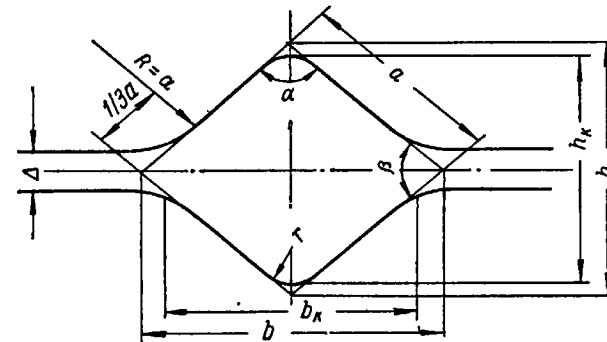


Рис. 86. Построение ромбического калибра

по формуле  $b_k = b(1 - \frac{\Delta}{h})$ . Высоту калибра  $h_k$  с учетом закруглений находят из выражений:

$$h_k = h - 2r \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2} - 1} \right)$$

или

$$h_k = h - 2r \left( \sqrt{1 + \left( \frac{h}{b} \right)^2} - 1 \right).$$

Глубина вреза в один валок определяется по формуле

$$h_p = \frac{h_k - \Delta}{2}.$$

5. Проверяется по чертежу простор для уширения, который должен быть равен или больше уширения  $\Delta b = k \Delta h$  (где  $k = 0,15-0,30$ ). Показатель уширения  $k$  принимается тем меньше, чем меньше угол  $\alpha$  и диаметр валков.

6. Вычисляется зазор между валками:

$$\Delta = (0,01 - 0,02) D_n,$$

где  $D_n$  — номинальный диаметр валков.



Высота предыдущего калибра меньше ширины последующего

Частные вытяжки определяют так же, как это указано для случая  $h_{n-1} = b_n$ . По вытяжкам определяют площади калибров:

$$F_2 = \frac{F_1}{\mu}.$$

Задаются углом при вершине или отношением осей ромба и вычисляют все его размеры, обеспечивая при этом условие

$$\mu < \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Ширину калибра определяют по методу, указанному для первого случая. Радиус закругления у вершины ромба и у разъема равен  $r = R = 0,1 a$  ( $a$  — сторона ромба). Простор для уширения проверяется так же, как и в предыдущем случае.

Высота предыдущего калибра больше ширины последующего.

Калибры рассчитываются аналогично предыдущему методу с соблюдением условия

$$\mu > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Радиус закругления у вершины принимают равным

$$r = (0,3 \div 0,4) h.$$

Развал строят так же, как в первом методе построения калибров; аналогична и проверка простора для уширения.

Пример 1. Рассчитать калибровку валков для прокатки по схеме ромб — ромб заготовки сечением  $60 \times 60$  мм из заготовки сечением  $120 \times 120$  мм. Диаметр валков  $D_n = 500$  мм. Расчет производится против хода прокатки [25].

Решение.

1. Определяем суммарную вытяжку:

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{F_0}{F_k} = \frac{120 \times 120}{60 \times 60} = 4.$$

2. Задаемся средним коэффициентом вытяжки  $\mu_{\text{ср}} = 1,26$ .

3. Подсчитываем общее число проходов:

$$n = \frac{\lg \mu_{\text{общ}}}{\lg \mu_{\text{ср}}} = \frac{\lg 4}{\lg 1,26} = 6.$$

4. Принимаем (условно), что шестой калибр — квадрат, тогда

$$b_6 = h_6 = 60 \cdot 1,41 = 84,6 \text{ мм.}$$

5. Калибровку строим по первому методу, когда

$$h_{n-1} = b_n.$$

6. Определяем площадь пятого калибра:

$$F_5 = \mu F_6 = 60 \cdot 60 \cdot 1,26 = 4536 \text{ мм}^2.$$

7. Определяем высоту пятого калибра. Площадь пятого калибра равна

$$F_{n-1} = \frac{b_{n-1} \cdot h_{n-1}}{2}.$$

Ширина пятого калибра выражается через коэффициент вытяжки:

$$b_{n-1} = b_n \sqrt{\mu}$$

или

$$h_{n-1} = h_n \sqrt{\mu} = h_{n-1} \sqrt{1,26} = 1,12 h_{n-1},$$

тогда площадь пятого калибра будет равна

$$F_{n-1} = \frac{1,12 \cdot h_{n-1}^2}{2},$$

откуда высота пятого калибра

$$h_5 = \sqrt{\frac{2F_5}{1,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4536}{1,12}} = \sqrt{8100} = 90 \text{ мм.}$$

Ширина пятого калибра

$$b_5 = h_5 \sqrt{\mu} = 90 \cdot \sqrt{1,26} = 1,12 \cdot 90 = 100,8 \text{ мм.}$$

8. Угол при вершине пятого ромба равен

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\mu} = \sqrt{1,26} = 1,12,$$

$$\alpha = 83^\circ 30'.$$

9. Построение пятого калибра производится по следующим данным: сторона ромба

$$a = \sqrt{\frac{(100,8)^2}{2} + \frac{(90)^2}{2}} = 67,6 \text{ мм;}$$

радиус развала  $R = a = 67,6$  мм;

радиус закруглений у вершины ромба

$$r = 0,18 h_5 = 0,18 \cdot 90 = 16,2 \text{ мм;}$$

высота ромбического калибра с учетом закруглений

$$h_k = h - 2r \left( \sqrt{1 + \left( \frac{h}{b} \right)^2} - 1 \right) = 90 -$$

$$- 2 \cdot 16,2 \left( \sqrt{1 + 0,892^2} - 1 \right) = 79 \text{ мм;}$$

зазор между валками

$$\Delta = 0,015 \cdot 500 = 7,5 \text{ мм.}$$

Таким же образом можно определить размеры других калибров.

Пример 2. Рассчитать ряд ромбических калибров для прокатки блюма  $100 \times 100$  мм до размера  $50 \times 50$  мм. Расчет производится по методу А. П. Виноградова и Г. А. Виноградова. Принимается отношение ширины к высоте ромбического калибра  $\frac{b}{h} = 1,12$ . Расчет производится против хода прокатки.

Дано:  $F = 50 \cdot 50 = 2500 \text{ мм}^2$ .

Решение. Высота VI калибра

$$h_6 = \sqrt{\frac{2F_6}{1,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2500}{1,12}} = 67 \text{ мм.}$$

Ширина VI калибра.

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

Результаты дальнейшего расчета приведены в табл. 26.

Таблица 26

Калибровка ромбических калибров\*

№ калибра	F мм²	h мм	b мм	H-h мм	Δb мм	Исправленные		Угол захвата α град.
						h' мм	b' мм	
VI	2500	71	74	14	3	71	74	16,5
V	3150	74	85	20	4	71	85	20,5
IV	3968	85	94	22	4	81	94	21,5
III	5000	94	107	24	5	89	107	22,5
II	6299	107	118	28	5	102	118	25,5
I	7936	118	135	23	—	113	135	23,5
0	10000	—	—	—	—	—	—	—

\* Коэффициент вытяжки μ принят 1,26.

В VI калибре (см. табл. 26) высота вместо 67 мм принимается 71 мм, так как требуется размер конечного квадрата 50×50 мм. Поэтому в этом калибре полоса пропускается два раза с кантовкой.

Ромб кантуется после каждого прохода таким образом, что величина  $b_1$  обжимается до величины  $h_2$ .

Доказать, что обжатие по высоте равно

$$\Delta h = b_1 - h_2 = b_1 \left( 1 - \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\mu}} \right).$$

Известно, что

$$h_2 = \frac{h_1}{\sqrt{\mu}},$$

$$h_1 = \frac{b_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}},$$

тогда

$$h_2 = \frac{b_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\mu}},$$

$$\Delta h = b_1 - \frac{b_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\mu}} = b_1 \left( 1 - \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\mu}} \right).$$

## Расчет калибров по системе ромб—квадрат

### Распределение вытяжек между ромбом и квадратом и определение размеров ромбического калибра

Распределение вытяжек между ромбом и квадратом производится по Б. П. Бахтинову и М. М. Штернову. Рекомендуемые вытяжки показаны на рис. 87; наиболее употребительные вытяжки отмечены двойной штриховкой.

Указанными авторами доказано, что площадь промежуточ-

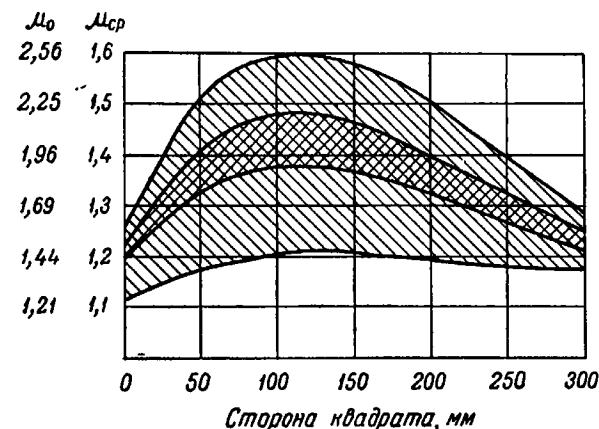


Рис. 87. Зависимость величины средней вытяжки от размеров квадратного профиля

ного ромба между двумя квадратами (исходного и конечного) равна произведению сторон этих квадратов:

$$F_1 = Aa,$$

где  $A$  — сторона исходного квадрата;

$a$  — сторона конечного квадрата;

$F_1$  — площадь промежуточного ромба.

Коэффициенты вытяжки в ромбическом и квадратном калибрах принимаются одинаковыми.

Высота ромбического калибра определяется по полуэмпирической формуле

$$h = (1,3 \div 1,38) a - \frac{A-a}{2A} \left( \sqrt{R(A-a)} - \frac{A-a}{2f} \right). \quad (10)^*$$

\* Для квадратов от 30×30 до 140×140 мм диагонали ромбических калибров можно определить по эмпирическим формулам:  $h = 1,8 a - 0,39 A$ ,  $b = 1,95 A - 0,54 a$ .

$$b = \frac{2F}{h}.$$
$$b = 1,41A + \Delta b_{\text{ромб}},$$

$$h = 1,41a - \Delta b_{\text{квадр.}}$$
$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right).$$

**Решение.**

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{150 \cdot 150}{120 \cdot 120} = 1,56.$$
$$\mu_{cp} = \sqrt{1,56} = 1,26.$$

3. Площадь ромбического калибра

$$F_{\text{проб}} = Aa = 150 \cdot 120 = 18\,000 \text{ мм}^2.$$

$$b = 150 \cdot 1.41 = 212 \text{ мм.}$$

5. Катающий радиус равен

$$R_K = \frac{D_K}{2} = \frac{1}{2} \left( D_H - \frac{F}{b} \right) = \frac{1}{2} \left( 850 - \frac{18\,000}{230} \right) = 390 \text{ мм.}$$

$$f = k_1 k_2 k_3 \cdot (1,05 - 0,0005t) = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \times \\ \times (1,05 - 0,0005 \cdot 1100) = 0,45.$$
$$h_{\text{ромб}} = 1,37a - \frac{A-a}{2A} \left( \sqrt{R(A-a)} - \frac{A-a}{2f} \right) = 1,37 \cdot 120 - \\ - \frac{150-120}{2 \cdot 150} \cdot \left( \sqrt{390(150-120)} - \frac{150-120}{2 \cdot 0,45} \right) = 157 \text{ мм.}$$
$$b_{\text{ромб}} = \frac{2F}{h} = \frac{2 \cdot 18000}{157} = 229 \text{ мм.}$$
$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{h}{b} = \frac{157}{229} = 0,686;$$

$$\beta = 68^{\circ}54';$$

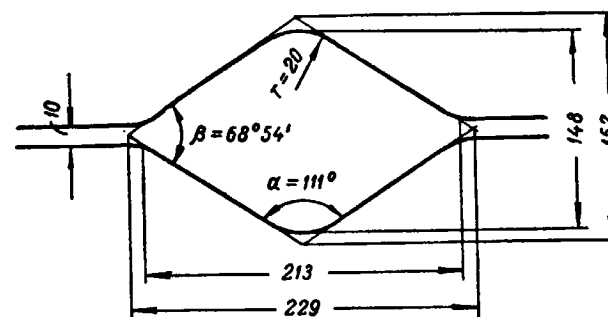
$$b_K = b \left( 1 - \frac{\Delta}{h} \right) = 229 \frac{(1-10)}{157} = 213 \text{ } \mu\text{m}.$$
$$\Delta = 0,012 D_H = 0,012 \cdot 850 = 10 \text{ мм.}$$


Рис. 88. Ромбический калибр для прокатки квадрата 120 мм из квадрата 150 мм

В ромбический калибр задается квадрат 150 мм, у которого  $r = 20$  мм.  
Высота ромбического калибра с учетом закруглений

$$h_K = h - 2r \left( \sqrt{1 + \left( \frac{h}{b} \right)^2} - 1 \right) = 157 - 2 \cdot 20 \times \\ \times \left( \sqrt{1 + (0,686)^2} - 1 \right) = 148 \text{ мм.}$$

### Глубина ручья

$$h_p = \frac{h_k - A}{2} = \frac{148 - 10}{2} = 69 \text{ мм.}$$

Размеры ромбического калибра, полученные расчетом, используются при составлении чертежа данного калибра (рис. 88).

Общий порядок расчета размеров калибров по системе ромб — квадрат

1. Расчет ведут по ходу или против хода прокатки.
2. Первоначально определяют общую вытяжку.
3. Задаются средним коэффициентом вытяжки.

4. Распределяют общую вытяжку по проходам, причем вытяжки в каждой паре калибров от квадрата к квадрату устанавливают на основании графика (см. рис. 87). Вытяжку в ромбических и квадратных калибрах принимают одинаковой.

5. Определяют площади калибров и размеры калибров.

При определении размеров калибров рекомендуется пользоваться следующими эмпирическими формулами:

А. Высота предыдущего калибра равна ширине последующего:

1. Радиус закруглений у вершины ромба принимают равным

$$r_p = (0,20 \div 0,30) a,$$

а радиус закругления у вершины квадрата  $r_{кв} = (0,15 - 0,20) a$ .

2. Высота квадратного калибра с учетом радиуса закругления

$$h_{кв} = h = 0,83r.$$

3. Радиус закругления буртов у разъема калибров

$$R = (0,2 - 0,5) b,$$

где  $b$  — ширина ромба или квадрата.

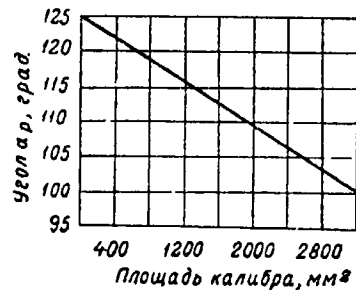


Рис. 89. Определение тупого угла ромба в зависимости от площади калибра

После построения калибра проверяют простор на уширение по ранее разобранному методу.

Б. Высота предыдущего калибра меньше ширины последующего.

1. Зная вытяжку и площадь калибра, задаются углом  $\alpha$  у вершины ромбического калибра, используя при этом диаграмму для определения тупого угла в зависимости от площади калибра (рис. 89) и следующую зависимость угла  $\alpha$  у вершины предчистового ромба от размера квадратной стали:

Сторона квадрата, мм	8	9—10	10—14	14—22	22—30	30—50	50—150
$\alpha$ , град.	120	68	116	114	112	110	110—105

2. Ширина ромба  $b_p = \sqrt{2F \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$ .

3. Высота ромба  $h_p = \frac{b_p}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$  или  $h = \frac{2F}{b}$ .

4. Высота квадрата  $h_{кв} = 1,41 a$ .

В этом случае необходимо соблюдать условие  $\mu < \operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2}$ .

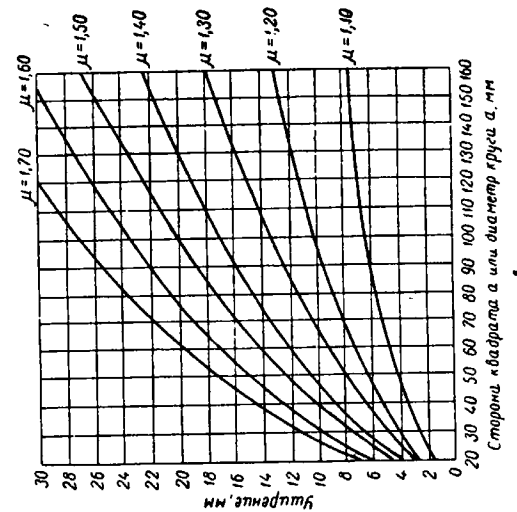
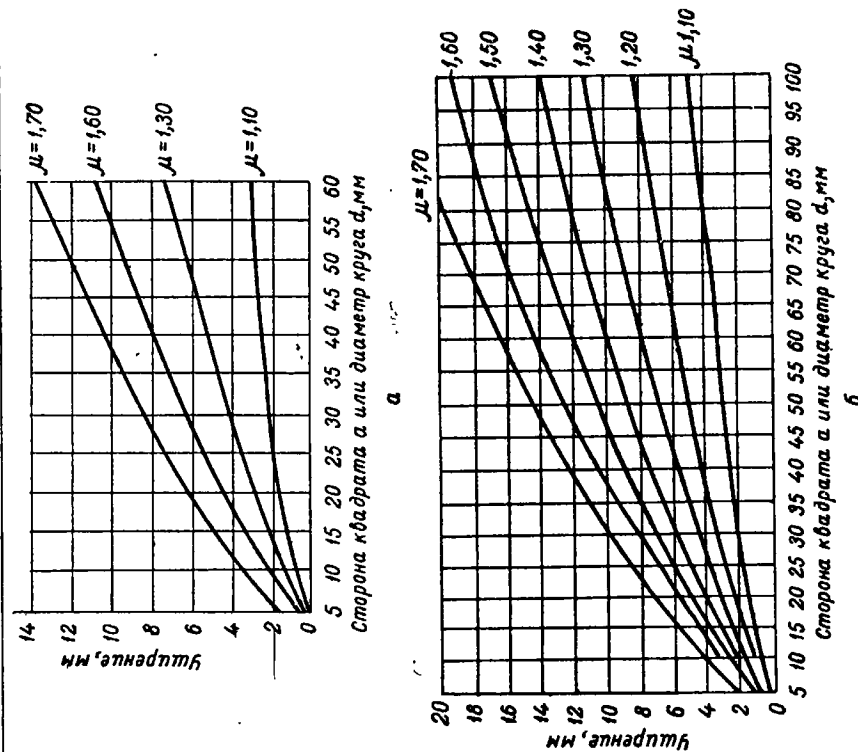


Рис. 90. Зависимость уширения от стороны квадрата или диаметра круга:  
 $\alpha$  — диаметр валков  $D = 250$  мм;  $\delta$  —  $D = 500$  мм



Угол при вершине принимают  $\alpha_p = 100\text{—}125^\circ$  и радиус закругления у вершины ромба и квадрата принимают равным

$$r = (0,1 + 0,2) a,$$

где  $a$  — сторона квадрата или ромба.

5. Проверяют простор для уширения, пользуясь номграммами (рис. 90), составленными А. П. Чекмаревым.

По данным Н. В. Литовченко, формулой Б. П. Бахтинова для определения уширения в ромбических и квадратных калибрах пользоваться не рекомендуется, так как в этих калибрах металл деформируется по ширине полосы неравномерно.

### Прокатка квадратной стали с острыми углами

Для получения квадратной стали с острыми углами угол у вершины предчистового ромба заостряют до  $90^\circ$  (рис. 91). Отрезки  $C$ , образующие прямой угол у вершины ромба, принимают равными  $(0,25\text{—}0,35) a$ .

Отрезки  $C$  пересекают стороны ромба на расстоянии  $m$  от вертикальной оси ромба:

$$m = 0,7C.$$

Высота предчистового ромба с прямым углом у вершины равна

$$h = \frac{b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + \left( 0,7C - \frac{m}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right).$$

Высоту ромба проверяют по уширению в чистовом калибре

$$h = b - \Delta b,$$

где  $h$  — высота предчистового ромба;

$b$  — ширина чистового квадрата;

$\Delta b$  — уширение в чистовом квадрате.

Уширение в чистовом квадрате принимают равным 20—30% от осевого обжатия.

Черновой ромб и черновой квадрат строят по методу: высота предыдущего калибра меньше ширины последующего.

Для квадратов, сторона которых больше 30 мм, в качестве предчистовых можно использовать обычные ромбы. Иногда, учитывая неравномерный износ квадратного калибра, угол при вершине рассчитывают равным  $91^\circ$ . При такой конструкции калибра  $h = 1,40 a$ ,  $b = 1,43 a$ .

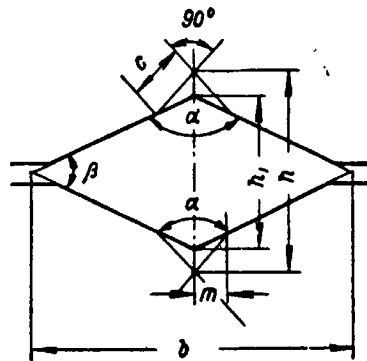


Рис. 91. Предчистовой калибр

### Калибровка валков по системе овал—квадрат

Система калибровки овал—квадрат используется при калибровке валков обжимных и черновых клетей для прокатки квадратной и круглой стали. По сравнению с другими вытяжными системами система овал—квадрат обладает существенными преимуществами.

1. Она допускает прокатку с большими вытяжками (в овале до 2,0; в квадрате до 1,8).

2. Применение овальных калибров обеспечивает систематическое обновление углов прокатываемой полосы (рис. 92).

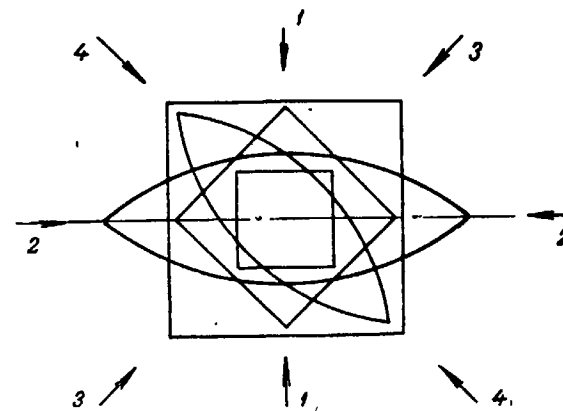


Рис. 92. Схема изменения направления обжатий при прокатке по системе овал—квадрат (цифры показывают последовательность обжатий)

3. Оказывает благоприятное действие на структуру прокатываемого металла и повышает его качество, так как полоса обжимается не в двух направлениях, а в четырех.

4. Устойчивое положение овала в квадратном калибре и квадрата в овальном позволяет сравнительно легко и быстро устанавливать проводки.

5. Незначительный врез овальных калибров в валки.

6. Из одного исходного профиля можно получить различные конечные сечения путем увеличения или уменьшения зазора между валками.

Однако система овал—квадрат имеет следующие недостатки.

1. Быстрый износ валков, увеличенный расход энергии на перемещение металла в поперечном направлении и появление внутренних напряжений в металле.

2. Не обеспечивает получение точного квадрата с прямым углом. Для получения квадрата с прямым углом используется смешанная калибровка квадрат—овал—ромб—квадрат.

Прокатка стали на валках с калибровкой по системе овал — квадрат на большинстве заводов производится с обжатиями, не превышающими данных, указанных в табл. 27.

Таблица 27

Обжатия при калибровке валков по системе овал—квадрат

Сталь	Сторона квадрата мм	Обжатие по площади, %	
		от квадрата к овалу	от овала к квадрату
Среднеуглеродистая . . . . .	5÷50	33—38	До 15
Специальная средней твердости . . . .	5÷50	35—44,5	» 20
Малоуглеродистая . . . . .	5÷80	22—55	15÷30

Порядок расчета. 1. Расчет калибровки производится против хода прокатки.

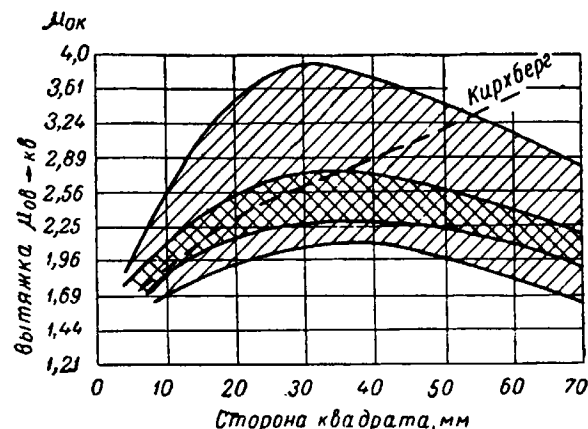


Рис. 93. Определение общей вытяжки в квадратном и овальном калибрах

2. Определяются размеры чистового квадрата в горячем состоянии:

$$a_r = a_x(1 + \alpha t),$$

где  $(1 + \alpha t)$  в зависимости от температуры имеет следующие значения:

$t^\circ$	$(1 + \alpha t)$
800	1,010
900	1,011
1000	1,012
1100	1,013
1200	1,0145

3. По диаграмме (рис. 93) определяется общая вытяжка в квадратном и следующим за ним овальном калибрах.

4. Соотношение между вытяжками в овале и квадрате определяется по графику (рис. 94).

5. Коэффициент вытяжки в овале определяют по формуле

$$\mu_{ов} = \sqrt{\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кв}}} \mu_{кв},$$

где

$$\mu_{о.к} = \mu_{ов} \cdot \mu_{кв} = \mu_{об},$$

или

$$\mu_{кв} = \frac{\mu_{кв}}{\mu_{ов}} \mu_{о.к}.$$

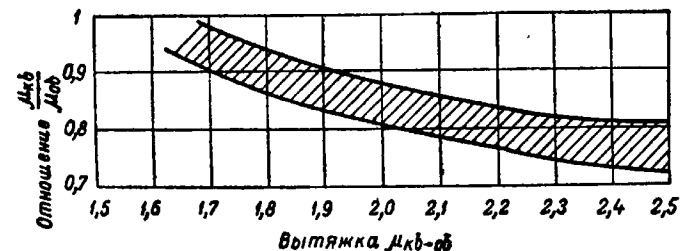


Рис. 94. Соотношение между коэффициентами вытяжки в квадратном и овальном калибрах (по П. И. Полу-хину)

6. Если дана общая вытяжка  $\mu_{общ}$  и средняя вытяжка, то определяют число проходов по известному уравнению

$$n = \frac{\lg \mu_{общ}}{\lg \mu_{ср}}.$$

7. Вычисляют толщину овала по эмпирической формуле

$$h_{ов} = a - 5(\mu_{кв} - 1),$$

где  $a$  — сторона ближайшего меньшего квадрата;

$\mu_{кв}$  — вытяжка в ближайшем меньшем квадрате,

или по полуэмпирической формуле Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова

$$h_{ов} = (1,05 - 1,1)a - \frac{A-a}{2A} \left( \sqrt{R(A-a)} - \frac{A-a}{2f} \right).$$

8. По отношению  $\frac{F_{ов}}{h_{ов}^2}$  (табл. 28) находят все остальные размеры овального калибра.

Таблица 29

Данные к вычислению овальных калибров

$b/h$	$F/h^2$	$r/h$	$b/h$	$F/h^2$	$r/h$	$b/h$	$F/h^2$	$r/h$
1,10	0,843	0,5525	1,90	1,334	1,1525	2,70	1,848	2,0725
1,12	0,855	0,5636	1,92	1,347	1,1716	2,72	1,861	2,0996
1,14	0,867	0,5749	1,94	1,360	1,1909	2,74	1,874	2,1269
1,16	0,878	0,5864	1,96	1,372	1,2104	2,76	1,888	2,1544
1,18	0,890	0,5981	1,98	1,385	1,2301	2,78	1,900	2,1821
1,20	0,902	0,6100	2,00	1,398	1,2500	2,80	1,913	2,2100
1,22	0,914	0,6221	2,02	1,411	1,2701	2,82	1,927	2,2381
1,24	0,926	0,6344	2,04	1,423	1,2904	2,84	1,940	2,2664
1,26	0,938	0,6466	2,06	1,436	1,3109	2,86	1,953	2,2949
1,28	0,950	0,6596	2,08	1,449	1,3316	2,88	1,966	2,3236
1,30	0,962	0,6725	2,10	1,462	1,3526	2,90	1,979	2,3525
1,32	0,974	0,6856	2,12	1,474	1,3736	2,92	1,992	2,3816
1,34	0,986	0,6989	2,14	1,487	1,3949	2,94	2,005	2,4109
1,36	0,998	0,7124	2,16	1,500	1,4164	2,96	2,018	2,4404
1,38	0,010	0,7261	2,18	1,513	1,4381	2,98	2,031	2,4701
1,40	1,023	0,7400	2,20	1,526	1,4600	3,00	2,044	2,5000
1,42	1,035	0,7541	2,22	1,538	1,4821	3,02	2,057	2,5301
1,44	1,047	0,7684	2,24	1,551	1,5044	3,04	2,070	2,5604
1,46	1,059	0,7829	2,26	1,564	1,5269	3,06	2,083	2,5909
1,48	1,071	0,7976	2,28	1,577	1,5496	3,08	2,096	2,6216
1,50	1,084	0,8125	2,30	1,590	1,5725	3,10	2,109	2,6525
1,52	1,096	0,8276	2,32	1,602	1,5956	3,12	2,122	2,6836
1,54	1,108	0,8429	2,34	1,615	1,6189	3,14	2,135	2,7149
1,56	1,121	0,8584	2,36	1,628	1,6424	3,16	2,148	2,7464
1,58	1,133	0,8741	2,38	1,641	1,6661	3,18	2,161	2,7781
1,60	1,146	0,8900	2,40	1,654	1,6900	3,20	2,175	2,8100
1,62	1,158	0,9061	2,42	1,667	1,7141	3,22	2,188	2,8421
1,64	1,171	0,9224	2,44	1,680	1,7384	3,24	2,201	2,8744
1,66	1,183	0,9389	2,46	1,693	1,7629	3,26	2,214	2,9069
1,68	1,196	0,9656	2,48	1,780	1,7876	3,28	2,227	2,9396
1,70	1,208	0,9725	2,50	1,719	1,8125	3,30	2,240	2,9725
1,72	1,221	0,9896	2,52	1,732	1,8376	3,32	2,253	3,0056
1,74	1,233	1,0069	2,54	1,745	1,8629	3,34	2,266	3,0389
1,76	1,246	1,0244	2,56	1,758	1,8884	3,36	2,279	3,0721
1,78	1,258	1,0421	2,58	1,770	1,9141	3,38	2,292	3,1061
1,80	1,271	1,0600	2,60	1,784	1,9400	3,40	2,306	3,1400
1,82	1,284	1,0781	2,62	1,797	1,9661	3,42	2,319	3,1741
1,84	1,296	1,0964	2,64	1,809	1,9924	3,44	2,332	3,2084
1,86	1,309	1,1149	2,66	1,822	2,0189	3,46	2,345	3,2426
1,88	1,322	1,1336	2,68	1,835	2,0456	3,48	2,358	3,2776
						3,50	2,371	3,3125

Пример. Рассчитать калибровку для прокатки квадрата 10 мм. Валки чугунные. Скорость прокатки 4,4 м/сек,  $D_k = 300$  мм.

1. Размеры квадрата в горячем состоянии

$$a_T = 10 \cdot 1,011 = 10,11 \text{ мм.}$$

2. По диаграмме (см. рис. 93)

$$\mu_{\text{кв}} \mu_{\text{ов}} = \mu_{\text{ов}} = 2,1.$$

3. По диаграмме (см. рис. 94)

$$\frac{\mu_{\text{кв}}}{\mu_{\text{ов}}} = 0,82.$$

4. Коэффициент вытяжки в квадратном чистовом калибре \*

$$\mu_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{кв}}}{\mu_{\text{ов}}} \cdot \mu_{\text{о.к}}} = \sqrt{0,82 \cdot 2,1} = 1,31,$$

$$\mu_{\text{ов}} = \frac{2,1}{1,31} = 1,6.$$

5. Площадь чистового квадрата

$$F_{\text{ов}} = 10,11^2 = 102,2 \text{ мм}^2,$$

площадь овала

$$F_{\text{ов}} = \mu_{\text{кв}} F_{\text{кв}} = 1,31 \cdot 102,2 = 133,9 \text{ мм}^2.$$

6. Высота овала

$$h_{\text{ов}} = a - 5(\mu_{\text{кв}} - 1) = 10,11 - 5(1,31 - 1) = 8,56 \text{ мм}^2 = 8,6 \text{ мм.}$$

7. Отношение

$$\frac{F_{\text{ов}}}{h^2} = \frac{133,9}{73,96} = 1,81.$$

8. Из табл. 28 по отношению  $\frac{F_{\text{ов}}}{h^2}$  определяем размеры овала:

$$\frac{b}{h} = 2,64 \text{ или } b = 2,64h = 2,64 \cdot 8,6 = 22,6 \text{ мм;}$$

$$\frac{r}{h} = 1,9924 \text{ или } r = 1,9924h = 1,9924 \cdot 8,6 = 17,1 \text{ мм.}$$

9. Зная коэффициент вытяжки в овале  $\mu_{\text{ов}} = 1,6$  и площадь овала  $F_{\text{ов}} = 133,9 \text{ мм}^2$ , определяем площадь задаваемого в овал квадрата

$$F_{\text{кв}} = \mu_{\text{ов}} F_{\text{ов}} = 133,9 \cdot 1,6 = 214,2 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата

$$a = \sqrt{214,2} = 14,6 \text{ мм.}$$

10. Задавая коэффициент вытяжки  $\mu_{\text{ов}}$  по диаграмме (см. рис. 93,94), определяем размеры овала следующего за этим квадратом, принимая  $a = 15 \text{ мм.}$

Калибровка валков для прокатки квадратной стали на непрерывных станах производится тем же методом, что и на линейных станах, но все требуемые расчеты должны учитывать константу калибровки ( $C = FD_k n$ ).

\* Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов для выбора коэффициента вытяжки в чистовом квадратном калибре рекомендуют пользоваться номограммой (см. рис. 87, 6).

# ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить коэффициент вытяжки для ряда ромбических калибров, у которых  $h_{n-1} = b_n$ , если угол при вершине ромба  $\alpha = 106^\circ$ .

Отв.  $\mu = 1,761$ .

2. Определить размеры предчистового ромбического калибра, если известно, что при задаче полосы в чистовой квадратный калибр получается квадрат  $60 \times 60$  мм. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $\mu = 1,26$  и калибровка строится по правилу  $h_{n-1} = b_n$ .

Отв.  $h_p = 90$  мм,  $b_p = 100,8$  мм.

3. Два смежных ромбических калибра характеризуются следующими данными: ромбические калибры построены по правилу  $h_{n-1} < b_n$ ; углы при вершинах ромбов  $\alpha = 100^\circ$ ; коэффициент вытяжки при прокатке  $\mu = 1,26$ , вертикальная диагональ предыдущего ромба  $h_{n-1} = 80$  мм. Определить горизонтальную диагональ последующего ромба  $b_n$ .

Отв.  $b_n = 85,2$  мм.

4. Дано: два смежных ромбических калибра, рассчитанных по правилу  $b_{n-1} = b_n$ ; горизонтальная диагональ первого калибра  $b_1 = 95$  мм, вертикальная диагональ того же калибра  $h_1 = 80$  мм.

Определить диагонали второго ромбического калибра  $h_2$ ,  $b_2$  и угол при вершине  $\alpha$ , если прокатка в нем производится с коэффициентом вытяжки  $\mu = 1,41$ .

Отв.  $b_2 = 80$  мм,  $h_2 = 67,36$  мм,  $\alpha = 99^\circ 44'$ .

5. Определить необходимые размеры для построения ромбического калибра, если дано: площадь ромба  $F_p = 6299$  мм<sup>2</sup>; вертикальная диагональ  $h = 107$  мм; зазор между буртами  $\Delta = 6$  мм.

Отв.  $b_p = 117,73$  мм,  $R = 79,6$  мм,  $\alpha = 95^\circ 40'$ ,  
 $h_k = 93,4$  мм,  $r = 19,3$  мм,  
 $h_p = 43,7$  мм,  $a = 79,6$  мм.

6. Ромб кантуется при прокатке таким образом, что величина  $b_1$  (горизонтальная диагональ предыдущего калибра) обжимается до величины  $h_2$  (вертикальная диагональ последующего калибра). Определить линейное обжатие  $\Delta h$ , если  $b_1 = 110$  мм, угол при вершине  $\alpha = 100^\circ$  и коэффициент вытяжки  $\mu = 1,26$ .

Отв.  $\Delta h = 27,9$  мм.

7. Рассчитать калибровку валков для прокатки квадрата 85 мм из исходного квадрата 140 мм. Начальный диаметр валков  $D_n = 480$  мм; коэффициент трения  $f = 0,4$ .

Отв. Данные расчеты калибровки валков прокатки квадрата 85 мм.

№ прохода	Форма калибра	$\mu$	$F$	$A$	$a$	$h$	$b$	$\Delta h$	$\Delta b$
0	Исходный квадрат		20164	142	—	200	200	—	—
1	Ромб	1,183	17135	—	—	161	212	39	12
2	Квадрат	1,183	14484	—	120,3	170	170	42	9
3	Ромб	1,183	12224	—	—	136	180	34	10
4	Квадрат	1,183	10350	—	101,7	143,4	143,4	36,6	7,4
5	Ромб	1,183	8749	—	—	115	152	28,4	8,6
6	Квадрат	1,183	7396	—	86	121,3	122	30,7	7,0

8. Определить высоту ромбического калибра, если сторона исходного квадрата  $A = 142$  мм; сторона конечного квадрата  $a = 120$  мм; катающий диаметр  $D_k = 580$  мм; коэффициент трения  $f = 0,4$ .

Отв.  $h_p = 158$  мм.

9. Дано: площадь ромба  $F = 12\,224$  мм<sup>2</sup>; высота его  $h = 136$  мм. Определить горизонтальную диагональ ромба.

Отв.  $b = 179,7$  мм.

10. Определить ширину вреза ромбического калибра, если горизонтальная диагональ ромба  $b_p = 180$  мм; вертикальная  $h_p = 136$  мм и зазор между буртами  $\Delta = 6$  мм.

Отв.  $b_k = 172$  мм.

11. Определить высоту ромбического калибра с учетом закруглений, если дано:  $h_p = 115$  мм;  $b_p = 152$  мм; радиус закруглений у вершины ромба  $r = 15$  мм.

Отв.  $h = 107,5$  мм.

12. Дано:  $b_p = 152$  мм;  $\alpha_p = 105^\circ 40'$ ;  $a = 95,3$  мм;  $C = 24$  мм. Определить высоту предчистового ромба с прямым углом у вершины.

Отв.  $h_p = 119,3$  мм.

13. Произведение коэффициентов вытяжек в овальном и квадратном калибрах  $\mu_{ов}, \mu_{кв} = 2,4$ ; отношение  $\frac{\mu_{кв}}{\mu_{ов}} = 0,73$ . Опре-



делить для чистового квадрата  $15 \times 15$  мм размеры предчистового овала.

Отв.  $h_{ов} = 13,4$  мм,  $b_{ов} = 21,84$  мм,  $r = 12,2$  мм.

14. Определить размеры предчистового квадрата и размеры слеуемого за ним ромба для прокатки квадрата 20 мм по данным: коэффициент вытяжки в чистовом квадрате  $\mu = 1,11$ ; коэффициент вытяжки в следующем за чистовым квадратом ромбе  $\mu_2 = 1,215$ . Уширение в чистовом квадрате определить по номограмме (см. 90, а, б). Сторону предчистового квадрата определить с учетом закруглений по формуле  $a_3 = \sqrt{1,03 F_3}$ .

Отв.  $a_3 = 22,7$  мм.

## § 2. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ КРУГЛОЙ СТАЛИ

На рис. 95 приведены схемы прокатки круглой стали, получившие наибольшее распространение на практике, особенно две первые из них.

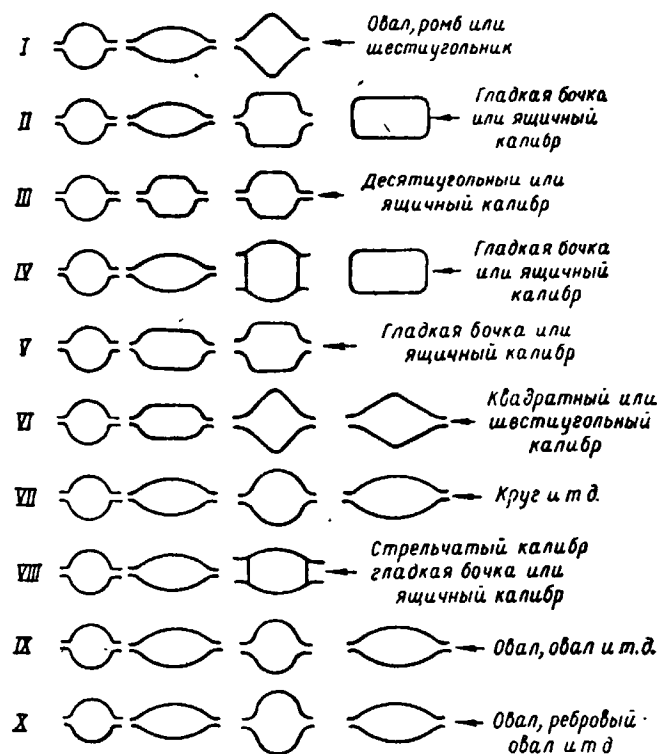


Рис. 95. Схемы прокатки круглой стали

По первой схеме прокатывается круглая сталь диаметром 5—20 мм, по второй — диаметром до 100 мм. Круглую сталь

диаметром свыше 100 мм обычно прокатывают по 3-й схеме на крупносортовых станах.

Допускаемые отклонения от номинальных размеров круглой стали предусматриваются соответствующими ГОСТами: ГОСТ 2590—57, ГОСТ 1133—41, ГОСТ 5650—51. Многочисленность разработанных методов расчета калибровок свидетельствует о том, что теория прокатки не смогла создать точных инженерных расчетов, обеспечивающих получение заданных размеров круглого профиля и высокого качества годной продукции. Почти во всех методах используются эмпирические и полуэмпирические формулы для определения размеров и площадей промежуточных калибров. Мы рассматриваем только два метода расчета калибровки круглой стали, получивших наибольшее распространение в заводской практике: методы Б. П. Бахтинова и А. П. Чекомарева. Простота расчета калибровки по методу А. П. Чекомарева достигается использованием специальных номограмм, составленных автором метода.

## Расчет калибровки валков по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова

### Схема прокатки квадрат — овал — круг

Расчет производится против хода прокатки. Установлена следующая последовательность расчета калибровок:

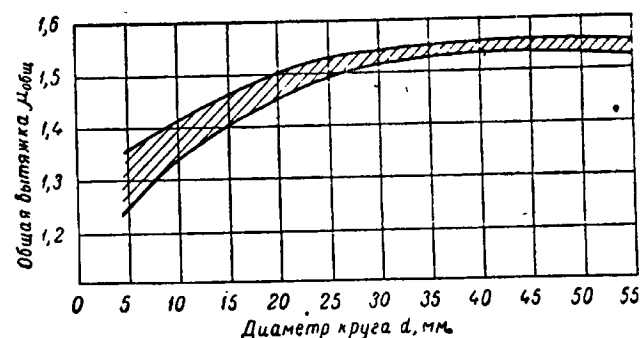


Рис. 96. Зависимость общей вытяжки от размеров круга

1. Вначале определяются размеры круга чистового первого калибра:

$$d_r = (1,012 \div 1,015) d_x.$$

2. Площадь калибра  $F_1 = 0,785 d_r^2$ .

3. По графику (рис. 96) задаются общей вытяжкой  $\mu_{\square}$  от предчистового квадрата к чистовому кругу.

4. Вычисляется площадь предотделочного квадрата:

$$F_3 = \mu_{\square} F_1^*.$$

5. Сторона квадрата

$$a_3 = \sqrt{F_3}.$$

6. Ширина и высота квадрата

$$b_3 - h_3 = 1,41a.$$

7. Радиус закругления в углах квадрата

$$r_3 = 0,2a.$$

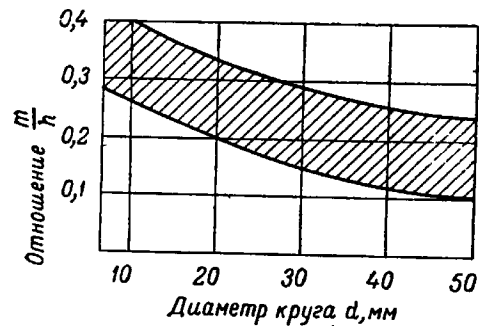


Рис. 97. Определение степени притупления овала

8. Высота квадратного калибра с учетом закруглений

$$h_k = h_3 - 0,83r_3.$$

9. Ширина вреза калибра

$$b_k = b_3 - \Delta,$$

где  $\Delta$  — величина зазора между буртами, равная  $0,008 D_{\text{н}}$ .

10. По графику (рис. 97) задаются значением  $\frac{m}{h}$  в соответствии с диаметром чистового круга, где  $h$  — толщина овала;  $m$  — толщина в углах овала (притупление овала).

11. Определяется отношение вытяжки в овальном калибре к вытяжке в круглом:

$$\frac{\mu_{\text{ов}}}{\mu_{\text{кр}}} = 1,27 - 0,64 \frac{m}{L}.$$

12. После этого определяется площадь овала:

$$F_{2-\text{ов}} = \frac{0,88Ad_p}{\sqrt{\frac{\mu_{\text{ов}}}{\mu_{\text{кр}}}}},$$

где  $A$  — сторона исходного квадрата.

\* Индексы у букв соответствуют номерам калибров, считая против хода прокатки.

13. По графику (рис. 98) задаются отношением высоты овала  $h$  к диаметру чистового круга  $d$ :

$$\frac{h}{d} = C.$$

14. Определяется высота овала:

$$h = cd.$$

15. Рассчитывается ширина овала:

$$b_2 = \frac{3F_{\text{ов}}}{h \left( 2 + \frac{m}{h} \right)}.$$

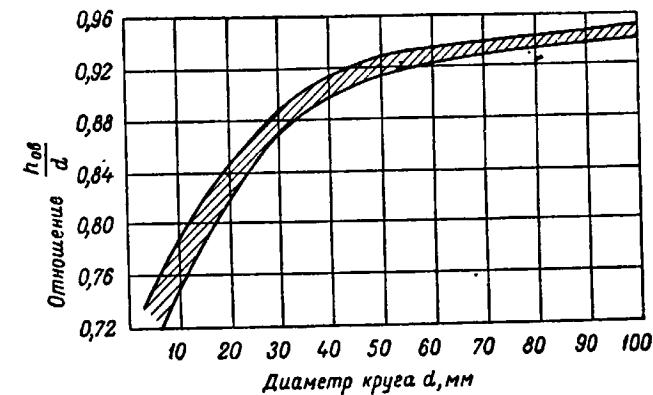


Рис. 98. Зависимость отношения  $\frac{h_{\text{ов}}}{d}$  от диаметра круга  $d$

16. Остальные размеры овального калибра рассчитываются по следующим формулам:

$$m = \frac{m}{h} h, \quad (39)$$

$$R = \frac{b^2 + (h - m)^2}{4(h - m)}, \quad (40)$$

$$b_k = 2 \sqrt{(h - \Delta)R - \left( \frac{h - \Delta}{2} \right)^2}. \quad (41)$$

Схема прокатки полоса—ребровой калибр—овал—круг

При прокатке по этому способу (рис. 99) можно получать до пяти смежных размеров круглой стали из одних и тех же предчистовых калибров. Кроме того, в этих калибрах дости-

гается почти равномерная деформация в ребровом и овальном калибрах, позволяющая одновременно легко удалять окалину с поверхности прокатываемого металла, а также обеспечивать хороший захват полосы валками. По этой схеме рекомендуется прокатывать круг 20—100 мм, главным образом из малопластичных сталей.

В расчете калибровки валков по данной схеме прокатки имеется много общего с разобранным нами ранее расчетом калибровки валков по схеме квадрат—овал—круг:

1. Определяются размеры чистового профиля.

2. По графику (рис. 96) определяется общий коэффициент вытяжки  $\mu_0$  от квадрата (в данном

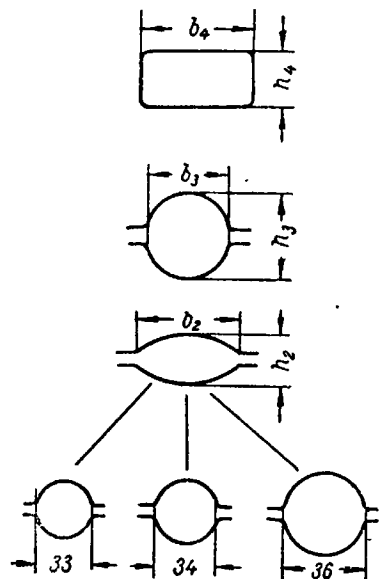


Рис. 99. Прокатка круглого профиля по схеме: полоса — ребровой калибр — овал — круг

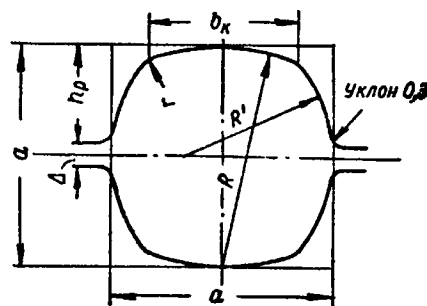


Рис. 100. Обозначения размеров ребрового калибра

случае ребрового калибра) к кругу минимального размера.

3. Вычисляется площадь ребрового калибра:

$$F'_3 = \mu_{\square} F_1.$$

4. Пользуясь обозначениями размеров ребрового калибра (см. рис. 100), определяют данные для его построения.

$$a = 1,1 \sqrt{F'_3},$$

$$R' = a,$$

$$R = 0,6a,$$

$$r = 0,2a,$$

$$h_p = \frac{a - \Delta}{2},$$

где  $\Delta$  — зазор между буртами.

5. Если в задании калибровки указывается несколько размеров круглого профиля, то расчет ребрового калибра производят на самый крупный размер круга.

6. Затем определяется разность площадей ребрового калибра:

$$\Delta F = F'_3 - F'_2.$$

7. Определяется подъем верхнего валка для компенсации величины:

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\Delta F'_3}{b_3},$$

где  $b_3$  — ширина ребрового калибра.

8. Общая величина зазора после подъема верхнего валка

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \frac{\Delta F_3}{b_3}.$$

9. Таким образом, после подъема верхнего валка полоса из ребрового калибра будет иметь размеры

$$h_3 = a + \frac{\Delta F_3}{b_3}; \quad b_3 = a.$$

10. При расчете предчистового овального калибра пользуются известным графиком (см. рис. 97) для определения отношения  $\frac{m}{h}$  и формулой для определения отношения  $\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}} = 1,27 - 0,64 \frac{m}{h}$ .

11. Затем определяется площадь овала:

$$F_{ов} = \sqrt{\frac{F_1 \cdot F_3}{\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}}}}.$$

12. Все размеры овального калибра находятся по ранее рассмотренным нами формулам. Вначале определяются размеры овала для прокатки круга минимального диаметра, а затем — для круга максимального диаметра.

13. Чтобы овальный калибр был одинаково пригоден для прокатки круглой стали всех размеров, радиус для его построения определяется исходя из минимальной высоты овала  $h$ , его притупления  $m = 0,25 h$  и максимально необходимой ширины  $b$ .

14. Ширина вреза овального калибра  $b_k$  определяется ранее указанным методом по формуле (41).

15. Расчет размеров полосы на гладкой бочке производится обычным способом:

а) задаются вытяжкой в ребровом калибре  $\mu = 1,2-1,3$ ;

- б) определяют площадь полосы;  
в) задаются уширением в ребровом калибре  $\Delta b = 2-5$  мм,  
а затем определяют толщину полосы:

$$h = 0,95b_3 - \Delta b_3$$

и ширину полосы:

$$b_4 = \frac{F}{h}$$

16. Производится проверка правильности заданного уширения в ребровом калибре  $\Delta b$  по формулам, рассмотренным ранее, и после этого делается корректировка размеров полосы.

Если по расчету получается, что уширение  $\Delta b < \Delta b_1$ , то высота полосы будет равна

$$h_4 = h'_4 + (\Delta b_1 - \Delta b_2),$$

при  $\Delta b_2 > \Delta b_1$

$$h_4 = h'_4 - (\Delta b_2 - \Delta b_1).$$

Пример. Определить размеры полосы для прокатки круга диаметром 33 мм по системе: полоса — ребровой калибр — овал — круг. Параметры ребрового калибра: площадь  $F_3 = 1340$  мм<sup>2</sup>;  $\mu_3 = 1,25$ ;  $b_3 = 40,2$  мм;  $h_3 = 40,2$  мм. Начальный диаметр валков  $D_H = 320$  мм, коэффициент трения  $f = 0,33$ .

Решение. Площадь полосы  $F_4 = F_3 \mu_3 = 1340 \cdot 1,25 = 1680$  мм<sup>2</sup>.

Задаем уширением в ребровом калибре  $\Delta b_3 = 4,0$  мм, тогда толщина

$$h_4 = 0,95b_3 - \Delta b_3 = 0,95 \cdot 40,2 - 4,0 = 34 \text{ мм.}$$

Ширина полосы

$$b_4 = \frac{F_4}{h_4} = \frac{1680}{34} = 49,5 \text{ мм.}$$

Обжатие в ребровом калибре

$$\Delta h_3 = b_4 - h_3 = 49,5 - 40,2 = 9,3 \text{ мм.}$$

Катающий радиус

$$R = \frac{D_H - h_3}{2} = \frac{320 - 40,2}{2} = 140 \text{ мм.}$$

Величина уширения

$$\Delta b_3 = 1,15 \cdot \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{Ah}{2f} \right) = 1,15 \cdot \frac{9,3}{2 \cdot 49,5} \cdot \left( \sqrt{140 \cdot 9,3} - \frac{9,3}{2 \cdot 0,33} \right) = 2,4$$

(вместо принятых ранее 4 мм).

Окончательные размеры полосы: (рис. 101):

$$h_4 = 34 + (4,0 - 2,4) = 35,6 \text{ мм,}$$

$$b_4 = \frac{F_4}{h_4} = \frac{1680}{35,6} = 47,2 \text{ мм.}$$

Схема прокатки овал — круг

Система вытяжных калибров овал — круг (см. рис. 94, схемы VII и IX) применяется при прокатке металла с пониженными пластическими свойствами. В качестве примера приводится

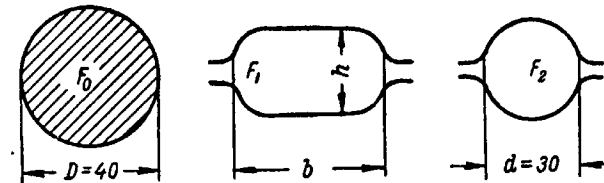


Рис. 102. Предварительная схема калибровки при прокатке по системе овал — круг

расчет калибровки по системе овал — круг по Б. П. Бахтинову и М. М. Штернову.

Пример. Определить размеры промежуточного овала между кругами диаметром 40 и 30 мм; диаметр валков 400 мм; материал валков — чугун. В расчет принимается калибровка по системе овал — круг. Предварительная схема, принятая расчетом, указана на рис. 102.

Решение. 1. Определяется отношение диаметров:

$$\frac{D}{d} = \frac{40}{30} = 1,33.$$

2. Пользуясь номограммой (рис. 103), находим

$$K_{\Delta b} = 1,20.$$

3. Задаваясь отношением  $\frac{h}{b} = 0,5$ , определяем отношение коэффициентов  $\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}}$ :

$$\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}} = \frac{0,6 \cdot K_{\Delta b}}{\left(1 - 0,25 \frac{h}{b}\right)^2} = \frac{0,6 \cdot 1,20}{(1 - 0,215 \cdot 0,5)^2} = 0,9.$$

4. Определяется площадь промежуточного овала:

$$F_{ов} = 0,785 \frac{Dd}{\sqrt{\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}}}} = 0,785 \cdot \frac{40 \cdot 30}{\sqrt{0,9}} = 1000 \text{ мм}^2.$$

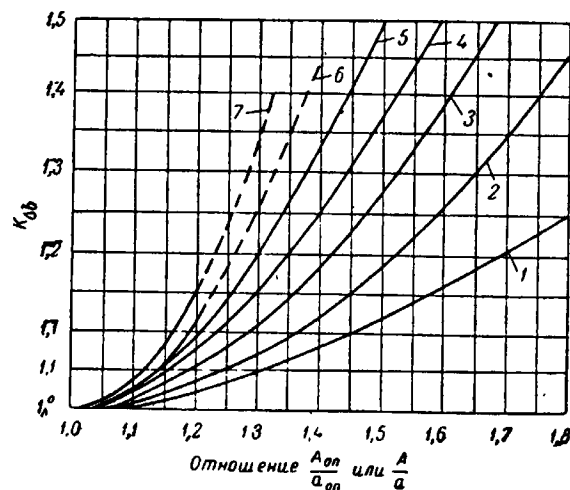


Рис. 103. Зависимость  $k_{\Delta b}$  от средней вытяжки  $\frac{A}{a}$  (система прямоугольных калибров при свободном уширении):

1 —  $A = 120$  мм;  $D = 400$  мм,  $f = 0,5$ ; 2 —  $A = 60$ ,  
 $D = 300$ ,  $f = 0,4$ ; 3 —  $A = 80$ ,  $D = 350$ ,  $f = 0,5$ ; 4 —  
 $A = 30$ ,  $D = 300$ ,  $f = 0,35$ ; 5 —  $A = 20$ ,  $D = 250$ ,  $f =$   
 $= 0,32$ ; 6 —  $A = 15$ ,  $D = 250$ ,  $f = 0,3$ ; 7 —  $A = 10$ ,  
 $D = 250$ ,  $f = 0,28$

5. Определяется высота овала:

$$h = (0,9 \div 0,95)d - \frac{D-d}{2d} \left( \sqrt{R(D-d)} - \frac{D-d}{2f} \right). \quad (42)$$

При катающем диаметре  $R = 185$  мм и температуре металла  $1100^\circ$  коэффициент трения  $f = 0,4$ .

После подстановки их значений в выражение (42) получаем

$$h = 0,95 \cdot 30 - \frac{10}{2 \cdot 40} \left( \sqrt{185 \cdot 10} - \frac{10}{2 \cdot 0,4} \right) = 24,7 \text{ мм.}$$

6. Определяется ширина овала:

$$b = \frac{F}{h} + 0,215h = \frac{1000}{24,7} + 0,215 \cdot 24,7 = 45,3 \text{ мм.}$$

Отношение  $\frac{h}{b} = \frac{24,7}{45,3} = 0,545$ , вместо заданного 0,5. Пересчета можно не делать.

Производим расчет промежуточного овала, имеющего форму эллипса.

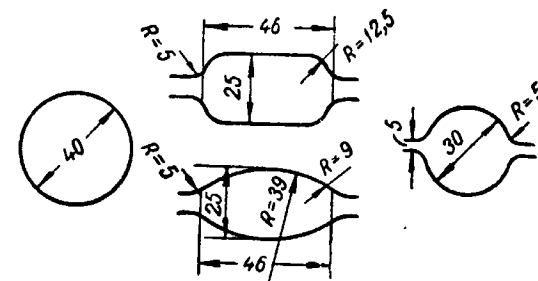


Рис. 104. Размеры калибров системы овал — круг (два варианта)

7. Определяем отношение вытяжек:

$$\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}} = 0,96; \quad K_{\Delta b} = 0,96 \cdot 1,2 = 1,15.$$

8. Площадь овала

$$F_{ов} = 0,785 \cdot \frac{Dd}{\sqrt{\frac{\mu_{ов}}{\mu_{кр}}}} = 0,785 \cdot \frac{40 \cdot 30}{1,15} = 880 \text{ мм}^2.$$

9. Высота калибра остается равной  $h = 24,7$  мм.

10. Определяется ширина овала (эллипса):

$$b = 1,27 \frac{F}{h} = 1,27 \cdot \frac{880}{24,7} = 45,2 \text{ мм.}$$

Окончательный чертеж калибра показан на рис. 104. Эллипс строится при помощи лекала или одним из упрощенных способов с помощью циркуля.

## Калибровка валков для прокатки круглой стали диаметром более 100 мм

Прокатка круглой стали диаметром 120—150 мм и более производится по третьей схеме, показанной на рис. 95.

Переход от прямоугольного сечения к круглому осуществляется через два или три промежуточных многоугольника. На рис. 105 показан предчистовой калибр, представляющий собой

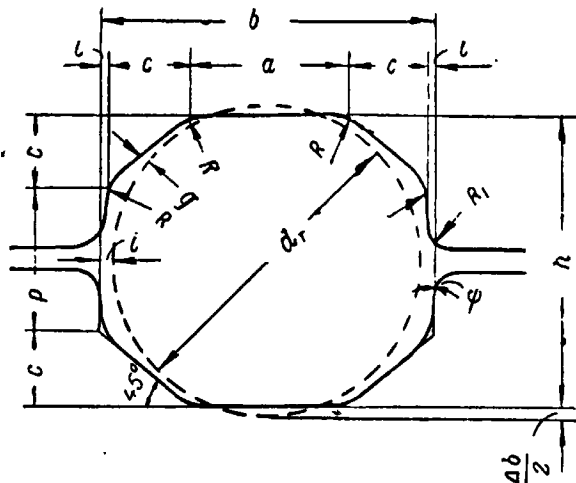


Рис. 105. Предчистовой калибр (неправильный десятиугольник)

неправильный десятиугольник, предназначенный для прокатки круглой стали на крупносортом стане. Пунктиром показан профиль круглой стали, получаемый в следующем проходе. В основу построения такого предчистового калибра Б. П. Бахтиновым и М. М. Штерновым положено следующее:

1. Высота предчистового калибра  $h < d_r$  на величину уширения, которое в зависимости от размеров профиля величины обжатия и марки стали колеблется в пределах от 3 до 10 мм.

Обычно уширение получается в 1,5 раза больше свободного, подсчитанного по выражению

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right),$$

где  $\Delta h = b - d_r$  (см. рис. 107).

2. Размер грани  $a$  принимается равным  $0,5 b$ .

3. Наклон боковых граней равен  $45^\circ$ .

4. Крайние боковые грани строятся из расчета получения

выпуска, т. е.  $\operatorname{tg} \psi = \frac{2e}{p} \approx 0,1$

или  $e = 0,05 p$  (где  $p = h - 2c$ ).

5. Условная ширина  $b$  определяется из равенства

$$\frac{b}{d_r} = 1,08 \div 1,20.$$

6. Все внутренние углы калибра должны скругляться радиусом

$$R = 0,2d_r.$$

7. Фаски буртов должны иметь закругления радиусом

$$R_1 = 0,1b.$$

Форма и размеры предчистового калибра для круглой стали  $d = 222$  мм показаны на рис. 106.

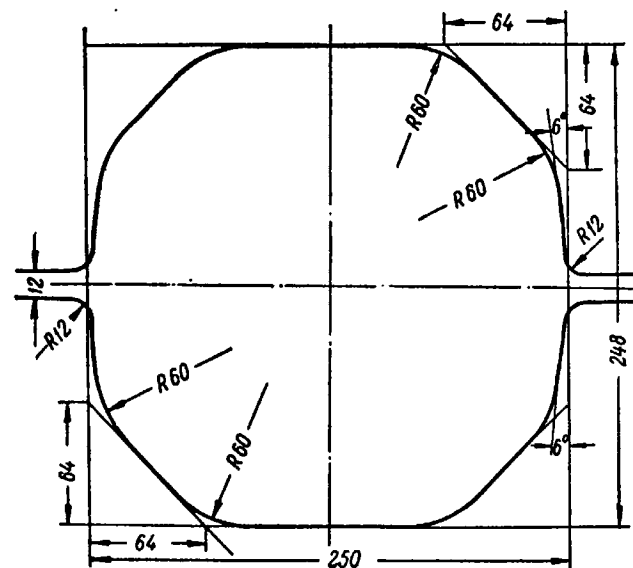


Рис. 106. Форма и размеры предчистового калибра для прокатки круглой стали  $d = 222$  мм

Пример калибровки круглой стали диаметром 115 мм приведен на рис. 107. Форма и размеры овалов для прокатки круглой стали диаметром 70—275 мм представлены на рис. 108.

В отдельных случаях при прокатке круглой стали используется плоский овал. Пример построения предчистового плоского овального калибра приведен на рис. 109. Размеры предчистовых плоских овалов даны в табл. 29.

Размеры, мм, для построения предотделочных плоских овалов (рис. 108)  
(по М. В. Шуралеву)

Диаметр круга $d$	$b$	$b_1$	$R$	$R_1$	$r$	$\Delta$
Более 140	1,2	$(0,40 \div 0,43) d$	$0,50 d$	18	6—8	12
135—120						
115—100						
95—85						
80—75						
70—65	1,26	$(0,48 \div 0,52) d$	$0,51 d$	12	6	8
60—55						
54—50						

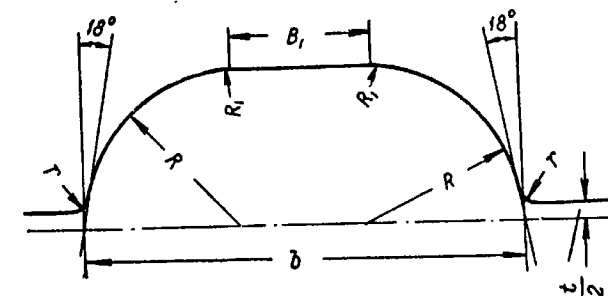


Рис. 109. Построение плоского овала

На рис. 110 показаны конструкции овальных калибров, применяемых при калибровке круглой стали, и даны формулы для определения площадей овалов.

#### Калибровка валков по методу Х. Хоффа и Т. Далья [27]

Х. Хофф, Т. Даль для круглых профилей диаметром 70—200 мм предложили эмпирические формулы для определения размеров калибров: чистового круга, овала и квадрата, которые дают хорошие результаты при прокатке (см. табл. 30).

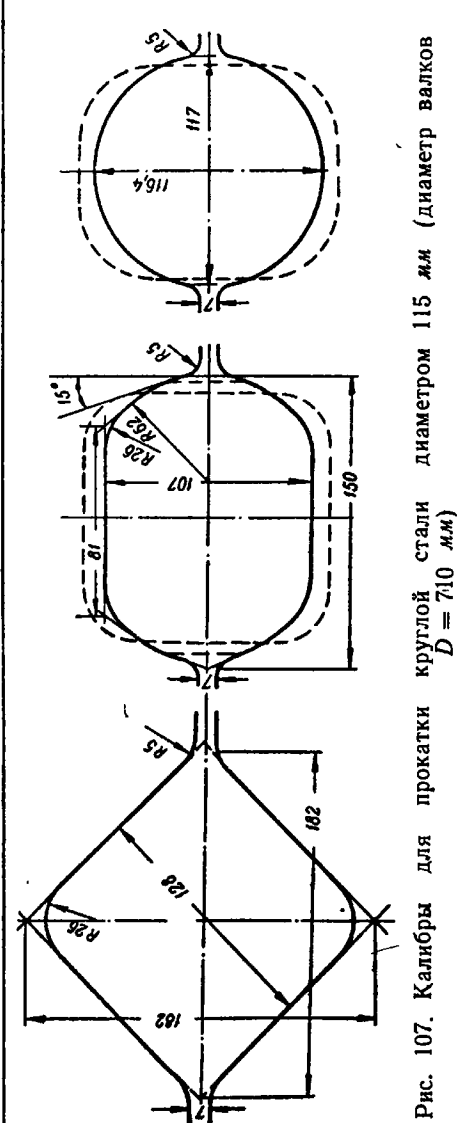
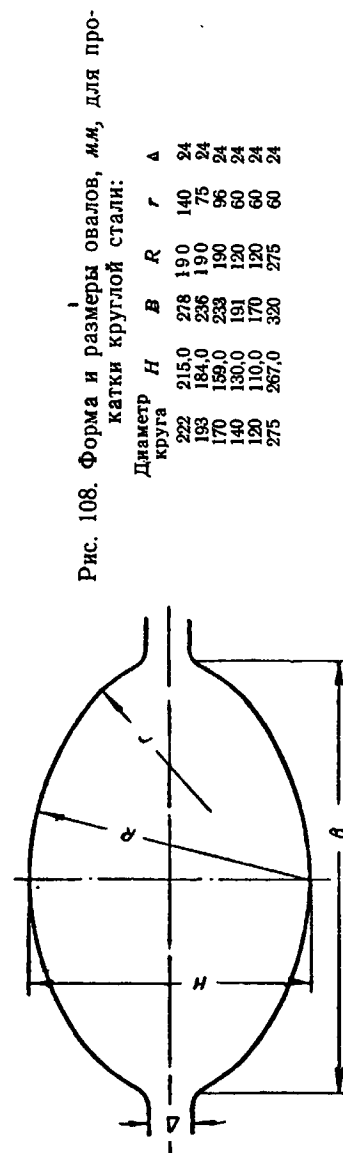
Рис. 107. Калибры для прокатки круглой стали диаметром 115 мм (диаметр валков  $D = 710$  мм)

Рис. 108. Форма и размеры овалов, мм, для прокатки круглой стали:

Диаметр круга	H	B	R	r	$\Delta$
222	215,0	278	190	140	24
193	184,0	236	190	75	24
170	159,0	233	190	96	24
140	130,0	191	120	60	24
120	110,0	170	120	60	24
275	267,0	320	275	60	24

Размеры калибров, мм, при прокатке круга диаметром 70—200 мм

Круг		Овал			Квадрат			
$d_x$	$d_p = 1,013d_x$	$h = d_x - 4$	$b = 1,18d_x + 10$	$R = \frac{h^2 + b^2}{4h}$	$a_r = 1,04d_x + 4$	$h_1 = 1,414a$	$b_1 = 1,425a$	$r = 0,2d_x + 3$
70	70,9	66	92,5	49,0	77	108,5	112,5	17
73	74,0	69	96	50,7	80	113,0	117	17,5
75	76,0	71	98,5	51,9	82	116,0	120	18
78	79,0	74	102	53,7	85	120,0	124	18,5
80	81,0	76	104,5	55,0	87	123,0	127	19
83	84,1	79	108	56,7	89,5	126,5	130,5	19,5
85	86,1	81	110,5	58,0	92,5	130,5	134,5	20
90	91,2	86	116	60,6	98	138,5	142,5	21
95	96,2	91	122	63,8	103	145,5	150,5	22
100	101,3	96	128	66,7	109	154,0	158,5	23
105	106,4	101	134	69,4	114	162,0	165,5	24
110	111,4	106	140	72,7	119,5	169,0	173	25
115	116,5	111	146	75,6	125	176,5	181	26
120	121,6	116	152	78,7	130	183,5	188	27
125	126,6	121	157,5	81,5	135	191,0	195,5	28
130	131,7	126	163,5	84,5	140,5	198,5	203	29
140	141,8	136	175	90,2	152	Ящичный калибр	—	31
150	152,0	146	187	96,4	163	—	—	33
160	162,1	156	199	102,3	174	—	—	35
170	172,2	166	211	108,2	184	—	—	37
180	182,3	176	222	114,0	194,5	—	—	39
190	192,5	186	234	120,0	205	—	—	41
200	202,6	196	246	126,0	216	—	—	43

Расчет калибровки валков по методу  
А. П. Чекмарева и Р. А. Машковцева

Лучшим способом изучения решения задач является знакомство с методом на конкретном примере. В качестве примера приводится расчет калибровки валков для прокатки круга диаметром  $d = 20$  мм. Дано: диаметр валков  $D_n = 300$  мм; скорость вращения валков  $n = 280$  об/мин; материал валков: предчистовых и черновых клетей — сталь, чистовой клетки — отбеленный чугун.

Число проходов  $n = 6$ ; зазор между валками  $\Delta = 2,0$  мм. Система вытяжных калибров: овал—квадрат. Расчет производится против хода прокатки.

Решение. Горячие размеры чистового круга:

$d_r = 20 \cdot 1,014 = 20,3$  мм (I калибр).

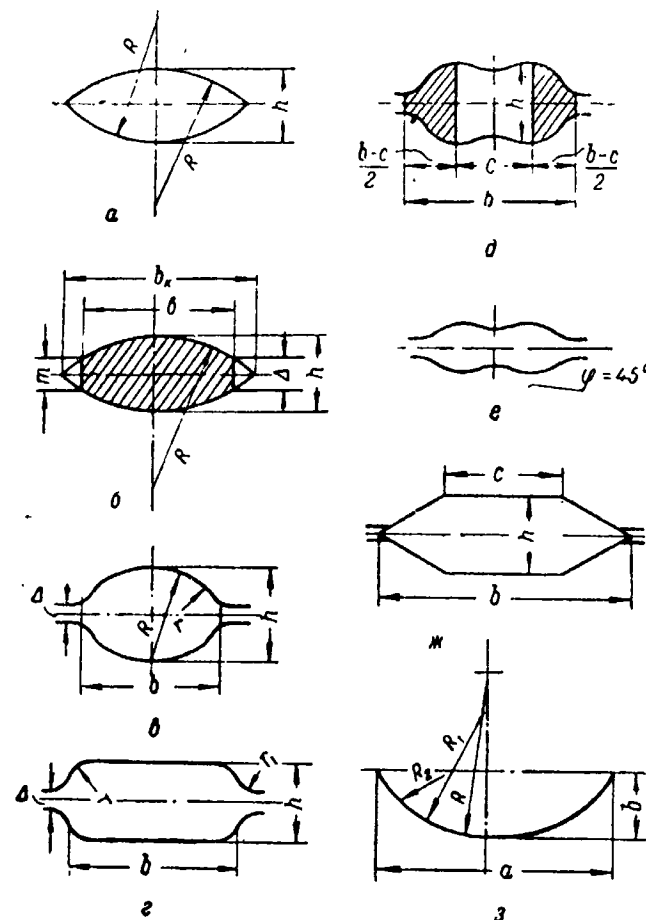


Рис. 110. Конструкции овальных калибров:

а — двухсегментный овал  $F = \frac{2}{3}bh$ ; б — двухсегментный овал (по Б. П. Бахтинову)  $F = \frac{1}{3}\left(\frac{m}{R} + 2\right) \cdot bh$ ; в — двухъярусный овал (по А. Ф. Головину)  $F = \frac{\pi}{4}bh$ ; г — плоский овал  $F = bh\left(1 - 0,215\frac{h}{b}\right)$ ; д — видоизмененный плоский овал (по Б. П. Бахтинову)  $F = \frac{bh}{3}\left(2 + \frac{c}{b}\right)$ ; е — овал с вогнутым контуром; ж — шестигранный овал  $F = \frac{bh}{2}\left(1 + \frac{c}{b}\right)$ ; з — трехрадиусный овал



Площадь чистового калибра:

$$F_1 = \frac{\pi d_r^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20,3^2}{4} = 324 \text{ мм}^2.$$

По графику (рис. 111) определяется коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $\mu_{кр}$  и общий коэффициент вытяжки в круглом и овальном калибрах:

$$\mu_{кр} = 1,11; \mu_{кр-ов} = 1,35.$$

Площадь предчистового овала

$$F_2 = F_1 \mu_{кр} = 324 \cdot 1,11 = 360 \text{ мм}^2.$$

По графику (см. рис. 90, в) находится уширение полосы в круглом калибре при прокатке на стане 500:

$$\Delta b_{кр} = 1,6 \text{ мм.}$$

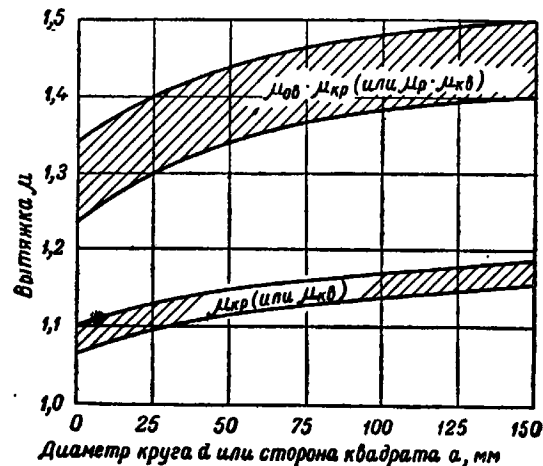


Рис. 111. Зависимость коэффициента вытяжки от стороны квадрата или диаметра круга

Толщина овала должна быть равна

$$h_{ов} = d_r - \Delta b_{кр} = 20,3 - 1,6 = 18,7 \text{ мм (II калибр).}$$

Ширина овала определяется по формуле

$$b_{ов} = \frac{3F_{ов}}{2h_{ов} + \Delta} = \frac{3 \cdot 360}{2 \cdot 18,7 + 2} = 27,4 \text{ мм.}$$

Площадь предчистового квадрата

$$F_{кв.} = F_{кр} \mu_{кр-ов} = 324 \cdot 1,35 = 437 \text{ мм}^2.$$

Сторона предчистового квадрата (с учетом закруглений)

$$a_3 = \sqrt{1,03 F_{кв.}} = \sqrt{1,03 \cdot 437} = 21,2 \text{ мм (III калибр).}$$

Скорость прокатки

$$v = \frac{\pi D_n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,3 \cdot 280}{60} = 4,4 \text{ м/сек.}$$

По графику (рис. 112) находится допустимый угол захвата, для стальных валков:  $\alpha_{доп} = 22^\circ$ .

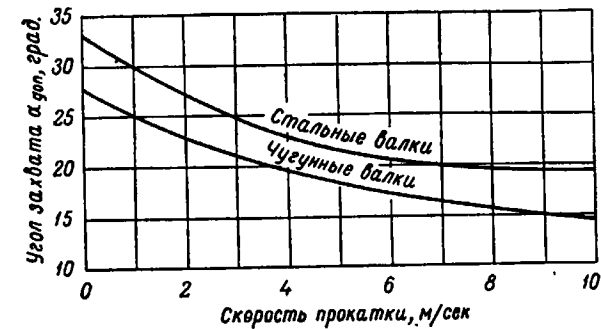


Рис. 112. Зависимость допустимого угла захвата от скорости прокатки

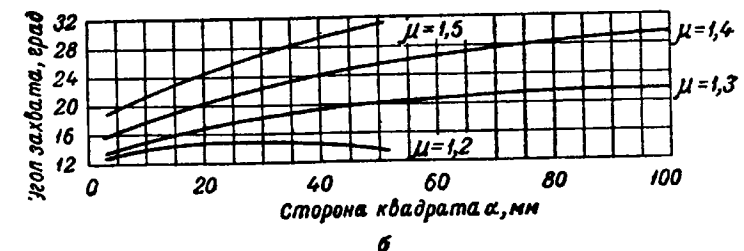
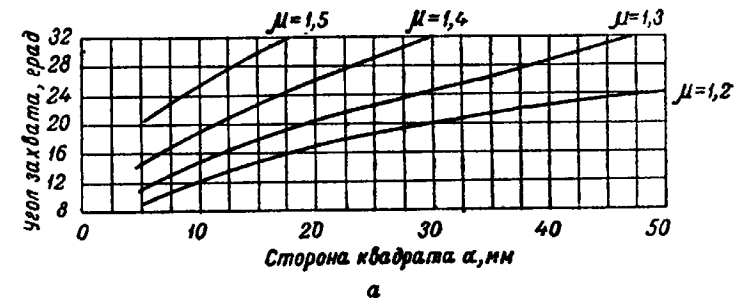


Рис. 113. Зависимость угла захвата от стороны квадрата:  
а — диаметр валков  $D = 250 \text{ мм}$ ; б —  $D = 350 \text{ мм}$

По графику (рис. 113) выбираем коэффициент вытяжки в квадратном калибре:

$$\mu_{кв.} = 1,35.$$

Определяется коэффициент вытяжки в IV овальном калибре:

$$\mu_{\text{ов}_4} = 1 + 1,5(\mu_{\text{кв}_3} - 1) = 1 + 1,5(1,35 - 1) = 1,52.$$

Площадь следующего квадрата (V калибр)

$$F_{\text{кв}_5} = F_{\text{кв}_3} \mu_{\text{кв}_4} \mu_{\text{кв}_5} = 437 \cdot 1,52 \cdot 1,35 = 896 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата (V калибр)

$$a_5 = \sqrt{1,03 \cdot F_{\text{кв}_5}} = \sqrt{1,03 \cdot 896} = 30,6 \text{ мм}.$$

Площадь овала (IV калибр):

$$F_{\text{ов}_4} = F_{\text{кв}_3} \cdot \mu_{\text{кв}_3} = 437 \cdot 1,35 = 590 \text{ мм}^2.$$

По графику (114) определяем уширение в предчистовом квадрате:

$$\Delta b_{\text{кв}_4} = 6,5 \text{ мм}.$$

Высота овала (IV калибр)

$$h_{\text{ов}_4} = 1,41a_3 - \Delta b_{\text{кв}_3} - \Delta = 1,41 \cdot 21,2 - 6,5 - 2,0 = 21,4 \text{ мм}.$$

$$b_4 = \frac{3F_4}{2h_4 + \Delta} = \frac{3 \cdot 590}{2 \cdot 21,4 + 2,0} = 39,6 \text{ мм}.$$

По графику (см. рис. 113) определяем коэффициент вытяжки в следующем V квадратном калибре:

$$\mu_5 = 1,32.$$

Площадь овального калибра

$$F_6 = F_5 \mu_5 = 986 \cdot 1,32 = 1180 \text{ мм}^2.$$

Уширение в V калибре определяется по графику (рис. 114).

Высота овала (VI калибр)

$$h_6 = 1,41a_5 - \Delta b_5 - \Delta = 1,41 \cdot 30,6 - 8,5 - 2,0 = 32,8 \text{ мм}.$$

Ширина овала

$$b_6 = \frac{3 \cdot 1180}{2 \cdot 32,8 + 2} = 52,4 \text{ мм}.$$

Коэффициент вытяжки в овальном калибре

$$\mu_6 = 1 + 1,5(\mu_5 - 1) = 1 + 1,5(1,32 - 1) = 1,47.$$

Площадь квадратной заготовки

$$F_{\text{заг}} = F_6 \mu_6 = 1180 \cdot 1,47 = 1735 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата

$$a_{\text{заг}} = \sqrt{1,03 F_{\text{заг}}} = \sqrt{1,03 \cdot 1735} = 42 \text{ мм}.$$

Применять заготовку такого размера можно, если в составе стана имеется заготовочная клеть. Если же заготовка поступает со стороны, то рациональнее взять квадрат 40 или 45 мм.

Для построения калибров делаются дополнительные расчеты. Вертикальные диагонали квадратных калибров определяются по формуле

$$h_{\text{кв}} = 1,41a - 0,82r,$$

где  $a$  — сторона квадрата;

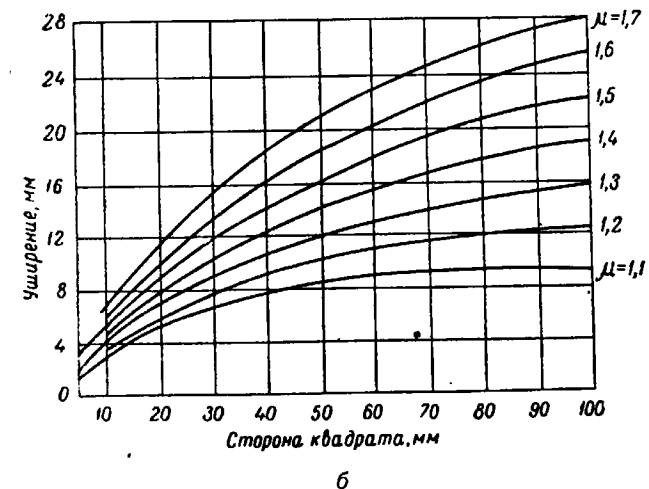
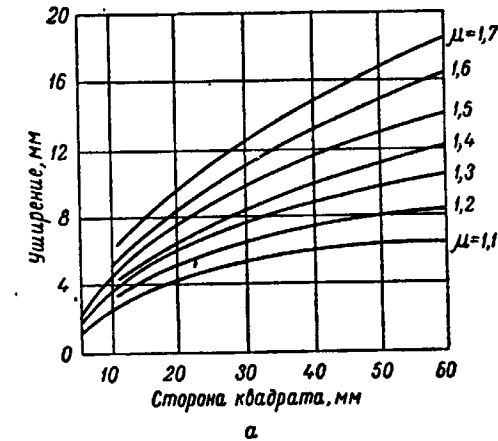


Рис. 114. Изменение уширения в зависимости от стороны квадрата:  
а — диаметр валков  $D = 250$  мм; б —  $D = 350$  мм

$r$  — радиус закругления (обычно  $r = \Delta$ );

$$h_3 = 1,41 \cdot 21,2 - 0,82 \cdot 2,0 = 28,3 \text{ мм};$$

$$h_5 = 1,41 \cdot 30,6 - 0,82 \cdot 2,0 = 41,6 \text{ мм}.$$

Радиусы овальных калибров определяются по формуле

$$R = \frac{b^2 + 4f^2}{8f},$$

где

$$f = 0,5(h - \Delta),$$

$$f_2 = 0,5(18,7 - 2) = 8,35 \text{ мм},$$

$$R_2 = \frac{27,4^2 + 4 \cdot 8,35^2}{8 \cdot 8,35} = 15,2 \text{ мм},$$

$$f_4 = 0,5(21,4 - 2) = 11,7 \text{ мм},$$

$$R_4 = \frac{39,6^2 + 4 \cdot 11,7^2}{8 \cdot 11,7} = 22,7 \text{ мм},$$

$$f_6 = 0,5(32,8 + 2) = 17,4 \text{ мм},$$

$$R_6 = \frac{52,4^2 + 4 \cdot 17,4^2}{8 \cdot 17,4} = 28,4 \text{ мм}.$$

Линейное обжатие и углы захвата в квадратных и круглых калибрах:

$$\Delta h_1 = h_2 - h_1 = 27,4 - 20,3 = 7,1 \text{ мм},$$

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_1}{D_n - h_1} \right) =$$

$$= \arccos \left( 1 - \frac{7,1}{300 - 20,3} \right) = 12^\circ 50',$$

$$\Delta h_3 = 39,6 - 28,3 = 11,3 \text{ мм},$$

$$\alpha_3 = \arccos \left( 1 - \frac{11,3}{300 - 28,3} \right) = 16^\circ 40'.$$

Обжатие определяется по формуле

$$\Delta h_2 = a_3 - h_2 + m_2 \cdot R_2.$$

Коэффициент  $m$  берется по графику (рис. 115) или подсчитывается по формуле

$$m = 2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{4R^2}} \right).$$

Для предчистового овала (II калибр) имеем

$$m_2 = 2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{21,2^2}{4 \cdot 15,2^2}} \right) = 0,57,$$

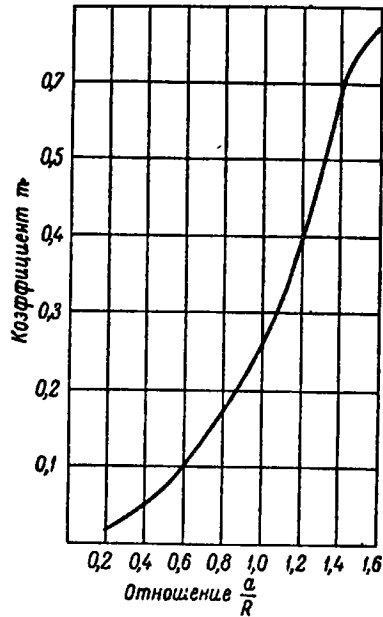


Рис. 115. Определение коэффициента  $m$

$$\Delta h_2 = 21,2 - 18,7 + 0,57 \cdot 15,2 = 11,15 \text{ мм}.$$

Катающий диаметр

$$D_k = D_n - h + mR = 300 - 18,7 + 0,57 \cdot 15,2 = 290 \text{ мм},$$

$$\alpha = \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h}{D_k} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{11,15}{290} \right) = 16^\circ.$$

IV калибр:

$$m_4 = 2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{30,6^2}{4 \cdot 22,7^2}} \right) = 0,52,$$

$$\Delta h_4 = 30,6 - 21,4 + 0,52 \cdot 22,7 = 21 \text{ мм},$$

$$D_{k_4} = 300 - 21,4 + 0,52 \cdot 22,7 = 299,6 \text{ мм},$$

$$\alpha_4 = \arccos \left( 1 - \frac{21}{299,6} \right) = 21^\circ 30'.$$

VI калибр:

$$m_6 = 2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{42^2}{4 \cdot 28,4^2}} \right) = 0,65,$$

$$\Delta h_6 = 42 - 32,8 + 0,65 \cdot 28,4 = 27,6 \text{ мм},$$

$$D_{k_6} = 300 - 32,8 + 0,65 \cdot 28,4 = 285,6 \text{ мм}.$$

Уширение металла в овальных калибрах определяется по формуле Мутьева-Петрова

$$\Delta b_{\text{ов}} = 0,4 \sqrt{(a - h_{\text{о.с}}) R_{\text{к.с}}} \cdot \left( \frac{a - h_{\text{о.с}}}{a} \right),$$

где  $a$  — сторона квадрата, задаваемого в овал;  
 $h_{\text{о.с}}$  — средняя высота овального калибра:

$$h_{\text{о.с}} = \frac{F_{\text{ов}}}{b_{\text{ов}}},$$

$R_{\text{к.с}}$  — средний катающий радиус вала по данному овальному калибру:

$$R_{\text{к.с}} = R_k - h_{\text{о.с}} = \frac{D_k}{2} - \frac{F_{\text{ов}}}{b_{\text{ов}}}.$$

Уширение в первом овальном калибре (шестом против хода прокатки):

$$\Delta b_1 = 0,4 \sqrt{\left( 42 - \frac{1180}{52,4} \right) \cdot \left( \frac{285,6}{2} - \frac{1180}{52,4} \right)} \times \frac{42 - \frac{1180}{52,4}}{42} = 9 \text{ мм}.$$

Уширение в третьем овальном калибре (четвертом против хода прокатки):

$$\Delta b_3 = 0,4 \sqrt{\left( 30,6 - \frac{590}{39,6} \right) \cdot \left( \frac{299,6}{2} - \frac{590}{39,6} \right)} \cdot \frac{30,6 - \frac{590}{39,6}}{30,6} = 9,4 \text{ мм}.$$

Уширение в предчистовом овале (втором против хода прокатки):

$$\Delta b_5 = 0,4 \sqrt{\left(21,2 - \frac{360}{27,4}\right) \left(\frac{290}{2} - \frac{360}{27,4}\right)} \cdot \frac{21,2 - \frac{360}{27,4}}{21,2} = 5,2 \text{ мм},$$

$$\alpha_6 = \arccos \left(1 - \frac{27,6}{285,6}\right) = 25^\circ 30'.$$

Полученные данные приведены в табл. 31.

Таблица 31

Расчетные данные калибров для прокатки круга диам. 20 мм

№ проходов	№ калибров	Форма калибра	Размеры, мм		Сторона квадрата, а	$\Delta h$ , мм	$\Delta b$ , мм	$r$	$F$ , мм <sup>2</sup>	$D_k$ , мм	$\alpha^\circ$
			h	b							
0	—	—	—	—	42	—	—	—	1735	—	—
1	VI	Овал	32,8	52,4	—	27,6	—	1,47	1180	285,6	25°30'
2	V	Квадрат	41,6	41,6	30,6	10,8	8,5	1,32	896	258,4	16°40'
3	IV	Овал	21,4	39,6	—	21,0	—	1,52	590	299,6	21°30'
4	III	Квадрат	28,3	28,3	21,2	11,3	6,5	1,35	437	271,7	16°40'
5	II	Овал	18,7	27,4	—	11,15	—	1,22	360	290	16°
6	I	Круг	20,3	20,3	—	7,1	1,6	1,11	324	279,9	12°50'

## Определение размеров чистового круга, овала и квадрата

### Чистовой круг

Пример 1. Определить размеры калибра для чистового круга диаметром 6 мм по следующим данным: диаметр валков  $D_n = 280$  мм; подшипники — роликовые; температура конца прокатки  $t = 900^\circ$ . Калибровкой предусматривается прокатка на минус. Допускаемые отклонения от номинального размера круга  $d = 6$  мм установлены ГОСТ 2590—57; (+0,3; —0,5) мм.

Решение. Для большей гарантии при выборе минусовых допусков для расточки калибров предусматривается допуск не —0,5, а —0,3 мм. Таким образом, калибры должны растачиваться с учетом получения изделия после его охлаждения с минусовым допуском 0,3 мм.

Тогда диаметр горячего круглого профиля определяется по формуле

$$d_r = 1,011 (d_x - 0,3) = 1,011 (6 - 0,3) = 5,76 \text{ мм}.$$

По диаметру горячего профиля изготавливают для расточки калибров круглые резцы (пробки) в виде геометрически правильного круга.

Величина зазора между валками с роликовыми подшипниками определяется по формуле

$$\Delta = 0,004 D_n = 0,004 \cdot 280 = 1,12 \text{ мм}.$$

Принимаем  $\Delta = 1,5$  мм.

Ширина пробки определяется по формуле

$$B = 2 \sqrt{R^2 - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} = 2 \sqrt{\frac{(5,76)^2}{2} - \frac{(1,5)^2}{2}} = 5,56 \text{ мм}.$$

Иногда на практике, чтобы избежать переполнения чистового калибра, ширину шаблона доводят до 5,6—5,7 мм.

Пример 2. Определить основные размеры шаблона для чистового круга диаметром 25 мм быстрорежущей стали Р18. Стан допель-дуо  $D_n = 300$  мм с текстолитовыми подшипниками. Допускаемое отклонение от размера (ГОСТ 5650—51) равно +0,9 мм.

Решение. Диаметр калибра в зависимости от диаметра полосы увеличивают на часть плюсового допуска:

Диаметр профиля мм	Увеличение диаметра калибра, мм
8—24	0,75 C
24—50	0,50 C
50—80	0,40 C

(где C — величина допускаемого отклонения от номинального размера, ГОСТ 5650—51, ГОСТ 2590—57).

Находим диаметр шаблона:

$$d_r = 1,013 d_x + 0,5C, \text{ или } d_r = 1,013 \cdot 25 + 0,5 \cdot 0,9 = 25,8 \text{ мм}.$$

Зазор между валками  $\Delta = 0,01 D_n = 0,01 \cdot 300 = 3$  мм.

$$R = \frac{d_r}{2} = \frac{25,8}{2} = 12,9 \text{ мм}.$$

Тогда ширина

$$B = 2 \sqrt{R^2 - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} = 2 \sqrt{12,9^2 - 1,5^2} = 25,6 \text{ мм}.$$

Иногда на практике, чтобы избежать переполнения чистового калибра, ширину шаблона доводят до 25,7 или 25,8 мм. Данный пример приведен для случая прокатки с плюсовым допуском.

П. А. Александров, В. А. Писанко и С. Т. Богатырев рекомендуют построение чистовых круглых калибров производить не в виде геометрически правильного круга, а горизонтальную ось делать больше вертикальной на величину 0,2—0,4 мм для диаметров круга 10—38 мм. На многих отечественных заводах, в том числе и на ММК, построение чистового круга производится по методу Н. В. Литовченко [28].

### Чистовой овал

Помимо разобранных выше методов расчета основных размеров чистового овала, имеются более упрощенные методы, рекомендованные А. П. Виноградовым, позволяющие быстро определять размеры предотделочного овала и подготовительного квадрата. Эти эмпирические данные сведены в табл. 32.

Таблица 32

Размеры предотделочного овала и подготовительного квадрата, мм,  
для прокатки круглого профиля

$d_x$	Овал		Сторона квадрата $a$
	$\frac{h}{d_x}$	$\frac{b}{h}$	
5—7	0,69—0,78	2,35—2,50	$a = d$
7—9	0,75—0,85	1,75—2,10	$a = d$
9—11	0,80—0,85	1,67—1,80	$a = d +$ $+ (0,25 \div 0,5)$
12—15	0,80—0,87	1,60—1,70	$a = d + 1$
16—20	0,87—0,90	1,50—1,6	$a = d + 2$
21—25	0,90—0,92	1,47—1,50	$a = d + 3$
26—35	0,90—0,94	1,47—1,50	$a = d + 3$
36—40	0,90	1,40—1,50	$a = d + (4 + 7)$
42—50	0,91	1,4	$a = d + (8 + 12)$
52—60	0,92	1,4	$a = d + (12 + 15)$
63—80	0,92	1,4	$a = d + (12 \div 15)$
80	0,92	1,4	$v = d + (12 + 15)$

Пример 3. По табл. 32 определить размеры чистового овала для круга диаметром 6 мм.

Решение. По табл. 32 определяем размеры овала:

$$\frac{h}{d} = 0,69 - 0,78,$$

$$\frac{b}{h} = 2,35 - 2,50.$$

Принимаем  $\frac{h}{d} = 0,70$ .

$$h = 0,70, \quad d_r = 0,70 \cdot 5,76 = 4,032 \text{ мм} = 4 \text{ мм},$$

где  $d_r = 5,76 \text{ мм}$  (см. пример 1),

$$\frac{b}{h} = 2,40,$$

$$b = 2,40h = 2,40 \cdot 4 = 9,60 \text{ мм}.$$

Пример 4. По табл. 32 определить размеры чистового овала для круга диаметром 25 мм.

Решение. По табл. 30 определяем размеры овала:

$$\frac{h}{d} = 0,90 - 0,92.$$

Рекомендуется также размеры чистового овала определять по эмпирическим формулам:

$$b = 1,3d_x \div (2 \div 3) \text{ мм, или } b = 1,3 \cdot 25 \div 2 = 34,5 \text{ мм},$$

$$h = 0,99d_x - (1,6 \div 2,0) \text{ мм, или } h = 0,99 \cdot 25 - 1,6 = 24,15 \text{ мм}.$$

Для круглого профиля диаметром более 80 мм рекомендуется специаль-

ный трехрадиусный овал, построенный по следующим данным (см. рис. 110);  $b = 1,288 d$ ;  $h = 0,93 d$ ;  $R = d - 1$ ;  $R_1 = 0,74 d$ ;  $R_2 = 0,38 d$ .

Пример 5. Определить размеры трехрадиусного овала для прокатки круга диаметром 200 мм; допускаемое отклонение по диаметру  $+0,9$ ;  $-2,5 \text{ мм}$ . Диаметр круга с учетом прокатки на минус равен:

$$d_r = 1,015 (d_x - 1,25) = 1,015 \cdot 198,75 = 201,7 \text{ мм}.$$

$$b = 1,288 \cdot d_r = 1,288 \cdot 201,7 = 259,8 \text{ мм},$$

$$h = 0,93 \cdot d_r = 0,93 \cdot 201,7 = 187,6 \text{ мм},$$

$$R = d_r - 1 = 201,7 - 1 = 200,7 \text{ мм},$$

$$R_1 = 0,74 \cdot d_r = 0,74 \cdot 201,7 = 149,2 \text{ мм},$$

$$R_2 = 0,38 \cdot d_r = 0,38 \cdot 201,7 = 76,6 \text{ мм}.$$

При расчете и анализе калибровок валков для прокатки круглого профиля необходимо определять площади овалов.

Для определения площади овалов, состоящих из двух круглых сегментов (рис. 110, б), пользуются формулой

$$F_{ов} = \frac{1}{3} \left( \frac{m}{h} + 2 \right) bh,$$

где отношение  $\frac{m}{h}$  определяется по графику (рис. 97);

$b$  — ширина овала,

$h$  — толщина овала.

Площадь эллиптических овалов (рис. 110, в) вычисляется по формуле

$$F_{ов} = \frac{\pi}{4} bh = 0,785bh,$$

где  $b$  и  $h$  — оси овалов.

Площадь плоского овала (рис. 110, г) определяется по формуле

$$F_{ов} = bh \left( 1 - 0,215 \frac{h}{b} \right).$$

Площадь видоизмененного плоского овала (рис. 110, д) вычисляется по формуле

$$F_{ов} = \frac{bh}{3} \left( 2 + \frac{c}{b} \right),$$

где  $c$  — длина прямолинейной части овала.

Площадь шестигранного овала (рис. 110, ж) определяется по формуле

$$F_{ов} = \frac{bh}{2} \left( 1 + \frac{c}{b} \right).$$

Пример 6. Определить площадь овала, состоящего из двух сегментов, если дано:  $b = 27,4 \text{ мм}$ ;  $h = 18,7 \text{ мм}$ ;  $m = 5,0 \text{ мм}$ .

Решение. Площадь овала равна

$$F_{ов} = \frac{1}{3} \left( \frac{m}{h} + 2 \right) bh = \frac{1}{3} \left( \frac{5,0}{18,7} + 2 \right) 27,4 \cdot 18,7 = 389 \text{ мм}^2.$$

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Для прокатки круга диаметром 25 мм по схеме квадрат — овал — круг определить размеры предотделочного квадрата по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова. Температура конца прокатки  $t = 1100^\circ$ .

Отв.  $a_3 = 27,7 \text{ мм}$ ,  $b_3 = 39,1 \text{ мм}$ ,  
 $r_3 = 5,54 \text{ мм}$ ,  $h_k = 34,45 \text{ мм}$ .

2. По условиям задачи 1 определить размеры предотделочного квадрата по методу Хоффа и Даля.

Отв.  $a_3 = 27,9 \text{ мм}$ ,  $b_3 = 39,62 \text{ мм}$ ,  
 $h_3 = 39,34 \text{ мм}$ ,  $r_3 = 2,8 \text{ мм}$ .

3. Для прокатки круга диаметром 25 мм определить размеры чистового овала по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова. Зазор между буртами  $\Delta = 3 \text{ мм}$ .

Отв.  $h_{ов} = 22 \text{ мм}$ ,  $b_{ов} = 36 \text{ мм}$ ,  
 $R_{ов} = 23,8 \text{ мм}$ ,  $b_k = 37,4 \text{ мм}$ .

4. На стане 350 катается круг диаметром 40 мм по системе полоса — ребровой калибр — овал — круг (рис. 101). Определить основные размеры ребрового калибра по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова (см. рис. 97).

Отв.  $R' = a = 44,7 \text{ мм}$ ,  
 $R = 26,82 \text{ мм}$ ,  $r = 8,9 \text{ мм}$ ,  
 $h_p = 20,85 \text{ мм}$ .

5. По условиям задачи 4 определить основные размеры предчистового овала.

Отв.  $h_{ов} = 36,5 \text{ мм}$ ,  $b_{ов} = 56,3 \text{ мм}$ ,  
 $R_{ов} = 34,4 \text{ мм}$ .

6. По условиям задачи 4 определить размер полосы при условии ее прокатки в ребровом калибре с коэффициентом вытяжки  $\mu = 1,20$ ; уширение  $\Delta b_3 = 2 \text{ мм}$ .

Отв.  $h = 40,2 \text{ мм}$ ,  $b = 59,6 \text{ мм}$ .

7. По формуле Б. П. Бахтинова определить уширение в ребровом калибре по данным: катающий радиус  $R = 152,65 \text{ мм}$ ; коэффициент контактного трения  $f = 0,33$ ; линейное обжатие  $\Delta h = 14,9 \text{ мм}$ ; высота задаваемой полосы  $H = 59,6 \text{ мм}$ .

Отв.  $\Delta b = 3,6 \text{ мм}$ .

8. Определить основные размеры предчистового овала и квадрата для прокатки круга диаметром 30 мм, пользуясь методом А. П. Чекмарева и Р. А. Машковцева. Зазор между валками  $\Delta = 2 \text{ мм}$ ; диаметр валков  $D_n = 350 \text{ мм}$ .

Отв.  $h_{ов} = 28,1 \text{ мм}$ ,  $b_{ов} = 41,9 \text{ мм}$ ,  $a_{кв} = 31,8 \text{ мм}$ .

9. Определить по методу А. П. Чекмарева радиус предчистового овала, пользуясь данными задачи 8.

Отв.  $R_{ов} = 18,4 \text{ мм}$ .

10. По методу М. В. Шуралева определить размеры предотделочного плоского овала для прокатки круга диаметром 125 мм.

Отв.  $b = 159,5 \text{ мм}$ ,  $b_1 = 54,4 \text{ мм}$ ,  
 $R = 63,3 \text{ мм}$ ,  $R_1 = 15 \text{ мм}$ ,  
 $r = 7 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 10 \text{ мм}$ .

11. По методу Хоффа и Даля определить размеры чистового круга диаметром 190 мм и для него размеры предчистовых овала и квадрата.

Отв.  $d_r = 192,5 \text{ мм}$ ,  $h_{ов} = 186 \text{ мм}$ ,  
 $b_{ов} = 234 \text{ мм}$ ,  $R_{ов} = 120 \text{ мм}$ ,  
 $a_{кв} = 205 \text{ мм}$ , радиус закругления вершины квадрата  $r = 41 \text{ мм}$ .

12. На заводе «Электросталь» для круга диаметром 35 мм используют предчистовой овал  $33,0 \times 47,0 \text{ мм}$  и черновой круг  $d = 42 \text{ мм}$ . Определить размеры предчистового овала по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова.

Отв.  $h = 31,5 \text{ мм}$ ,  $b = 44,7 \text{ мм}$ .

## § 3. ПРОКАТКА ШЕСТИГРАННОЙ СТАЛИ

ГОСТ 2879—57 предусматривает прокатку шестигранной стали размерами 7—80 мм. На рис. 116 показаны три схемы

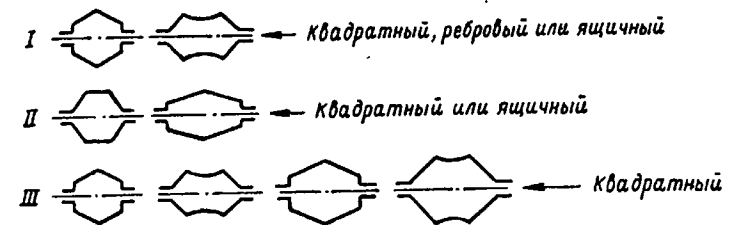


Рис. 116. Схемы прокатки шестигранной стали

прокатки этой стали, первая из них считается наиболее рациональной. Преимущество первого способа прокатки шестигранной стали в сравнении с остальными заключается в следующем:

а) при разъеме валков посередине боковых граней обеспечивается выполнение всех углов профиля;

б) колебания в величине уширения незначительно отражаются на размерах выходящей полосы;

в) используются те же черновые калибры, что и для прокатки для круглой и квадратной стали.

При определении размеров шестигранной стали за основу принимается диаметр вписанного круга  $d$ . Сторона шестигранной стали (рис. 117) равна

$$c = \frac{d}{\sqrt{3}} = 0,577d.$$

Площадь

$$F = \frac{1}{2} \sqrt{3} \cdot d^2 = 0,866d^2.$$

Диаметр описанной окружности

$$d_{\text{оп}} = \frac{2d}{\sqrt{3}} = 1,155d.$$

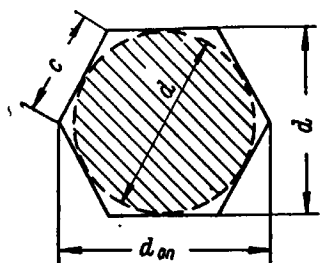


Рис. 117. Обозначение размеров шестигранной стали

Чистовой калибр (рис. 118, а) строится по горячим размерам готового профиля. Боковым стенкам калибра придается уклон 5—8% для облегчения выхода профиля из калибра; предупреждения переполнения калибра при случайном увеличении уширения; обеспечения сохранения ширины калибра при переточках валков.

Предчистовой калибр (рис. 118, б) строится с уклоном боковых стенок около 45°. Дно калибра делается вогнутым, чтобы предупредить получение в дальнейшем (после кантовки и обжатия) выпуклой боковой грани на готовом профиле. Величина стрелы прогиба принимается обычно около 0,5 мм для всех размеров шестигранной стали. Углы предчистового калибра выполняются без закруглений.

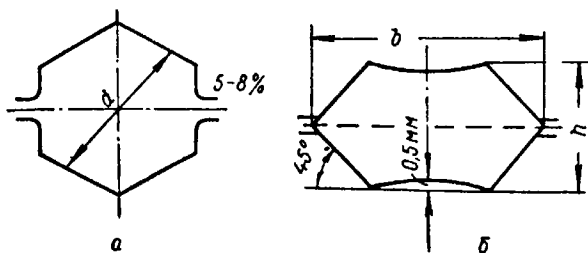


Рис. 118. Чистовой (а) и предчистовой (б) калибры для прокатки шестигранной стали

При расчетах калибровки используются графики (см. рис. 96 и 98).

Отношение вытяжки в предчистовом калибре к вытяжке в чистовом  $\frac{\mu_1}{\mu_2}$  в случае применения ребровых калибров (см.

рис. 100) колеблется в пределах 0,9—0,96. Если же применяются квадратные калибры, врезанные на ребро, эту величину можно принимать равной единице.

Методика расчета калибров для прокатки шестигранной стали аналогична методике расчета калибров для прокатки круглой стали.

Пример 1 [16]. Рассчитать размеры чистового и предчистовых калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 24$  мм на стане 300, стан шахматного типа:

1—4 клетки:  $D = 420$  мм,  $n = 55$ —88 об/мин,

5—II клетки:  $D = 320$  мм,  $n = 180$ —400 об/мин.

Расчет чистового калибра. Размеры профиля в горячем состоянии:  $d_r = 1,013$   $d_x = 1,013 \cdot 24 = 24,3$  мм. Размеры грани профиля

$$c = 0,577d = 0,577 \cdot 24,3 = 14 \text{ мм.}$$

Диаметр описанной окружности

$$d_{\text{оп}} = 1,155d = 1,155 \cdot 24,3 = 28 \text{ мм}$$

Площадь профиля

$$F_1 = 0,866d^2 = 0,866 \cdot 24,3^2 = 510 \text{ мм}^2.$$

Если принять зазор между буртами  $\Delta = 3,0$  мм и уклон боковых граней 7% ( $\text{tg} \psi = 0,07$ ), то максимальная ширина калибра в месте разъема валков составит

$$b = 24,3 + 2 \frac{14 - 3}{2} \cdot 0,07 = 25,1 \text{ мм.}$$

Расчет предчистовых калибров. Для нахождения оптимальной общей вытяжки пользуемся графиком (рис. 96). Принимаем

$$\mu_D = 1,5.$$

Тогда площадь предчистового ребрового калибра

$$F_3 = F_1 \mu_D = 510 \cdot 1,5 = 765 \text{ мм}^2.$$

Определяем размеры для построения ребрового калибра в соответствии с рис. 100:

$$a = 1,1 \sqrt{F} = 1,1 \sqrt{765} = 30,4 \text{ мм,}$$

$$R' = a = 30 \text{ мм,}$$

$$R = 0,6a = 0,6 \cdot 30,4 = 18 \text{ мм,}$$

$$r = 0,2a = 0,2 \cdot 30,4 = 6 \text{ мм,}$$

$$\Delta = 3 \text{ мм.}$$

Отношение вытяжки в предчистовом калибре к вытяжке в чистовом калибре

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = 0,95.$$

Тогда площадь предчистового калибра (шестигранника, см. рис. 118, б) составит

$$F_2 = \frac{\sqrt{F_1 F_3}}{\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}} = \frac{\sqrt{510 \cdot 765}}{\sqrt{0,95}} = 640 \text{ мм}^2.$$

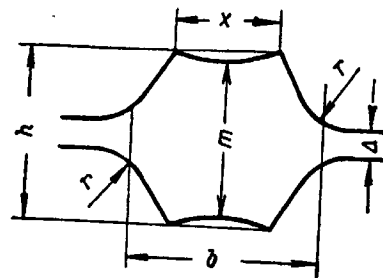
Высоту предчистового калибра находим по графику (см. рис. 98):

$$\frac{h}{d} = 0,87,$$

$$h_2 = 0,87d = 0,87 \cdot 24,3 = 21,2 \text{ мм.}$$

Определяем ширину предчистового калибра по формуле

$$b_2 = \frac{640}{21,2} + \frac{1}{2} \cdot 21,2 = 40,8 \text{ мм.}$$



Ширина вреза калибра в валки при  $\Delta = 4,0 \text{ мм}$ :

$$c = b - h = 40,8 - 4 = 36,8 \text{ мм.}$$

Ширина средней части калибра (меньшее основание трапеции):

$$c = b - h = 40,8 - 21,2 = 19,6 \text{ мм.}$$

Рис. 119. Построение предчистового шестигранного калибра для шестигранного профиля рекомендуется производить так, как показано на рис. 119, по данным табл. 33.

Таблица 33

Данные для построения предчистового шестигранного калибра

Размеры калибра (см. рис. 119)	Размеры шестигранника, мм		
	7—12	13—20	21—80
$h$	$d - (1,2 \div 1,6)$	$d - (1,7 \div 2,0)$	$d - (2,0 \div 2,5)$
$m$	$h - (0,2 \div 0,4)$	$h - (0,6 \div 1,0)$	$h - 1,0$
$x$	$1,3c$	$1,3c$	$1,3c$
$b$	$2x$	$2x$	$2x$
$\Delta$	$1,5 \div 2,5$	$2,5 \div 3,0$	$3,5 \div 5,0$

Примечание.  $d$  — диаметр шестигранника;  $c$  — сторона шестигранника.

Пример 2. Определить размеры предчистового шестигранного калибра для  $d = 30 \text{ мм}$ , руководствуясь данными табл. 33.

Решение.

$$h = d - 2,0 = 30 - 2 = 28 \text{ мм,}$$

$$m = h - 1,0 = 30 - 1 = 29 \text{ мм,}$$

$$x = 1,3c = 1,3 \cdot \frac{d}{\sqrt{3}} = 1,3 \cdot 0,577d = 0,75 \cdot 30 = 22,5 \text{ мм,}$$

$$b = 2x = 2 \cdot 22,5 = 45,0 \text{ мм,}$$

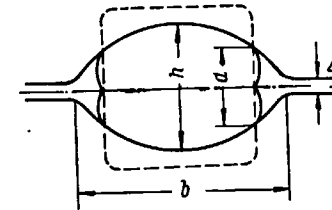
$$\Delta = 3,5 \text{ мм.}$$

Для лучшего выполнения сторон, граничащих с зазором валков, следует раскрывать стороны калибра на  $0,3—0,8 \text{ мм}$ . Закругление буртов обязательно.

По данным И. К. Анциферова, на заводе Крупна шестигранный профиль  $30—80 \text{ мм}$  прокатывается в трех калибрах: овальном, подготовительном и чистовом, размеры которых определяются по табл. 34, 35.

Таблица 34

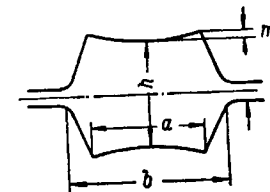
Размеры овального калибра, мм



Размер шестигранной стали	$b$	$h$	$\Delta$
30—40	$2,03d$	$1,2d$	5
41—60	$(1,25 \div 2,0)d$	$(1,10 \div 1,9)d$	5
65—80	$(1,33 \div 2,0)d$	$(1,25 \div 1,9)d$	5

Таблица 35

Размеры предотделочного калибра, мм



Размер шестигранной стали	$a$	$b$	$h$	$m$	$\Delta$
30—40	$(0,70 \div 0,75)d$	$(1,4 \div 1,47)d$	$(0,95 \div 0,90)d$	0,3	4
41—60	$(0,72 \div 0,8)d$	$(1,44 \div 1,58)d$	$(0,95 \div 1,0)d$	0,4	5
61—80	$(0,77 \div 0,84)d$	$(1,44 \div 1,54)d$	$(0,95 \div 1,0)d$	0,4	5

В последнее время вместо прокатки в чистовом калибре (рис. 118, а), отдельном для каждого размера, и точно ему соответствующем предчистовом прокатка производится в одном из ромбических калибров. Преимущество этой калибровки заключается в том, что она позволяет производить прокатку до  $10—12$  размеров шестигранника в одном калибре. Это дости-



гается исключительно увеличением зазора между валками. Такой способ прокатки шестигранной стали оправдал себя только при мелких заказах. При больших заказах на шестигранную сталь прокатка шестигранной стали в ромбических калибрах не рациональна.

Пример 3. По данным Круппа (табл. 34, 35) определить размеры овального калибра для прокатки шестигранной стали  $d = 60$  мм.

Решение.

$$b = 2,0d = 2,0 \cdot 60 = 120 \text{ мм},$$

$$h = 1,5d = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ мм},$$

$$\Delta = 5 \text{ мм},$$

$$\frac{h}{b} = \frac{90}{120} = 0,75.$$

Размеры предчистового калибра:

$$a = 0,75d = 0,75 \cdot 60 = 45 \text{ мм},$$

$$h = 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ мм},$$

$$h = 0,94d = 0,95 \cdot 60 = 57,0 \text{ мм},$$

$$m = 0,4 \text{ мм},$$

$$\Delta = 5,0 \text{ мм}.$$

#### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ \*

1. Составить калибровку валков для прокатки шестигранной стали  $d = 30$  мм на стане 350 из заготовки квадратного сечения  $44 \times 44$  мм.

2. Рассчитать размеры чистового и предчистовых калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 16$  мм из заготовки квадратного сечения  $22 \times 22$  мм на стане 270.

3. Определить размеры чистового и предчистового калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 19$  мм.

4. Рассчитать размеры чистового и предчистового калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 80$  мм.

5. Определить размеры предотделочных калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 20$  мм на стане 300.

6. Определить размеры предотделочного ребрового калибра для прокатки шестигранной стали  $d = 25$  мм на стане 300.

7. Определить размеры предотделочных калибров для прокатки шестигранной стали  $d = 50$  мм на стане 400.

\* Ответы последующих задач помещены после задачи 7.

#### Ответы к задачам 1—7

№ проходов	Форма калибра	Размеры калибра, мм		Площадь $F$ , мм <sup>2</sup>	$\mu$	Примечание
		Н	В			

1	Круг . . . . .	30,4	30,4	800	1,331	$\frac{F_3}{F_1} = \frac{1216}{800} = 1,52$
2	Предчистовой шестигранник	26,8	53,1	1065	1,274	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1,274}{1,331} = 0,957 = 0,96$
3	Ребровой . . .	38,3	88,3	1216	1,25	
4	Прямоугольный	33	46	1520	1,41	
5	Квадрат . . . . .	44	44	1936	—	

1	Круг . . . . .	16,2	16,2	227	1,25	$\frac{F_3}{F_1} = \frac{341}{227} = 1,5$
2	Предчистовой шестигранник	13,1	28,2	284	1,20	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1,20}{1,25} = 0,96$
3	Ребровой . . .	20,4	20,4	341	1,246	
4	Прямоугольный	15	28,2	425	1,138	
5	Квадрат . . . . .	22	22	484	—	

1	Круг . . . . .	19,3	19,3	372	1,247	$\frac{F_3}{F_1} = \frac{551}{372} = 1,48$
2	Предчистовой шестигранник	15,8	37,3	464	1,19	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = 0,95$
3	Ребровой . . .	25,9	25,9	551	—	

1	Круг . . . . .	81	81	5682	1,27	$\frac{F_3}{F_1} = 1,55$
2	Предчистовой шестигранник	71,3	136,9	7220	1,219	
3	Ребровой . . .	103,2	103,2	8807	—	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = 0,96$

1	Круг . . . . .	20,3	20,3	356,9	1,24	$\frac{F_3}{F_1} = 1,48$
2	Предчистовой шестигранник	17,9	33,7	443	1,192	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = 0,96$
3	Ребровой . . .	25,2	25,2	528,2	—	

№ проходов	Форма калибра	Размеры калибра, мм		Площадь $F$ , мм <sup>2</sup>	$\mu$	Примечание
		H	B			
К задаче 6						
1	Круг . . . . .	25,3	25,8	640	1,257	$\frac{F_3}{F_1} = 1,52$
2	Предчистовой шестигранник	22,3	47,2	805	1,20	
3	Ребровой . . .	34,3	34,3	972,8	—	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = 0,96$
К задаче 7						
1	Круг . . . . .	50,65	50,65	2221	1,27	$\frac{F_3}{F_1} = 1,55$
2	Предчистовой шестигранник	44,6	85,6	2824	1,22	
3	Ребровой . . .	64,5	64,5	3442	—	$\frac{\mu_2}{\mu_1} = 0,96$

#### § 4. ПРОКАТКА АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Арматурная сталь получила широкое распространение при изготовлении железобетонных конструкций. Арматурная сталь — это периодический профиль, представляющий собой круглые стержни с двумя продольными ребрами и выступами, идущими по двойной или тройной спиральной линии (рис. 120).

ГОСТ 5781—58 предусматривает стержни арматурной стали с номерами от 10 до 90. Каждому номеру соответствует свой номинальный диаметр прутка. Так, арматурной стали № 10 соответствует диаметр 9,3 мм; № 90—87,5 мм.

Номера сечений прутков (они же расчетные диаметры) должны соответствовать диаметрам равновеликих (по площади поперечного сечения) круглых стержней.

Чистовой калибр вытачивается по номинальному внутреннему диаметру  $d$ , после чего червячной фрезой протрагиваются желобки для образования выступов. Фреза должна иметь не более трех витков (один виток на каждом заходе), чтобы не происходило срезания уже готовых выступов ее витками, выходящими из работы (зацепления). Продольные ребра профиля образуются буртами калибра.

Размеры чистового калибра. Размеры периодического профиля (см. рис. 120) определяются внутренним  $d$  и наружным  $d_1$  диаметрами. При изготовлении шаблонов калибра следует

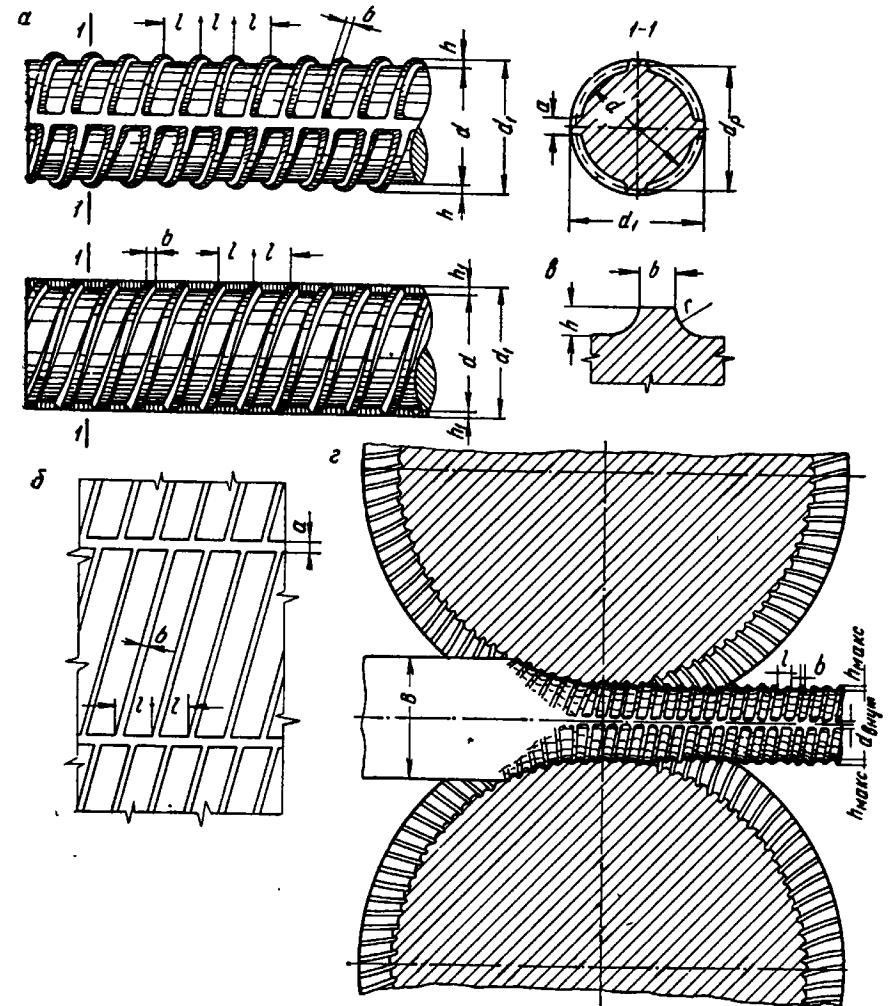


Рис. 120. Сталь арматурная периодического профиля:  
а — общий вид стержня; б — развернутая поверхность стержня; в — деталь винтового профиля; г — схема прокатки

учитывать толщину продольных ребер  $a$ , которая является зазором между валками в момент прокатки полосы.

Соответственно этому высота вреза калибра в бочку валка будет равна

$$h_p = \frac{d - a}{2} \cdot r$$

Внутренний диаметр профиля  $d$  для калибровки необходимо принимать из расчета минусового допуска, так как при фрезеровке валков происходит некоторое увеличение калибра. Кроме того, периодические выступы на поверхности калибра во время прокатки быстро изнашиваются, что приводит к увеличению диаметра профиля и повышению его веса.

Наружный диаметр профиля зависит от глубины нарезаемых канавок, размеры которых задаются для фрезеровки чистового калибра из расчета плюсовых допусков.

Н. В. Литовченко [29] считает процесс получения периодических профилей арматурной стали способом горячей прокатки, включающим в себя, кроме собственной прокатки еще и элемент штамповки (поверхностных винтовых выступов) (см. рис. 120, з). Штамповка винтовых выступов требует прокатку арматурной стали в чистовом калибре с повышенными вытяжками в сравнении с прокаткой круглого профиля без выступов.

В табл. 36 указаны коэффициенты вытяжки, при которых производится прокатка некоторых размеров арматурного периодического профиля.

Таблица 36

Коэффициенты вытяжки при прокатке некоторых размеров арматурного периодического профиля

(по Н. В. Литовченко и Б. П. Бахтинову)

№ арматурного профиля	Вытяжка в предчистовом овале	Вытяжка в чистовом круге	№ арматурного профиля	Вытяжка в предчистовом овале	Вытяжка в чистовом круге
20	1,25	1,55	30	1,35	1,5
22	1,24	1,6	32	1,31	1,5
24	1,24	1,58	36	1,25	1,55
26	1,23	1,37	40	1,20	1,60
28	1,38	1,45			

Размеры периодического овального калибра. Овалы, очерченные одним радиусом, применяются лишь при прокатке арматурного профиля № 10—18; для профилей больших размеров «острые» овалы не пригодны.

Овальные калибры должны иметь большие притупления —  $\frac{m}{h} = 0,4—0,5$  — или быть плоскими для обеспечения должного заполнения чистового калибра.

Плоские овалы рекомендуется строить с небольшой вогнутостью дна (0,5—1,0 мм на каждую сторону). Высота плоского овала  $h$  принимается несколько меньше высоты овала обычного

очертания. В зависимости от размера арматурного профиля высота плоского овала берется для арматурного профиля: до № 40

$$h_{\text{ов}} = h_{\text{обычн}} - (1 + 2) \text{ мм};$$

$$\text{свыше № 40 } h_{\text{ов}} = h_{\text{обычн}} - (1 + 4) \text{ мм}.$$

Высота обычного овала, очерченного одним радиусом (см. рис. 110), может быть найдена по графику (см. рис. 98) в зависимости от диаметра чистового круга.

Ширина овала для арматурного профиля определяется по формуле

$$b = \frac{F}{h} + 0,215h.$$

Размеры плоских овалов для различных номеров арматурного профиля приведены в табл. 37, 38.

Таблица 37

Средние значения размеров предчистового овала для периодического профиля арматурной стали [29], мм

№ профиля	Внутренний диаметр профиля $d_{\text{в}}$	Наружный диаметр профиля $d_1$	Общая высота овала $h$	Общая ширина овала $b_1$	Зазор между валками $\Delta$	Радиус закругления овала $r$	Прогиб, $s$	Глубина ручья $\frac{h - \Delta}{2}$
10	8,8	11,8	8,5	17	2	4	—	3,25
12	10,5	14,0	10	20	3	5	—	3,5
14	12,5	16,0	12	22	3	6	—	4,5
16	14,5	18,5	14,5	24	3	7,5	—	5,75
18	16,5	20,5	15	26	3	8,5	—	6,0
20	18,5	22,5	18	30,5	3	9	0,5	7,5
22	20,5	24,5	19	35	3	12	0,5	8
25	23,5	27,5	23	40	3	12	0,5	10
28	26,0	31,5	26	45	4	12	0,5	11
32	30	35,5	28	53	4	18,5	0,5	12
36	34	40,5	35	58,5	5	21	0,5	15
40	38,0	44,5	36	64	5	23	0,5	15,5
45	42,5	50,0	37	72	6	26	0,5	15,5
50	47,5	55,5	38	90	8	24	0,5	15,0
55	52,7	60,7	41	95,5	8	28	0,5	16,5
60	57,7	65,7	48	96	11	28	0,5	18,5
70	67,7	75,7	58	115	12	38	0,5	23,0
80	77,2	85,7	66	133	13	50	0,5	26,5
90	87,2	95,2	77	154	9	65	0,5	34,0

Таблица 38

Размеры<sup>1</sup> предчистового овала для периодического профиля арматурной стали [29]

№ профиля	Отношение высоты овала к его ширине $\frac{h}{b}$	Отношение высоты овала к внутреннему диаметру профиля $\frac{n}{d_{\text{в}}}$	Отношение ширины овала к внутреннему диаметру профиля $\frac{b}{d_{\text{в}}}$	Размер внутреннего диаметра профиля $b_{\text{в}}$ , мм	Среднее значение отношения высоты овала к диаметру (номеру) профиля $\frac{h}{b}$	Среднее значение отношения ширины овала к диаметру (номеру) профиля $\frac{b}{d}$
10	0,50—0,51	0,967—0,97	1,93—1,95	8,8	0,85	1,7
12	0,50—0,51	0,954—0,96	1,9—1,91	10,5	0,835	1,665
14	0,545—0,55	0,96—0,97	1,76—1,8	12,5	0,858	1,57
16	0,605—0,61	0,99—1,0	1,65—1,7	14,5	0,908	1,5
18	0,602—0,61	0,91—0,92	1,575—1,58	16,5	0,835	1,44
20	0,60—0,61	0,975—0,98	1,63—1,65	18,5	0,90	1,5
22	0,545—0,55	0,925—0,93	1,69—1,7	20,5	0,865	1,59
25	0,575—0,58	0,978—0,98	1,69—1,7	23,5	0,92	1,6
28	0,58	0,99—1,0	1,7—1,73	26	0,93	1,6
32	0,53—0,54	0,934—0,94	1,75—1,76	30	0,875	1,65
36	0,60—0,61	0,95—1,0	1,72—1,73	34	0,97	1,62
40	0,565—0,57	0,95—0,96	1,685—1,60	38	0,90	1,6
45	0,515—0,52	0,87—0,88	1,69—1,7	42,5	0,823	1,6
50	0,422—0,43	0,80—0,81	1,88—1,9	47,5	0,76	1,8
55	0,428—0,43	0,78—0,8	1,82—1,83	52,7	0,745	1,725
60	0,505—0,51	0,835—0,84	1,66—1,7	57,7	0,80	1,6
70	0,505—0,51	0,85—0,86	1,66—1,7	67,7	0,83	1,64
80	0,50—0,51	0,855—0,86	1,7—1,75	77,2	0,825	1,65
90	0,50—0,51	0,885—0,89	1,75—1,78	87,2	0,855	1,725

<sup>1</sup> Таблица составлена на основании многочисленных измерений при прокатке на станке Магнитогорского металлургического комбината.

**Форма и размеры предовальных калибров.** При прокатке периодического профиля арматурной стали сечение предовальной полосы может иметь квадратную, прямоугольную или специальную форму, соответственно размеру профиля (рис. 121).

Размеры предчистового квадрата в зависимости от размеров чистового круга определяются по формуле

$$a_{\text{кв}} = (1,05 \div 1,15) d_{\text{кр}},$$

где  $a_{\text{кв}}$  — сторона предчистового квадрата;

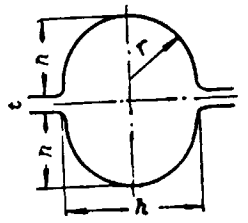
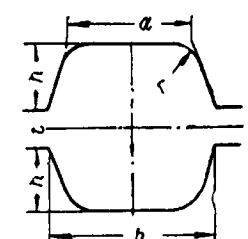
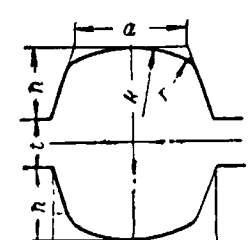
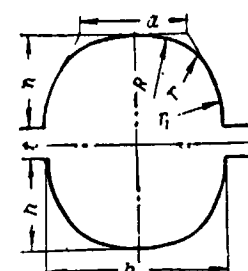
$d_{\text{кр}}$  — диаметр чистового круга.

Сторона предчистового квадрата для прокатки периодического профиля равна  $(1,2 \div 1,25) d_{\text{кр}}$ .

Специальная форма и размеры предовальных калибров для прокатки периодического профиля арматурной стали представлены в табл. 39.

Таблица 39

Форма и размеры предовальных калибров для различных профилей

Форма предовального калибра	№ профиля	Размеры предовального калибра, мм						
		$a$	$b$	$h$	$R$	$r$	$r_1$	$t$
	14	—	15,2	7,6	—	7,5	—	3
	16	—	18,0	9,5	—	8,5	—	3
	18	—	20,0	11,0	—	9,5	—	3
	20	—	22,0	12,5	—	10,5	—	3
	20	15	25	10	—	6	—	11
	22	16	27	11	—	7	—	9
	25	18	30	12	—	8	—	10
	28	22	36	14	—	8	—	13
	32	27	40	18	32	8	—	10
	36	29	42	19	34	8	—	18
	40	34	49	21	40	10	—	19
	45	40	58	26	48	10	—	17
	50	—	—	—	—	—	—	18
	55	35	62	27,5	—	10	41	32
	60	—	—	—	—	—	—	24
	70	38	72	33	90	10	53	44
	80	48,5	93	41	120	25	87	43
	90	49,5	99	44	60	30	85	54

В отдельных случаях для прокатки периодического профиля арматурной стали свыше № 20 рекомендуется пользоваться универсальной калибровкой (рис. 122).

Схема прокатки арматурной стали № 10—25, используемая на Магнитогорском металлургическом комбинате, показана на рис. 123.

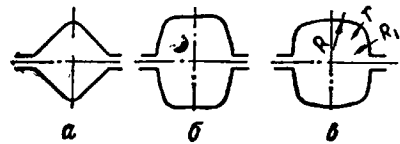


Рис. 121. Форма предовальных калибров для арматурного профиля: а — малых размеров (до № 16); б — средних размеров (№ 18—45); в — больших размеров (№ 50—90)

Примеры размеров полос для универсальной калибровки арматурного профиля № 80—50 приведены в табл. 40.

Таблица 40

Примерные размеры полосы, мм, для универсальной калибровки периодического профиля арматурной стали

(по Н. В. Литовченко и Б. П. Бахтинову)

№ арматурного профиля	Клети стана и форма калибра			
	Овал (XIII)	Прямоугольник из ребрового калибра (VII)	Полоса в гладких валах (VI)	Прямоугольник из щипчатого калибра (V)
80	132/65*	125/86	145/80	135/110
70	115/58	110/70	129/65	88/115
60	95/48	90/66	122/58	103/94
55	96/41	90/66	113/57	90/80
50	90/38	73/62	100/54	95/73

\* Первая цифра — ширина, вторая — высота полосы.

Рис. 122. Схема универсальной калибровки для прокатки круглых и арматурных профилей

Пример. Определить размеры чистового и предчистовых калибров для получения арматурной стали № 22 на стане 300. Основные размеры холодного профиля арматурной стали № 2: расчетный диаметр  $d_p = 22$  мм; внутренний номинальный диаметр  $d_b = 21$  мм; наружный номинальный диаметр  $d_1 = 24$  мм; толщина выступа  $a = 2$  мм.

Решение. При построении чистового калибра температурные изменения учитываются только для размеров:

$$d_b = 21 \cdot 1,013 = 21,3 \text{ мм},$$

$$d_1 = 24 \cdot 1,013 = 24,3 \text{ мм}.$$

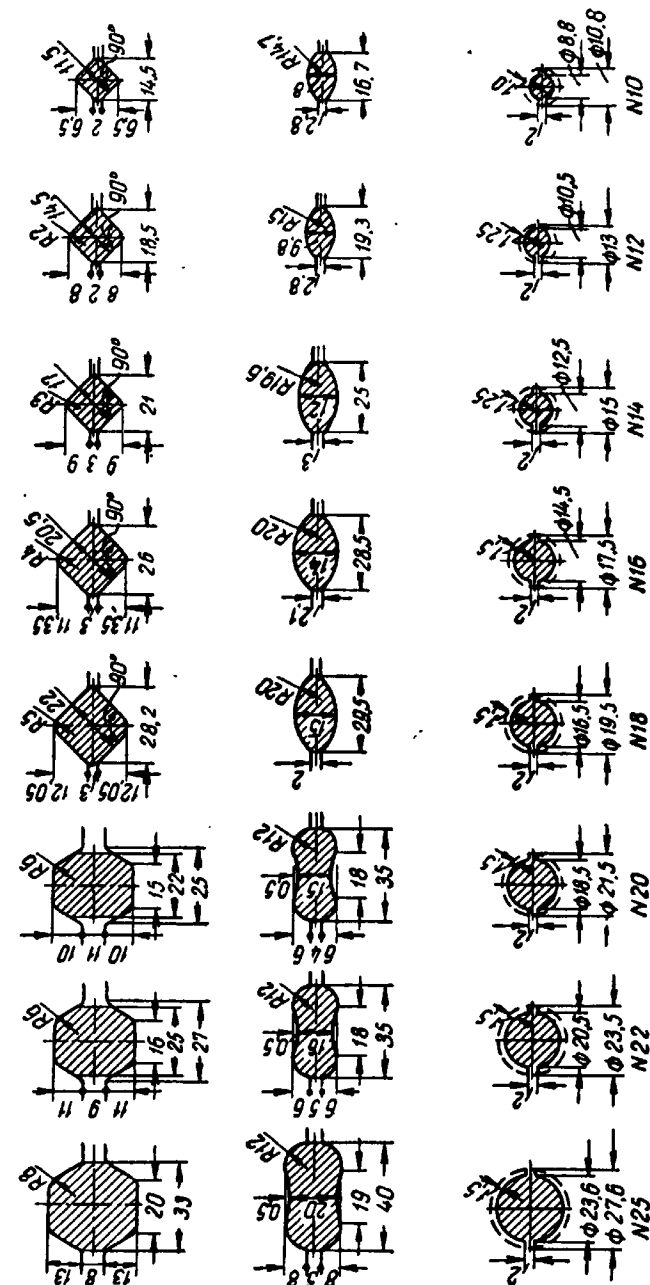


Рис. 123. Схема прокатки арматурной стали № 10—25

Эквивалентный диаметр будет равен

$$d_r = 1,013 \cdot 22 = 22,3 \text{ мм.}$$

Площадь профиля в горячем состоянии

$$F = 0,785 \cdot d_r^2 = 0,785 \cdot 22,3^2 = 393 \text{ мм}^2.$$

Увеличение зазора между валками должно быть равным толщине продольного ребра  $\Delta = a = 2 \text{ мм}$ .

Принимаем схему калибровок по пятому способу (рис. 95). Площадь квадратного калибра определяем из расчета прокатки круга, имеющего размеры:

$$d_1 = 24 \text{ мм};$$

$$F_{\text{условн}} = 0,785 \cdot d_1^2 = 0,785 \cdot 24,3^2 = 450 \text{ мм}^2.$$

Принимая вытяжку от круга к квадрату равной  $\mu_{\square} = 1,48$  (см. рис. 96), получаем площадь квадрата

$$F_3 = E_{\text{условн}} \mu_{\square} = 450 \cdot 1,48 = 665 \text{ мм}^2.$$

Действительная вытяжка от квадрата к кругу

$$\mu_{\square} = \frac{F_3}{F_1} = \frac{665}{393} = 1,70.$$

Определяем размеры для построения квадратного калибра (см. рис. 100):

$$a = 1,1 \cdot \sqrt{F} = 1,1 \cdot \sqrt{665} = 28,1 \text{ мм},$$

$$R' = a = 28 \text{ мм},$$

$$R = 0,6a = 0,6 \cdot 28,1 = 17 \text{ мм},$$

$$r = 0,2a = 0,2 \cdot 28,1 = 5,4 \text{ мм},$$

$$\Delta = 3 \text{ мм}.$$

Принимаем  $\frac{\mu_1}{\mu_2} = 0,75$ , тогда площадь овала

$$F_2 = \frac{F_1 F_3}{\frac{\mu_1}{\mu_2}} = \frac{393 \cdot 665}{0,75} = 585 \text{ мм}^2.$$

Высота овала (см. рис. 98):

$$\frac{h}{d} = 0,85; \quad h_2 = 0,85d_p = 0,85 \cdot 22,3 = 19 \text{ мм}.$$

Для арматурной стали высоту плоского овала берем на 1 мм меньше:  $h_2 = 18 \text{ мм}$ .

Ширина плоского овала

$$b = \frac{F_2}{h} + 0,215h = \frac{585}{18} + 0,215 \cdot 18 = 36,3 \text{ мм}.$$

Величину зазора принимаем равной 4 мм.

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить размеры арматурной стали № 80, если прокатка производится на стане 650 по схеме универсальной калибровки. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $\mu = 1,53$ , отношение высоты овала к диаметру круга:  $\frac{h}{d} = 0,8$ ;  $1 + \alpha = 1,013$ .

Отв.  $h = 65 \text{ мм}$ ,  $b = 135 \text{ мм}$ .

2. Найти размер  $a$  предчистового квадрата для прокатки арматурной стали № 32, если площадь квадрата отыскивается из расчета прокатки условного круга, имеющего размер  $d_1 = 34,5 \text{ мм}$ . Общая вытяжка от квадрата до круга  $\mu_{\square} = 1,54$ .

Отв.  $a = 41,7 \text{ мм}$ .

3. Определить размеры предчистового овала для прокатки арматурной стали № 12 по следующим данным:  $\frac{h}{d} = 0,8$ ;  $\mu_{\text{кр}} = 1,63$ .

Отв.  $h = 9,8 \text{ мм}$ ,  $b = 19,5 \text{ мм}$ .

4. Определить размер  $a$  предотделочного квадрата (ребровой полосы) для прокатки арматурной стали № 50 по следующим данным: диаметры чистового калибра  $d_p = 50 \text{ мм}$ ,  $d_1 = 54 \text{ мм}$ . Общий коэффициент вытяжки от квадрата до круга  $\mu_{\square} = 1,52$ .

Отв.  $a = 67,3 \text{ мм}$ .

5. В каких пределах будет изменяться вытяжка в чистовом круге при прокатке арматурной стали, если вытяжка в овале равна  $\mu_{\text{ов}} = 1,20$  и отношение вытяжки в чистовом калибре к вытяжке в овале находится в пределах  $\frac{\mu_{\text{кр}}}{\mu_{\text{ов}}} = 1,1 \div 1,33$ .

Отв.  $\mu_{\text{кр}} = 1,32 \div 1,596$ .

6. Определить высоту вреза чистового калибра в бочку валка для прокатки арматурной стали № 22, если толщина винтового гребня  $a = 2 \text{ мм}$ .

Отв.  $h_p = 9,6 \text{ мм}$ .

7. По данным схемы прокатки арматурной стали № 25 (см. рис. 122) составить анализ калибровки и обосновать размеры калибров, указанных на данном рисунке.

### § 5. ПРОКАТКА ПОЛОСОВОЙ СТАЛИ

Прокатка полосы ведется двумя способами: в закрытых калибрах и в гладких (или ступенчатых) валках, с предчистовым ребровым пропуском. Первый способ применяется для полос шириной 80—200 мм. Второй — для 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.

На рис. 124 представлены типичные схемы калибровки валков для прокатки полосовой стали.

Схема прокатки полос на полунепрерывном мелкосортном

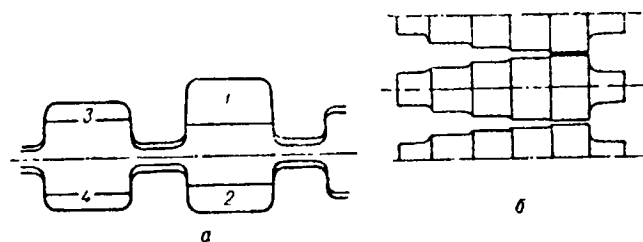


Рис. 124. Прокатка полосовой стали:  
а — калибровка валков с закрытыми формами калибров для прокатки сугунки шириной 200—250 мм; б — ступенчатые валки для прокатки полосового профиля

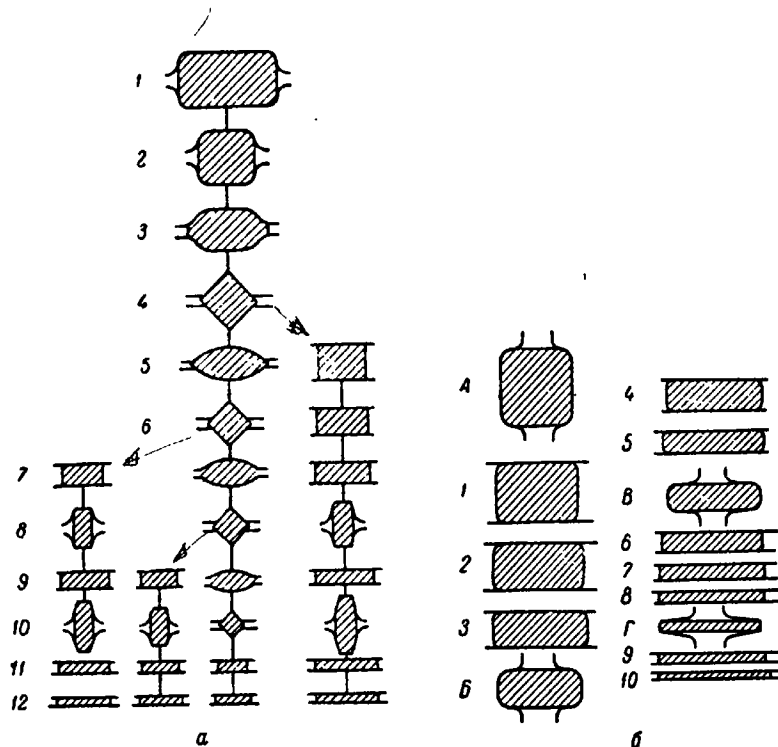


Рис. 125. Схемы прокатки полосовой стали:  
а — стан линейного типа; б — непрерывный стан; А — Г — клетки с вертикальными валками; 1 — 10 — клетки с горизонтальными валками

стане и на непрерывном полосовом стане представлена на рис. 125.

При калибровке валков для прокатки полосовой стали используют ребровые калибры. Конструкция таких калибров ука-

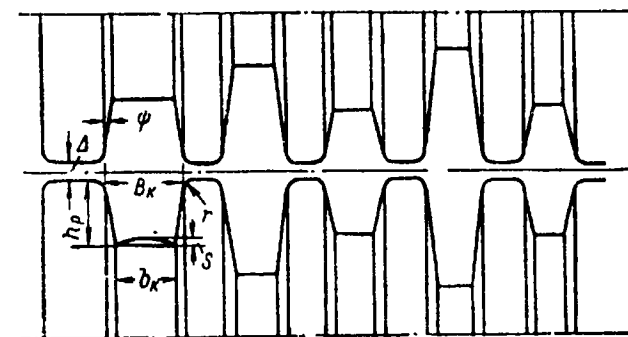


Рис. 126. Валки с ребровыми калибрами

зана на рис. 126. Для определения основных размеров ребровых калибров руководствуются следующими нормами:

а) коэффициент деформации  $\eta = \frac{H}{h}$  должен быть в пределах 1,05 ÷ 1,20. Чем тоньше и шире полоса, тем меньше должна быть величина обжатия;

б) ширина дна калибра  $b_k$  принимается равной  $b_k = (0,98 \div 1,05)b$ , где  $b$  — ширина задаваемой в калибр полосы;

в) уклон боковых стенок находится в пределах 5—10% или  $\tan \psi = 0,05 \div 0,10$ ;

г) выпуклость дна калибра  $s$  принимается от 0,5 до 1,0 мм;

д) глубина вреза  $h_p$  выбирается из расчета получения нормального зазора (около  $0,015 D_p$ ) при прокатке наиболее узких полос, для которых используется данный калибр. Для более широких полос величина зазора увеличивается за счет подъема верхнего вала. Углы калибра выполняются острыми, фаски буртов округляются радиусом  $r = 5 \div 15$  мм;

е) когда ширина прокатываемой полосы значительно превосходит ширину исходной заготовки, калибровщики прибегают к специальным приемам искусственного увеличения ширины прокатываемой полосы за счет вынужденного уширения метал-

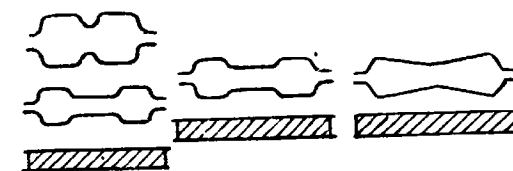


Рис. 127. Форма разгонных калибров

ла, достигаемого применением особой конструкции калибров, так называемых «разгонных» (рис. 127).

Иногда увеличение ширины прокатываемой полосы достигается использованием вынужденного уширения в комбинации с диагональным расположением исходной заготовки при задаче в первый фасонный полосовой калибр. Такой способ применяется главным образом для заготовок сравнительно небольших размеров.

### Расчет режима обжатий по методу А. П. Виноградова и Л. Жёза

1. В условие задачи должны входить следующие данные: схема расположения оборудования прокатного стана; характеристика прокатного стана; размер и материал полосы; ГОСТ; в отдельных случаях размеры исходной заготовки.

2. Определяется сторона предотделочного квадрата (размеры полосы принимаются в горячем состоянии):

$$a = \frac{1,015b + kh}{1 + k},$$

где  $b$  — ширина полосы;

$h$  — толщина полосы;

$k$  — показатель уширения, принимается в пределах 0,2—0,4 или определяется по диаграмме (см. рис. 25).

3. Рассчитывается общий коэффициент высотной деформации:

$$\eta_{o.p} = \frac{a}{h}.$$

Затем по табл. 41 находится общий коэффициент деформации  $\eta_t$ , близкий к  $\eta_{o.p}$  после этого из этой же таблицы выписываются частные коэффициенты деформации по проходам.

4. Если имеется расхождение между величиной  $\eta_t$  и  $\eta_{o.p}$ , то ряд табличных частных коэффициентов деформации подлежит корректировке, для чего вычисляется поправочный коэффициент  $K$ :

$$K = \sqrt[n-1]{\frac{\eta_{o.p}}{\eta_{o.t}}},$$

затем корректируют табличный частный коэффициент за проход. Тогда имеют

$$\eta_{2k} = \eta_{2t} K; \eta_{3k} = \eta_{3t} K \dots \eta_{n.k} = \eta_{n.t} K,$$

где  $\eta_{2k}$  — коэффициент деформации после корректировки;

$\eta_{2t}$  — табличный коэффициент деформации;

$K$  — поправочный коэффициент.

При установлении частных коэффициентов высотной дефор-

Таблица 41

Коэффициент высотной деформации

№ вариан-та	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Суммарный коэффициент высотного обжатия
1	1,00	1,25	1,50	—	—	—	—	—	—	1,87
2	1,00	1,60	1,60	—	—	—	—	—	—	2,08
3	1,00	1,35	1,70	—	—	—	—	—	—	2,30
4	1,00	1,40	1,80	—	—	—	—	—	—	2,52
5	1,00	1,45	1,90	—	—	—	—	—	—	2,76
6	1,00	1,50	2,0	—	—	—	—	—	—	3,00
7	1,00	1,17	1,34	1,50	—	—	—	—	—	2,35
8	1,00	1,20	1,40	1,60	—	—	—	—	—	2,69
9	1,00	1,23	1,46	1,70	—	—	—	—	—	3,05
10	1,00	1,27	1,54	1,80	—	—	—	—	—	3,52
11	1,00	1,30	1,60	1,90	—	—	—	—	—	3,95
12	1,00	1,33	1,67	2,00	—	—	—	—	—	4,44
13	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500	—	—	—	—	2,90
14	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60	—	—	—	—	3,47
15	1,000	1,175	1,350	1,525	1,700	—	—	—	—	4,11
16	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	—	—	—	—	4,84
17	1,000	1,225	1,450	1,675	1,900	—	—	—	—	5,66
18	1,000	1,25	1,50	1,75	2,00	—	—	—	—	6,56
19	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	—	—	—	3,6
20	1,00	1,22	1,24	1,36	1,48	1,60	—	—	—	4,47
21	1,00	1,14	1,28	1,42	1,55	1,70	—	—	—	5,50
22	1,00	1,16	1,32	1,48	1,64	1,80	—	—	—	6,69
23	1,00	1,18	1,36	1,54	1,72	1,90	—	—	—	8,07
24	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,0	—	—	—	9,67
25	1,00	1,083	1,166	1,249	1,33	1,415	1,500	—	—	4,46
26	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	—	—	5,77
27	1,000	1,117	1,234	1,351	1,467	1,585	1,700	—	—	7,36
28	1,000	1,133	1,266	1,399	1,532	1,665	1,800	—	—	9,22
29	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60	1,75	1,90	—	—	11,52
30	1,000	1,167	1,334	1,501	1,668	1,835	2,000	—	—	14,28
31	1,00	1,07	1,14	1,21	1,28	1,35	1,42	1,50	—	5,43
32	1,000	1,086	1,172	1,258	1,344	1,430	1,516	1,600	—	7,46
33	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	—	9,8
34	1,000	1,114	1,228	1,342	1,456	1,570	1,684	1,800	—	12,7
35	1,00	1,13	1,26	1,39	1,52	1,65	1,78	1,90	—	16,8
36	1,00	1,14	1,29	1,43	1,57	1,71	1,85	2,00	—	20,9
37	1,000	1,063	1,125	1,188	1,225	1,313	1,375	1,438	1,500	6,91
38	1,000	1,075	1,150	1,225	1,300	1,375	1,450	1,525	1,600	9,56
39	1,000	1,088	1,176	1,264	1,352	1,440	1,528	1,616	1,700	13,3
40	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	17,8
41	1,00	1,11	1,22	1,33	1,44	1,55	1,67	1,79	1,90	22,8
42	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500	1,625	1,750	1,875	2,000	30,9



мации учитывают прочность валков, мощность двигателя, условия захвата и пластичность деформируемой стали. В последнем чистовом проходе коэффициент деформации берут не менее  $1,15 \div 1,20$ , чтобы полоса по выходе из валков не скручивалась и не изгибалась в горизонтальной плоскости.

5. Зная толщину полосы после каждого прохода, приближенно выбирают коэффициент уширения (см. рис. 25), а затем рассчитывают уширение металла при прокатке в каждом проходе по формуле

$$\Delta b_1 = m \Delta h,$$

ширину полосы после каждого прохода

$$B_1 = B_0 + \Delta b_1,$$

где  $B_0, B_1$  — ширина полосы до и после прокатки;

$\Delta b_1$  — уширение за данный проход.

6. Составляют таблицу, в которой указывают номера калибров, коэффициенты деформации  $\eta_t, \eta_p$ , высоту (толщину) полосы после каждого прохода  $h_t, h_p$ , линейное обжатие  $\Delta h$ , коэффициент уширения  $m$ , уширение  $\Delta b$  и ширину полосы после каждого прохода  $b$ .

7. Определяют основные размеры калибров и проверяют расчетные данные калибровки полосы из условий захвата, мощности двигателя и прочности валков.

8. Составляют чертеж калибровки валков.

Пример. Определить частные вытяжки по проходам при прокатке полосы толщиной 7 мм из квадрата  $75 \times 75$  мм. Общий коэффициент деформации при прокатке полосы толщиной  $h = 7$  мм из квадрата  $a = 75$  мм равен  $\eta_{o.p} = 10,7$ .

Ближайшее значение общего коэффициента деформации по табл. 41 равно  $\eta_{o.p} = 11,52$ . Частные вытяжки по проходам (см. табл. 41):  $\eta_1 = 1,00$ ;  $\eta_2 = 1,15$ ;  $\eta_3 = 1,30$ ;  $\eta_4 = 1,45$ ;  $\eta_5 = 1,60$ ;  $\eta_6 = 1,75$  и  $\eta_7 = 1,90$  или  $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 \eta_7 = 11,52$  вместо  $\eta_{o.p} = 10,7$ .

Корректируются частные вытяжки следующим способом.

Поправочный коэффициент  $K = \sqrt[6]{\frac{10,7}{11,52}} = 0,99$ . Затем частные коэффициенты деформации умножают на поправочный коэффициент:  $\eta_2 = 1,15 \cdot 0,99 = 1,14$ ;  $\eta_3 = 1,30 \cdot 0,99 = 1,29$ ;  $\eta_4 = 1,45 \cdot 0,99 = 1,43$ ;  $\eta_5 = 1,6 \cdot 0,99 = 1,58$ ;  $\eta_6 = 1,75 \cdot 0,99 = 1,73$ ;  $\eta_7 = 1,90 \cdot 0,99 = 1,88$ .

Производя расчет по ходу прокатки, определяют толщину полосы после каждого прохода:

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{75}{1,88} = 40; & h_2 &= \frac{40}{1,73} = 23; \\ h_3 &= \frac{23}{1,58} = 14,5; & h_4 &= \frac{14,5}{1,43} = 10; \\ h_5 &= \frac{10}{1,20} = 7,75; & h_6 &= \frac{7,75}{1,14} = 7 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Конечные размеры полосы  $7 \times 90$  мм. Ширина полосы в горячем состоянии  $b = 91,3$  мм. Следовательно, при прокатке этой полосы из квадрата  $75 \times$

$\times 75$  мм суммарное уширение должно быть равно  $\Sigma \Delta b = 91,3 - 75 = 16,3$  мм.

Суммарное уширение разбиваем на 6 проходов:  $\Delta b_1 = 6$ ,  $\Delta b_2 = 4$ ,  $\Delta b_3 = 3$ ,  $\Delta b_4 = 2,0$ ,  $\Delta b_5 = 0,9$ ,  $\Delta b_6 = 0,4$  мм

или

$$\Sigma \Delta b = 16,3 = 6 + 4 + 3 + 2 + 0,9 + 0,4.$$

После этого определяем ширину полосы после каждого прохода.

### Расчет режима обжатий по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова

Предлагается следующая последовательность расчета калибровки полосовой стали.

1. Распределение деформации  $\eta_0$  по проходам производится таким образом, что для каждого прохода устанавливается такой коэффициент деформации, при котором абсолютное обжатие  $\Delta h$  равно или меньше максимально допустимого  $\Delta h_{\max}$ , подсчитанного из условий захвата металла валками.

2. Коэффициенты деформации в плоских калибрах распределяются отдельно от ребровых.

3. Толщина полосы определяется против хода прокатки в каждом плоском калибре.

4. Определяются линейные обжатия в каждом плоском калибре или проходе.

5. Находится суммарное обжатие в ребровых калибрах. Если в схеме прокатки имеются два ребровых калибра, а всего вместе с ними  $n$ -калибров, то суммарное обжатие в ребровых калибрах определяется по формуле

$$\Sigma \Delta h_p = \Delta h_{p_1} + \Delta h_{p_2} = (B_0 - b_n) + \sum_1^{n-2} \Delta b,$$

где  $\Delta h_{p_1}, \Delta h_{p_2}$  — линейные обжатия в первом и втором ребровых калибрах;

$B_0$  — ширина исходной заготовки в горячем состоянии;

$b_n$  — ширина готовой полосы;

$\sum_1^{n-2} \Delta b$  — суммарное уширение металла при прокатке в калибрах или клетях непрерывного стана (без ребровых).

6. Уширение находится в каждом проходе по формуле Бахтинова.

7. При распределении суммарного обжатия между ребровыми калибрами допускаемое обжатие в них берется в пределах от 5 до 20%.

8. Размеры предчистового ребрового калибра подсчитывают по формулам:

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

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

Величину уширения в ребровых калибрах обычно не рассчитывают, так как она очень незначительна.

9. Определяется коэффициент деформации в ребровом калибре

$$\eta_{n-1} = \frac{b_{n-2}}{h_{n-1}}$$

10. Рассчитывается ширина полосы во всех плоских калибрах.

11. Определяются размеры промежуточного ребрового калибра (см. п. 8).

12. Определяются основные размеры ребрового калибра.

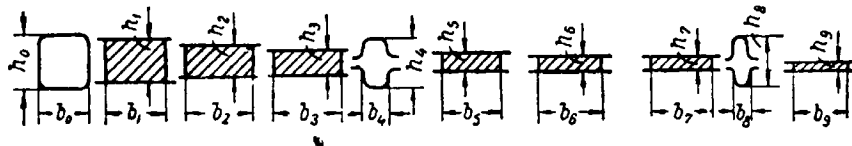


Рис. 128. Предварительная схема для расчета режима обжатий

Метод Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова применим тогда, когда известны:

1) размер исходного квадрата; 2) диаметры валков и расположение рабочих клетей.

Пример. Определить суммарное обжатие в четвертой и восьмой клетях, т. е. в ребровых калибрах (см. рис. 128) по следующим данным: размер исходной заготовки в горячем состоянии  $H_0 \times B_0 = 172 \times 172$  мм, готовая полоса (горячие размеры)  $162 \times 16$  мм. Прокатка полосы производится по схеме, указанной на рис. 128. Рабочие диаметры в 1-й клетке 500 мм; во 2-й—540 мм, в 3-й—580 мм, в 5-й—500 мм, в 6-й, 7-й и 9-й клетях—520 мм. Коэффициент трения в 1-й и 2-й клетях  $f = 0,43$ ; в 3-й  $f = 0,38$ ; в 6-й  $f = 0,36$ ; в 7-й  $f = 0,34$  и в 9-й клетке  $f = 0,31$ . Прокатка в плоских калибрах производится при следующих коэффициентах деформации:

$$\eta_1=1,3; \eta_2=1,46; \eta_3=1,6; \eta_5=1,55; \eta_6=1,4; \eta_7=1,3; \eta_9=1,25.$$

Решение. Определяется толщина полосы после каждого прохода по указанному выше методу. Тогда толщина полосы (по проходам) будет равна:

$$h_9=16; h_7=20; h_6=26; h_5=36; h_3=56; h_2=90; h_1=132; H_0=182 \text{ мм.}$$

Величина  $\Delta h$  по клетям:  $\Delta h_1 = 40$ ;  $\Delta h_2 = 42$ ;  $\Delta h_3 = 34$ ;  $\Delta h_5 = 20$ ;  $\Delta h_6 = 10$  мм.

Уширение металла при прокатке определяется по формуле Бахтинова. Результаты подсчета  $\Delta b$ :

$$\Delta b_1=7; \Delta b_2=10,5; \Delta b_3=12,5; \Delta b_5=8,0; \Delta b_6=6,1; \Delta b_7=4,1; \Delta b_9=3,0 \text{ мм.}$$

Суммарное уширение металла

$$\sum_{i=1}^{n-2} \Delta b = 7 + 10,5 + 12,5 + 8,0 + 6,1 + 4,1 + 3 = 51,2 \text{ мм.}$$

Тогда суммарное обжатие в четвертой и восьмой клетях, т. е. в ребровых калибрах, равно

$$\Delta h_{p-4} + \Delta h_{p-8} = B_0 - b_9 + \sum_{i=1}^{n-2} \Delta b = 172 - 162 + 51,2 = 61,2 \text{ мм.}$$

В решении даны конечные результаты расчетов по рассмотренным выше формулам.

### Расчет режима обжатий по методу А. П. Чекмарева и В. С. Смирнова

Метод расчета калибровки полосовой стали по А. П. Чекмареву и В. С. Смирнову незначительно отличается от метода А. П. Виноградова и Л. Жёза.

При определении размера исходного квадратного сечения для прокатки полосы А. П. Чекмарев предлагает пользоваться следующими значениями

$$K = \left( \frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_{\text{ср}} :$$

	Прокатка на гладкой бочке	Прокатка в калибрах
Тонкие и узкие полосы . . .	0,60—0,75	0,28—0,35
Толстые и широкие полосы . . .	0,30—0,45	0,15—0,20
Средние по толщине и ширине . . . . .	0,45—0,60	0,20—0,25

Распределение обжатий по проходам и определение числа проходов основывается на коэффициентах обжатий по проходам при прокатке в закрытых калибрах (табл. 42) и при прокатке полос в гладких валках (табл. 43).

Таблица 42

Коэффициенты обжатий по проходам при прокатке полос в закрытых калибрах

№ прохода	Весьма энергичный режим прокатки		Энергичный режим прокатки		Средний режим прокатки		Слабый режим прокатки	
	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$
1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,25	1,25	1,15	1,15
2	1,6	2,24	1,50	1,95	1,40	1,75	1,20	1,38
3	1,8	4,03	1,70	3,31	1,50	2,63	1,25	1,72
4	2,0	8,06	1,80	5,98	1,60	4,20	1,30	2,24
5	2,0	16,12	1,80	10,78	1,60	6,72	1,30	2,90
6	2,0	32,24	1,80	19,40	1,60	10,75	1,30	3,78
7	—	—	1,80	34,80	1,60	17,20	1,30	4,92
8	—	—	—	—	1,60	27,5	1,30	6,75
9	—	—	—	—	—	—	1,30	8,30

Таблица 43

Коэффициенты обжатия при прокатке полос в гладких валках  
(по А. П. Чекмареву)

№ прохода	Весьма энергичный режим прокатки		Энергичный режим прокатки		Средний режим прокатки		Слабый режим прокатки	
	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	$\eta_0$
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	2,0	5,76	1,80	4,59	1,60	3,36	1,30	1,95
4	2,0	11,52	1,80	8,25	1,60	5,37	1,30	2,54
5	2,0	23,00	1,80	14,89	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

В случае расхождения расчетного суммарного коэффициента высотной деформации  $\eta_{0\Gamma}$  с данными табл. 43 А. П. Чекмарев корректирует величины частных коэффициентов деформации по методу А. П. Виноградова и Л. Жёза, пользуясь той же формулой для определения поправочного коэффициента:

$$K = \sqrt[n]{\frac{\eta_{0.p}}{\eta_{0.\Gamma}}}$$

Уширение при прокатке полосовой стали А. П. Чекмарев предлагает определять по его формуле

$$\Delta b = \frac{2b_{cp} \Delta h K}{(H + h) \left[ 1 + (1 + \alpha) \left( \frac{b_{cp}}{Ra} \right)^n \right]},$$

где  $K$  — коэффициент ограниченного уширения в калибрах, равный 0,6, и свободного уширения, равный 9,5.

При подсчете стороны исходного квадрата пользуются общим коэффициентом  $K_0$ , равным:

Для ширины полосы:

$$\begin{aligned} \text{до } 80 \text{ мм} & \dots \dots \dots K_0 = 0,7 + 0,9 \\ \text{от } 80 + 150 \text{ мм} & \dots \dots \dots K_0 = 0,5 - 0,7 \\ \text{свыше } 150 \text{ мм} & \dots \dots \dots K_0 = 0,3 - 0,5. \end{aligned}$$

Расчет режимов прокатки полосовой стали заканчивается проверкой принятых обжатий из условий захвата, мощности двигателя и составлением общей таблицы, в которой приводятся все расчетные данные.

При определении размеров закрытых калибров руководствуются данными, рекомендуемыми В. С. Смирновым:

- 1) выпуск при ширине полосы 8—40 мм принимается равным для черновых калибров 3%, для чистовых 1,5%;
- 2) выпуск при более широких полосах: для черновых калибров 4—5%, для чистовых 3%;
- 3) высота открытой части калибра, входящая в закрытую:

$$H = h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}} + \Delta + 5 \text{ мм},$$

высота закрытой части калибра

$$H' = h_{\text{макс}} + 5 \text{ мм}.$$

Конструкция закрытого калибра для прокатки полос показана на рис. 129.

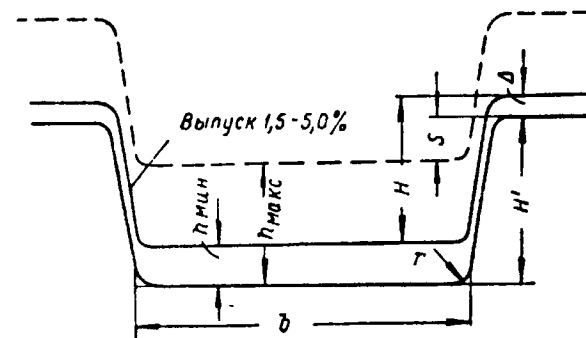


Рис. 129. Конструкция закрытого калибра

Разность толщины полос, прокатываемых в одних и тех же калибрах, должна быть не более 20 мм.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие существуют методы построения ромбического ряда?
2. На каком диаметре валков стана возможна прокатка квадрата 85 × 85 мм и круга диаметром 75; 40 и 8 мм?
3. С какой целью делают закругление в вершинах ромбических калибров?
4. Чему равен коэффициент вытяжки при прокатке в ромбических калибрах при условиях:  $h_{n-1} = b_n$ ;  $h_{n-1} < b_n$  и при  $h_{n-1} > b_n$ ?
5. Как определить высоту ромбического квадрата с учетом закруглений?
6. Как распределяются вытяжки между ромбом и квадратом по методу Б. П. Бахтинова?
7. Каким методом строится предчистовой ромб для прокатки квадрата с острым углом?

8. Перечислить преимущества и недостатки системы калибров овал — квадрат, используемых при прокатке квадратной стали?

9. Перечислить схемы прокатки круглой стали и указать их достоинства и недостатки.

10. В чем заключается метод Б. П. Бахтинова для определения площади овала при заданных размерах исходного квадрата?

11. Перечислить достоинства и недостатки схем прокатки полоса — ребровой калибр — овал — круг.

12. Какие необходимо иметь данные для построения ребровой калибра, используемого при прокатке круглой стали по методу полоса — ребровой калибр — овал — круг?

13. Перечислить достоинства и недостатки схемы прокатки овал — круг.

14. Перечислить особенности калибровки валков для прокатки круглой стали диаметром свыше 100 мм.

15. Перечислить особенности калибровки валков для прокатки круглой стали по методу А. П. Чекмарева и Р. А. Машковцева.

16. Перечислить схемы прокатки шестигранной стали и указать их достоинства и недостатки.

17. Как определяются размеры чистового и предчистового калибров для прокатки шестигранной стали?

18. По каким схемам рекомендуется вести прокатку арматурного профиля?

19. Каким методом определяются размеры предчистового овального калибра для прокатки арматурной стали?

20. Какие формы и размеры предовальных калибров используются при прокатке арматурной стали?

21. Какие существуют схемы прокатки полосовой стали?

22. В чем заключается сущность метода А. П. Виноградова и Л. Жёза расчета режима прокатки полосовой стали?

23. Перечислить особенности расчета режима прокатки полосовой стали по Б. П. Бахтинову и М. М. Штернову.

#### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить размер предотделочного квадрата для прокатки на стане 300 полосы  $8 \times 30$  мм (сталь У10А). Коэффициент уширения  $K_0 = 0,40$ .

Отв.  $a = 24$  мм.

2. Сторона предотделочного квадрата  $a = 50$  мм; конечная толщина полосы  $h = 5$  мм. Определить ширину полосы при коэффициенте уширения  $K_0 = 0,35$ .

Отв.  $b = 65,6$  мм.

3. При прокатке полосы (сталь ШХ15) размером  $9 \times 50$  мм на стане 300 потребовался предотделочный квадрат  $36 \times 36$  мм.

Определить по методу Жёза коэффициент уширения  $K_0$ , коэффициенты высотной деформации по проходам и число проходов  $h$ .

Отв.  $K_0 = 0,52$ ,  $n = 3$ ,  $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 = 1 \cdot 1,306 \cdot 1,607 \cdot 1,909$ .

4. Определить размер предотделочного квадрата для прокатки сутунки  $25 \times 200$  мм из стали Х20Н80 на стане 600. Коэффициент уширения  $K_0 = 0,8$ .

Отв.  $a = 124$  мм.

5. Определить размеры ребрового калибра для прокатки полосы  $40 \times 80$  мм с обжатием  $\Delta h = 8$  мм. Прокатка производится на стане 400 при зазоре между буртами  $\Delta = 6$  мм.

Отв.  $h_1 = 73$  мм;  $b_1 = 46,4$  мм;  
 $m = 0,8$  мм;  $b_k = 39,7$  мм;  $h_2 = 33,5$  мм.

6. Определить по методу Л. Жёза и А. П. Виноградова сторону предотделочного квадрата, число проходов и коэффициенты вытяжки при прокатке полосы  $80 \times 5$  мм (сталь Ст. 3).

Отв.  $a = 66$  мм,  $n = 8$ ;  
 $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 \eta_7 \eta_8 = 1,70 \cdot 1,616 \cdot 1,528 \times$   
 $\times 1,44 \cdot 1,352 \cdot 1,264 \cdot 1,176 \cdot 1,088 = 13,2$ .

7. По методу А. П. Чекмарева определить размеры предчистового квадрата, число проходов и коэффициенты деформации за каждый проход при прокатке полосы  $40 \times 6$  мм. Устанавливается средний режим прокатки. Коэффициент уширения  $K_0$  принять равным 0,5.

Отв.  $n = 4$ ;  $a = 28$  мм;  $\eta_1 = 1,279$ ;  
 $\eta_2 = 1,432$ ;  $\eta_3 = 1,535$ ;  $\eta_4 = 1,634$ .

8. По условию задачи 7 определить размеры полосы до прокатки в ребровом калибре, приняв коэффициент трения в последнем проходе  $f = 0,33$  и в ребровом калибре  $f_p = 0,31$ . Прокатка полосы производится на стане 300 линейного типа.

Отв.  $6,8 \times 44,4$  мм.

9. Определить размеры предотделочного квадрата для прокатки полосы  $6,8 \times 40$  мм, приняв коэффициент уширения  $K_0 = 0,5$ .

Отв.  $a \approx 31$  мм.

10. Объяснить, почему для прокатки полосы  $40 \times 6$  по условию задачи 7 размер предотделочного квадрата  $a = 28$  мм, а по условию задачи 9 для той же конечной полосы  $a = 31$  мм.

11. Определить размер предотделочного квадрата для прокатки сутунки  $15 \times 200$  мм (сталь ЭИ435) на стане 600. Коэффициент уширения  $K_0 = 0,8$ .

Отв.  $a = 119,3$  мм  $\approx 120$  мм.

12. При прокатке полосы размером  $16 \times 50$  мм (сталь ЭИ290) на стане 350 используется предотделочный квадрат  $40 \times 40$  мм. Определить коэффициент уширения  $K_0$ .

Отв.  $K_0 = 0,453$ .

13. При прокатке полосы размером  $25 \times 250$  мм (сталь 1Х13) на стане 350 используется предотделочный квадрат  $45 \times 45$  мм.

Определить коэффициент уширения  $K_0$ .

Отв.  $K_0 = 0,293$ .

14. Прокатка полосы  $10 \times 30$  мм предусматривается из предотделочного квадрата  $a = 24$  мм. Определить коэффициенты высотной деформации и коэффициент уширения  $K_0$ , если известны размеры полосы после каждого прохода: 0— $24 \times 24$ ; 1— $15 \times 30$ ; 2— $11 \times 32$ ; 3— $11 \times 30$  (ребровой); 4— $10 \times 30$  мм.

Отв.  $K_0 \approx 0,428$ .

$\eta_1 = 1,6$ ;  $\eta_2 = 1,363$ ;  
 $\eta_3 = 1,066$ ;  $\eta_4 = 1,10$ .

## ГЛАВА VIII

### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

#### § 1. ПРОКАТКА УГЛОВОЙ СТАЛИ

Сортамент и требования, предъявляемые к угловой стали, определены стандартом (см. ГОСТ 8509—57 и ГОСТ 8510—57). Каждый размер угловой стали может иметь полки несколько

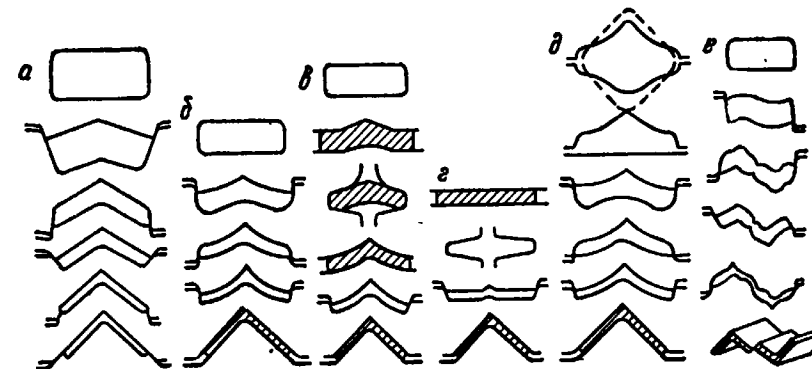


Рис. 130. Схемы калибровки угловой стали:

а — с прямыми полками в закрытых калибрах; б — с развернутыми полками в закрытых калибрах; в — с применением открытых калибров; г — сгибанием в чистовом калибре; д — «диагональный метод»; е — разрезанием зетобразного профиля в чистовом калибре

ких размеров по толщине, число которых в отдельных случаях достигает пяти. В этом случае расчет калибровки угловой стали производится не на каждый размер по толщине, а на средний размер:

$$h_c = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n}.$$

Прокатка угловой стали производится в зависимости от типа стана различными методами.

Схемы калибровки валков для прокатки угловой стали представлены на рис. 130. В настоящее время наибольшее распространение получили два метода калибровки: с развернутыми

полками в закрытых калибрах (см. рис. 130, б) и с применением открытых калибров (см. рис. 130, в). Калибровки, основанные на сгибании прямых полос (см. рис. 130, а), считаются устаревшими и в настоящее время почти не применяются.

Достоинства и недостатки различных схем прокатки угловой стали достаточно подробно изложены в литературе по калибровке валков [16, 30].

Наилучшим методом расчета калибровки угловой стали считается метод М. М. Штернова, давший положительные результаты на практике, основанный на аналитическом определении

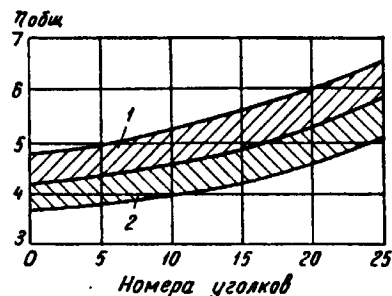


Рис. 131. Зависимость необходимого общего коэффициента деформации (в угольковых калибрах) от номера профиля при прокатке:

1 — из спокойной стали; 2 — из кипящей стали (по М. М. Штернову)

средней линии полок в каждом из калибров. Б. П. Бахтинов в отличие от М. М. Штернова строит калибр не по значениям средней линии, а по линиям очертания контура калибра. Такой метод не оправдал себя на практике.

Практикой установлено, что каждый номер уголка должен прокатываться в валках определенного диаметра (табл. 44).

При калибровке угловой стали, так же как и при калибровке полосовой стали, определяется общий коэффициент деформации, который распределяется по проходам.

На рис. 131 представлена зависимость необходимого общего коэффициента деформации (в угольковых калибрах) от номера профиля. Частные коэффициенты деформации для каждого прохода  $\eta$  принимаются следующие:

В чистовых калибрах:

для крупных уголков . . . . . 1,07—1,12

для средних и мелких уголков . . 1,1—1,20

В черновых калибрах на среднесортных станах:

для крупных уголков . . . . . 1,6—1,8

для средних и мелких уголков . . 1,8—2,2

Таблица 44

Номер уголка в зависимости от диаметра валков

Диаметр валков, мм	№ уголка	Количество профильных проходов из квадратной заготовки
250	2—5	4—5
300	2—7,5	
350	6—9	7—9
500	8—14	
750—800	12—20	11 и более

Калибры для прокатки угловых профилей могут быть сопряженными и несопряженными. В последнем случае их располагают так, чтобы вершина угла была обращена вверх, что облегчает удаление с поверхности полосы окалина. При этом не происходит быстрое охлаждение окалина от воды, которая, если калибр врезан вершиной вниз, скапливалась бы в желобе.

Калибры равнобоких уголков всегда располагают так, чтобы вертикальная проекция полок была одинаковой. При калибровке неравнобоких уголков биссектрису прямого угла располагают наклонно или вертикально.

### Определение размеров калибров (по М. М. Штернову)

Расчет калибровки ведется против хода прокатки. При расчете калибровки угловой стали с развернутыми полками при переходе от черновых калибров с развернутыми полками к чистовому калибру с прямолинейными полками возможны неувязки в размерах калибров. Чтобы предупредить эти неувязки, целесообразно чистовой калибр представить не с прямолинейными полками, а в развернутом виде (рис. 132).

Для лучшего усвоения расчета калибровки угловой стали необходимо ознакомиться со схемами, на которых указываются принятые обозначения основных элементов калибра и методы расстановки определяющих размеров калибра. Наиболее распространенные геометрические построения, применяемые при развертывании прямолинейных полок в криволинейные, показаны на рис. 133. В дальнейших расчетах при развертывании прямолинейных полок в криволинейные принимается расстановка размеров в соответствии с рис. 133, г, который в основном сходен с методом, показанным на рис. 133, а, с тем лишь отличием, что размеры отнесены не к верхней грани профиля, а к средней линии полок.

К основным размерам, определяющим характер развертывания уголкового калибра, относятся  $H$ ,  $C$ ,  $R$  (см. рис. 133, г). Остальные размеры (производные от основных) показаны на рис. 132 и 134.

Рекомендуются следующие расчетные формулы для определения основных размеров условного чистового калибра:

для равнобоких уголков (см. рис. 132 и 133, г):

$$H_1 = (0,4 - 0,45) l;$$

$$R = (0,8 - 0,95) l = \text{const};$$

$$\beta = \alpha = 45^\circ;$$

$$C = H_1 = \text{const}$$

длина средней линии полки равна

$$l_c = l - \frac{1}{2} h_1.$$

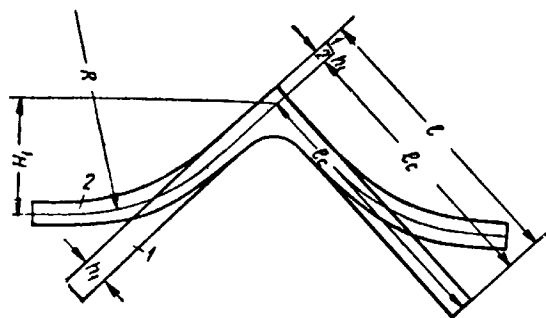


Рис. 132. Схема образования условного чистового калибра:  
1 — действительный чистовой калибр; 2 — условный чистовой калибр

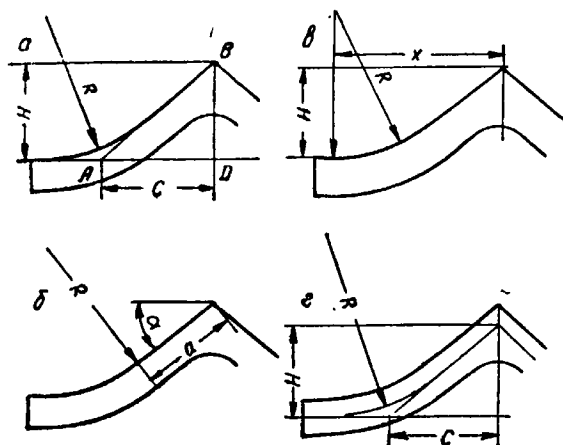


Рис. 133. Методы расстановки определяющих размеров при разворачивании флангов уголкового калибра

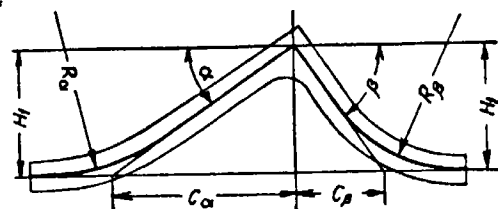


Рис. 134. Схема (а — г) для выбора и расчета основных размеров, относящихся к средней линии условного чистового калибра

Для неравнобоких уголков (см. рис. 134):

$$H_1 = (0,4 - 0,45) \frac{l_\alpha + l_\beta}{2};$$

$$R_\alpha = (1,0 - 1,1) l_\alpha = \text{const};$$

$$R_\beta = (0,7 - 0,8) l_\beta = \text{const};$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{l_\beta}{l_\alpha};$$

$$\tan \beta_1 = \frac{l_\alpha}{l_\beta};$$

$$C_\alpha = \frac{H_1}{\tan \alpha_1} = \text{const};$$

$$C_\beta = \frac{H_1}{\tan \beta_1} = \text{const};$$

длина средней линии полков неравнобоких уголков равна

$$l_{ca} = l_\alpha - \frac{1}{2} h_1;$$

$$l_{c\beta} = l_\beta - \frac{1}{2} h_1.$$

Высота второго калибра по средней линии определяется по формуле

$$H'_2 = H_1 - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h_1,$$

где  $H_1$  — высота условного чистового калибра;  
 $h_{\text{заг}}$  — толщина заготовок;  
 $h_{\text{заг}}^* = h_1 \eta_{\text{об}}$  ( $h_1$  — начальная толщина угловой стали;  
 $\eta_0$  — общий коэффициент деформации).

По Бахтинову рекомендуется толщину заготовки определять по эмпирической формуле:

при прокатке в закрытых калибрах

$$h_{\text{заг}} = h_1 + 2H_1,$$

при прокатке в калибрах со свободным уширением

$$h_{\text{заг}} = h_1 + H_1.$$

Для третьего калибра:  $H'_3 = H'_2 - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h_2$  и т. д.

Таким образом, уменьшение величины  $H'$  от калибра к калибру против хода прокатки ( $H'_{n-1} - H'_n$ ) составляет такую же часть от принятой высоты первого калибра, какую обжатие в данном калибре составляет от суммарного обжатия, т. е.

$$\frac{H'_{n-1} - H'_n}{H_1} = \frac{\Delta h}{\Sigma \Delta h} = \frac{\Delta h}{h_{\text{заг}} - h_1},$$

или в общем виде

$$H'_n = H'_{n-1} - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h_{n-1},$$

где  $n$  — порядковый номер калибра.

Пример. Определить высоту III калибра для прокатки угловой стали  $50 \times 50 \times (5-6)$ , если высота II калибра  $H_{2-1} = 21$  мм, высота заготовки  $h_{\text{заг}} = 28$  мм, высота первого условного чистового калибра  $H_1 = 22$  мм, толщина чистового профиля  $h_{\text{ср}} = \frac{5+6}{2} = 5,5$  мм, обжатие во втором калибре  $\Delta h_2 = 2$  мм.

Высота III калибра равна

$$H'_3 = H'_2 - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_{\text{ср}}} \Delta h_2 = 21 - \frac{22}{28 - 5,5} \cdot 2 = 19,5 \text{ мм.}$$

При расчете калибровки равнобокой угловой стали основание конструкционного треугольника  $C$  равно высоте условного чистового калибра  $H_1$  (см. рис. 133, з).

Тангенс угла раскрытия полков определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{C}$$

или

$$\alpha \approx \arcsin \frac{H}{C}.$$

Уширение на гладкой бочке определяется по формуле Бахтинова.

Работами А. П. Чекмарева установлено, что при наклоне стенок калибра суммарная величина свободного уширения средних линий полков может существенно отличаться от свободного уширения на гладкой бочке. Поэтому М. М. Штернов для определения свободного суммарного уширения средних линий в угловом калибре результаты, полученные при расчете уширения по формуле Бахтинова, предлагает умножать на коэффициент  $K$ , учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками:

$$\Delta b_{\text{с. л.}} = K \Delta b.$$

Значение коэффициента  $K$  находится по графику (рис. 135).

Стесненное уширение принимается равным

$$\Delta b_{\text{ст}} = (0,5 - 0,65) \Delta b_{\text{с. л.}}$$

Для чистового калибра

$$\Delta b_{\text{ст}} = \Delta b_{\text{с. л.}}$$

Длина средней линии полки в чистовом калибре

$$l_c = l_{\text{гор}} - 0,5h_1.$$

Длина средней линии полков в других калибрах

$$l'_c = l_c - 0,5\Delta b_{\text{ст}}.$$

В этом уравнении обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибру. Пояснительная схема к определению проекции средней линии полков представлена на рис. 136, а.

Проекция полки равнобокой угловой стали равна

$$B = l_c - C(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1) + R\left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745\alpha^\circ\right).$$

Размеры проекции полков можно находить графически (рис. 136, б).

Радиус закругления на стыке полков

$$r' = r\eta + \Delta h.$$

Радиус для верхней и нижней поверхности полков равен:

$$R' = R - \frac{1}{2}h,$$

$$R'' = R + \frac{1}{2}h_1.$$

Радиус закругления в местах стыка полков в чистовом калибре принимается согласно ГОСТу. Радиусы закруглений на концах полков принимаются по Бахтинову:

в калибрах, имеющих разъем сверху,

$$r'' = r + \Delta h,$$

в калибрах, имеющих разъем снизу,

$$r'' \geq \Delta h.$$

Площадь уголкового калибров определяется по формуле

$$F \approx 1,02h(l_{\text{с. л.}} + l_{\text{ср}}).$$

Затем определяется ордината центра тяжести всего шаблона рассчитываемого калибра:

$$z = \frac{l_2 z_2 + l_3 z_3}{l_c}.$$

Пояснительная схема к аналитическому определению положе-

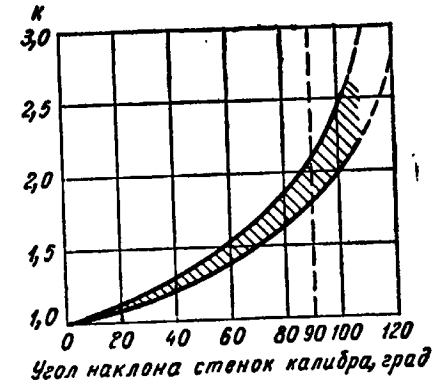


Рис. 135. Зависимость коэффициента  $K$  от величины угла между полками (по М. М. Штернову)



ния центра тяжести уголкового калибра дана на рис. 137. Длина дуги  $l_2 = 0,01745 R\alpha^\circ$ , ординаты центра тяжести дуги

$$z_2 = R \left( 1 - \frac{\sin \alpha}{0,01745\alpha^\circ} \right).$$

Для прямого отрезка

$$l_3 = l_c + C + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (B + l_2),$$

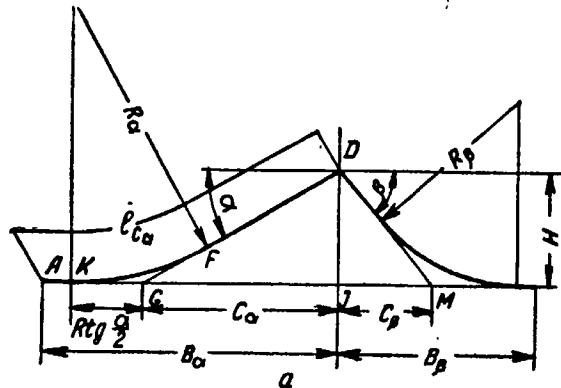


Рис. 136. Схема для определения проекции средней линии полки (а) и построение верхнего и нижнего контуров полки по известной средней линии (б)

ордината центра тяжести прямого отрезка

$$z_3 = H - \frac{1}{2} l_3 \sin \alpha.$$

Размещение уголкового калибра в валках М. М. Штерновым рекомендуется выполнять по рис. 138, а.

Размер  $S$  рассчитывается по формуле

$$S = t \cdot \operatorname{tg} \psi + (0,0 - 0,5) \text{ мм},$$

$$\operatorname{tg} \psi = 0,1 - 0,2.$$

При расточке валков для прокатки неравнобоких уголков учитывается, что при вертикальном подъеме верхнего валка толщина

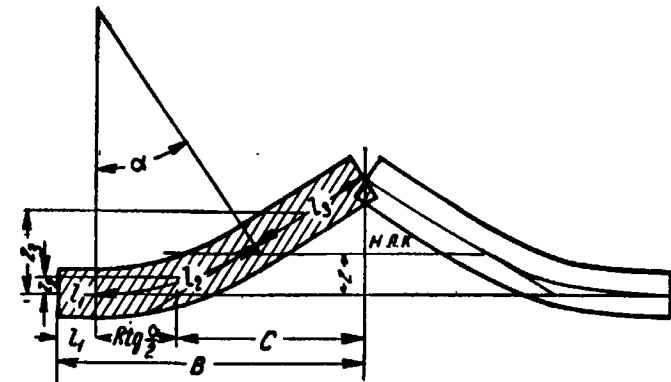
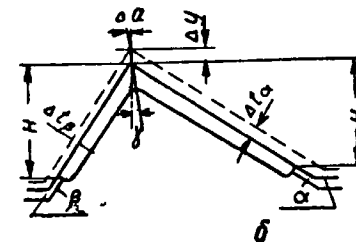
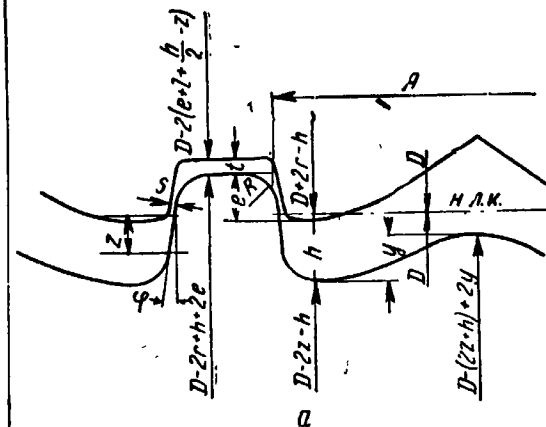


Рис. 137. Схема для аналитического определения положения центра тяжести уголкового калибра



$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\gamma = \frac{\beta - \alpha}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l\beta}{l\alpha}$$

Рис. 138. Размещение уголкового калибра в валках:

а — промежуточных; б — чистового для определения углов  $\alpha$ ,  $\beta$ .  $\gamma = \frac{\beta - \alpha}{2}$ ;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l\beta}{l\alpha}$$

каждой из полок профиля будет изменяться различно (рис. 138, б). При различном соотношении сторон неравнобокого угольника величины углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  даны в табл. 49.

Чтобы толщина обеих полок при подъеме верхнего вала изменялась одинаково, последний должен иметь возможность перемещаться по биссектрисе. Такое перемещение верхнего вала можно обеспечить:

увеличением бокового зазора  $S$  со стороны короткой полки до необходимой величины осевого смещения (рис. 138, а):

$$\Delta x = \Delta y \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2}$$

или расточкой буртов с уклоном, не меньшим, чем наклон биссектрисы:

$$\operatorname{tg} \psi \geq \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2}.$$

Последний метод, по мнению М. М. Штернова, лучше гарантирует от возможных ошибок и может быть рекомендован для применения на практике.

Размер  $y$  (рис. 138, а) находится графически или путем расчетов по уравнениям:

для равнобоких уголков

$$y = H - \left( r + \frac{h}{2} \right) (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1),$$

для неравнобоких

$$y = H - \left( r + \frac{h}{2} \right) \left( \frac{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \right),$$

где  $r$  — радиус закругления в местах стыка полок.

Два последних уравнения точны лишь для калибров, в которых радиус нижней поверхности полки  $(R + \frac{h}{r})$  и радиус на стыке полок не соприкасаются.

Поэтому для первых (по ходу прокатки) одного или двух калибров при нахождении величины  $y$  лучше пользоваться не аналитическим, а графическим методом.

При расчете калибровки неравнобокого уголка пользуются ранее рассмотренными формулами, но к ним добавляются формулы для определения уширения и проекции большой и малой полки, а также формулы для определения ординаты центра тяжести шаблона.

Уширение большой полки равно

$$\Delta b_{\alpha} = \frac{l_{\alpha}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \Delta b_{\text{ст}},$$

уширение малой полки —

$$\Delta b_{\beta} = \frac{l_{\beta}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \Delta b_{\text{ст}}.$$

Проекция большой и малой полок находится по формулам:

$$B_{\alpha} = l_{\alpha} - C_{\alpha} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1) + R_{\alpha} \left( 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745 \alpha^{\circ} \right),$$

$$B_{\beta} = l_{\beta} - C_{\beta} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} - 1) + R_{\beta} \left( 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - 0,01745 \beta^{\circ} \right).$$

Радиусы закругления при стыке полок  $r$  на концах полки для верхней и нижней поверхностей полки определяются по тем же формулам, что и при расчете калибровок равнобокого уголка.

В качестве примера приводится расчет калибровки угловой стали  $50 \times 50 \times (5 \div 6)$ , выполненный М. М. Штерновым (табл. 45).

Таблица 45

Расчет калибровки угловой стали  $50 \times 50 \times (5 \div 6)$  для стана 350  
(обозначения см. рис. 136)

Определяемые величины	№ калибров				
	I (12 кл.)	II (10 кл.)	III (9 кл.)	IV (8 кл.)	V (6 кл.)
Коэффициент трения $f$ . . . . .	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38
Коэффициент деформации $\eta$ . . . . .	1,13	1,32	1,46	1,50	1,55
Толщина профиля $h'$ . . . . .	5,5	6,2	8,2	12,0	18,0
Обжатие $\Delta h$ . . . . .	0,7	2,0	3,8	6,0	10,0
Высота калибра по средней линии $H'_n$ . . . . .	—	21,0	19,5	16,0	11,0
Тангенс угла раскрытия полки . . . . .	1,000	0,9545	0,8864	0,7273	0,500'
Угол раскрытия полки $\alpha^{\circ}$ , град . . . . .	45°00'	43°40'	41°33'	36°01'	26°40'
Уширение на гладкой бочке $\Delta b$ . . . . .	0,6	2,3	4,0	5,0	—
Коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками $K$ . . . . .	2,0	1,9	1,8	1,6	1,3
Суммарное свободное уширение средних линий полки $\Delta b_{\text{с.л}}$ . . . . .	1,2	4,4	7,2	8,0	—
Стесненное уширение $\Delta b_{\text{ст}}$ . . . . .	1,2	2,6	4,2	4,7	—
Длина средней линии полки $l'_c$ . . . . .	47,9	47,3	46,0	43,9	41,5
Проекция полки $B$ . . . . .	—	40,6	39,9	39,6	39,3
Радиус закругления на стыке полок . . . . .	6,0	7,5	12,0	22,0	40,0
Радиус для верхней поверхности полки . . . . .	—	36,9	35,9	34,0	31,0
Радиус для нижней поверхности полки . . . . .	—	43,1	44,1	46,0	49,0
Радиусы на концах полки . . . . .	3,0	4,0	2,0	6,0	6,0
Расстояние до нейтральной линии калибра (ордината центра тяжести) $z$ : . . . . .					
длина дуги $l_2$ . . . . .	—	30,5	29,1	25,1	18,6
ордината центра тяжести дуги $z_2$ . . . . .	—	3,7	3,4	2,6	1,4
длина прямого отрезка $l_3$ . . . . .	—	14,3	14,2	14,2	14,2
ордината центра тяжести прямого отрезка $z_3$ . . . . .	—	16,1	14,8	11,8	7,8
ордината центра тяжести всего шаблона $z$ . . . . .	—	7,2	6,6	5,2	3,2

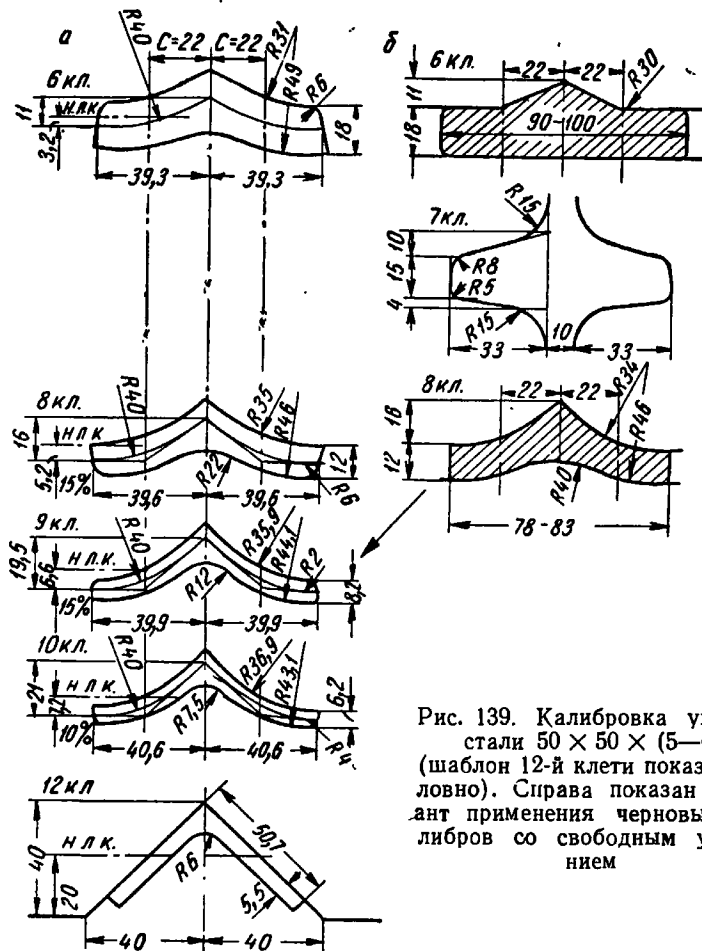


Рис. 139. Калибровка угловой стали  $50 \times 50 \times (5-6)$  (шаблон 12-й клетки показан условно). Справа показан вариант применения черновых калибров со свободным уширением

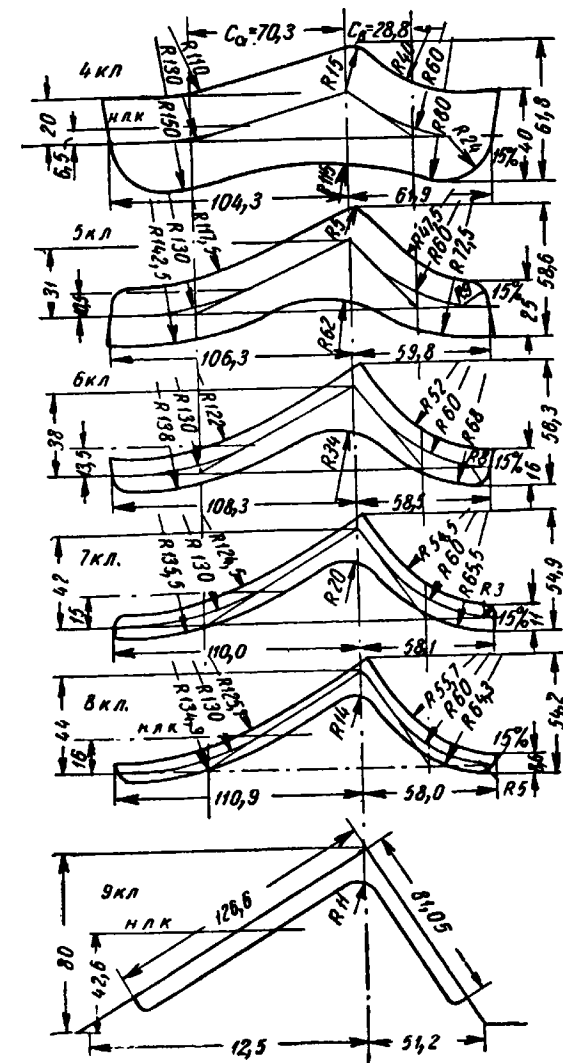


Рис. 140. Калибровка угловой стали  $125 \times 80 \times (7-8)$

Таблица 46

Расчет калибровки угловой стали  $125 \times 80 \times (7-8)$  для стана 500  
(обозначения см. рис. 136)

Определяемые величины	№ калибров					
	I (9 кл.)	II (8 кл.)	III (7 кл.)	IV (6 кл.)	V (5 кл.)	VI (4 кл.)
Коэффициент трения $f$ . . . . .	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,45
Коэффициент деформации $\eta$ . . . . .	1,15	1,30	1,45	1,55	1,60	1,60
Толщина профиля $h'$ . . . . .	7,5	8,6	11,0	16,0	25,0	40,0
Обжатие $\Delta h$ . . . . .	1,1	2,4	5,0	9,0	15,0	25,0
Высота калибра по средней линии	45,0	44,0	42,0	38,0	31,0	20,0
Тангенс угла раскрытия большой полки	0,640	0,6258	0,5973	0,5404	0,4409	0,2844
Угол раскрытия большой полки $\alpha$ . . . . .	37°37'	32°02'	30°51'	28°23'	23°48'	15°53'
Тангенс угла раскрытия малой полки	1,562	1,528	1,458	1,319	1,076	0,6944
Угол раскрытия малой полки $\beta$ . . . . .	57°23'	56°48'	55°34'	52°34'	47°06'	34°47'
Уширение на гладкой бочке $\Delta b$ . . . . .	1,1	2,7	5,2	7,5	9,2	12,8
Коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками $K$ . . . . .	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,3
Суммарное свободное уширение средних линий полок $\Delta b_{с.л.}$ . . . . .	2,2	5,2	9,4	12,7	14,7	16,6
Степненное уширение $\Delta b_{ст.}$ . . . . .	2,2	3,0	5,4	7,3	8,5	9,6
Уширение большой полки $\Delta b_{\alpha}$ . . . . .	1,3	1,8	3,3	4,5	5,2	5,8
Уширение малой полки $\Delta b_{\beta}$ . . . . .	0,9	1,2	2,1	2,8	3,3	3,8
Длина средней линии большой полки $l'_{с.а.}$ . . . . .	122,9	121,6	119,8	116,5	112,0	106,8
Длина средней линии малой полки $l'_{с.б.}$ . . . . .	77,3	76,4	75,2	73,1	70,3	67,0
Проекция большой полки $B_{\alpha}$ . . . . .	—	110,9	110,0	108,3	106,3	104,3
Проекция малой полки $B_{\beta}$ . . . . .	—	58,0	58,1	58,5	59,8	61,9
Радиусы закруглений при стыке полок . . . . .	11,0	14,0	20,0	34,0	62,0	115,0
Радиусы на концах полок . . . . .	3,7	5,0	3,0	8,0	9,0	24,0
Радиус для верхней поверхности широкой полки . . . . .	—	125,7	124,5	122,0	117,5	110,0
Радиус для нижней поверхности широкой полки . . . . .	—	134,3	135,5	138,0	142,5	150,0
Радиус для верхней поверхности узкой полки . . . . .	—	55,7	54,5	52,0	47,5	40,0
Радиус для нижней поверхности узкой полки . . . . .	—	64,3	65,5	68,0	72,5	80,0
Расстояние до нейтральной линии калибра $z$ :						
широкая полка.						
длина дуги $l_2$ . . . . .	—	72,7	70,0	64,4	54,0	36,0
ордината центра тяжести $z_2$ . . . . .	—	6,5	6,2	5,2	3,7	1,6
длина прямого отрезка $l_3$ . . . . .	—	45,6	46,0	47,0	49,4	54,9
ордината центра тяжести отрезка $l_3$ . . . . .	—	31,9	30,2	26,8	21,0	12,5
ордината центра тяжести полки $z_{\alpha}$ . . . . .	—	15,8	15,1	13,5	10,9	6,8

Продолжение табл. 46

Определяемые величины	№ калибра в					
	I (9 кл.)	II (8 кл.)	III (7 кл.)	IV (6 кл.)	V (5 кл.)	VI (4 кл.)
узкая полка:						
длина дуги $l_2$ . . . . .	—	59,5	58,2	55,3	49,3	36,4
ордината центра тяжести $z_2$ . . . . .	—	9,3	9,0	8,1	6,5	3,6
длина прямого отрезка $l_{3\beta}$ . . . . .	—	20,2	19,3	17,9	16,1	16,3
ордината центра тяжести прямого отрезка $z_3$ . . . . .	—	35,6	34,0	31,0	25,1	15,4
ордината центра тяжести узкой полки $z_{\beta}$ . . . . .	—	16,5	15,5	13,5	10,1	5,5
ордината центра тяжести шаблона $z$ . . . . .	—	16,0	15,0	13,5	10,5	6,5

На рис. 139 представлена калибровка неравнобокой угловой стали  $50 \times 50 \times (5 \div 6)$ .

На рис. 140 показана калибровка неравнобокой угловой стали  $125 \times 80 \times (7 \div 8)$  для стана 500. Расчет калибровки угловой стали  $125 \times 80 \times (7 \div 8)$  представлен в табл. 46.

#### Метод А. П. Чекмарева

Лучшим способом ознакомления с методом расчета калибровки А. П. Чекмарева является разбор примерного расчета калибровки валков для прокатки угловой стали.

По методу А. П. Чекмарева рассчитаем калибровку валков для прокатки неравнобокого уголка  $125 \times 80 \times (7; 8; 10; 12)$  на стане с диаметром валков  $D_0 = 550$  мм. Допуски по ГОСТ 8510—57: по ширине полки  $\pm 2,0$  мм; по толщине  $\pm 0,6$  мм. Радиусы закруглений  $R = 11$  мм,  $r = 3,7$  мм. Расчет калибровки производится для прокатки уголка толщиной 8 мм. Получение уголков больших толщин в тех же калибрах производится путем увеличения зазора между валками.

Размеры профиля в горячем состоянии с частичным использованием отрицательных допусков:

широкая полка

$$(125 - 1,5) \cdot 1,013 = 125 \text{ мм},$$

узкая полка

$$(80 - 1,5) \cdot 1,013 = 79,5 \text{ мм},$$

толщина полки

$$(8,0 - 0,3) \cdot 1,013 = 7,8 \text{ мм}.$$

Определяется длина средней линии (развернутая ширина уголка):

$$125 - 0,5 \cdot 7,8 = 121,1 \text{ мм},$$

$$79,5 - 0,5 \cdot 7,8 = 75,6 \text{ мм},$$

$$b_{\text{ср}} = 121,1 + 75,6 = 196,7 \text{ мм}.$$

Проектируется прокатку уголка производить из начальной заготовки прямоугольного сечения в пяти фасонных уголковых калибрах. Выбирается интенсивный режим прокатки. Коэффициенты уменьшения толщины принимаются:

$$\eta_0 = 1,30 \cdot 1,60 \cdot 1,80 \cdot 1,80 \cdot 1,80 = 12,12.$$

При выборе коэффициентов обжатий можно пользоваться данными, указанными в табл. 41, 42.

Толщина полок по проходам:

$$h_4 = h_5 \eta_5 = 7,8 \cdot 1,3 = 10,14 \approx 10 \text{ мм},$$

$$h_3 = h_4 \eta_4 = 10 \cdot 1,60 = 16 \text{ мм},$$

$$h_2 = h_3 \eta_3 = 16 \cdot 1,80 = 29 \text{ мм},$$

$$h_1 = h_2 \eta_2 = 29 \cdot 1,80 = 52 \text{ мм},$$

$$h_0 = h_1 \eta_1 = 52 \cdot 1,80 = 95 \text{ мм}.$$

Обжатия по проходам:

$$\Delta h_1 = H - h_1 = 95 - 52 = 43 \text{ мм},$$

$$\Delta h_2 = 52 - 29 = 23 \text{ мм},$$

$$\Delta h_3 = 29 - 16 = 13 \text{ мм},$$

$$\Delta h_4 = 16 - 10 = 6 \text{ мм},$$

$$\Delta h_5 = 10 - 7,8 = 2,2 \text{ мм}.$$

После этого обычным методом производится проверка полученных линейных обжатий из условий захвата металла валками при  $D_{\text{мин}} = 500 \text{ мм}$ , пользуясь графиком (см. рис. 112) при окружной скорости валков ( $n = 100 \text{ об/мин}$ ):

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 100}{60} = 2,62 \text{ м/сек}.$$

При проверке оказалось, что в первом проходе ( $\Delta h = 43 \text{ мм}$  и  $D_p = 50 - 52 = 448 \text{ мм}$ ) угол захвата  $\alpha = 25^\circ 20'$  при допустимом по графику (см. рис. 112)  $\alpha_{\text{доп}} = 26^\circ$ .

Уширение определяется против хода прокатки по формуле А. П. Чекмарева

$$\Delta b = \frac{2b_{\text{ср}} \Delta h \cdot K}{(H \nrightarrow h) \left[ 1 \nrightarrow (1 \nrightarrow a) \left( \frac{b_{\text{ср}}}{R_\alpha} \right)^n \right]},$$

где  $n$  — показатель степени,  $n = 1$  при  $b_{\text{ср}} < R_\alpha$  (узкий очаг деформации),  $n = 2$  при  $b_{\text{ср}} > R_\alpha$  (широкий очаг деформации).

Значение поправочного коэффициента уширений  $K$ , учитывающего наклон стенок калибра, рекомендуется брать:

$$\text{для 1-го прохода} \dots\dots\dots K = 0,7 \div 1,0$$

$$\text{для промежуточных проходов} \dots\dots\dots K = 1,0 \div 1,5$$

$$\text{для чистового прохода} \dots\dots\dots K = 1,8 \div 2,0$$

Расчет уширения производим для чистового V калибра по данным:  $\Delta h_5 = 10 - 7,8 = 2,2 \text{ мм}$ ,  $D_p = 500 - 7,8 = 492,2 \text{ мм}$ ,  $b_{\text{ср}} = 196,7 \text{ мм}$ ;

$$\alpha_5 = \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h}{D_p} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{2,2}{492,2} \right) = 6^\circ = 0,1047 \text{ рад}.$$

Уширение в чистовом пятом калибре

$$\Delta b_5 = \frac{2 \cdot 196,7 \cdot 2,2 \cdot 2}{(10 + 7,8) \left[ 1 + 1,1 \left( \frac{196,7}{246,1 \cdot 0,1} \right)^2 \right]} = 1,9 \text{ мм}.$$

Ширина полосы (по средней линии) после четвертого прохода

$$b_4 = b_5 - \Delta b_5 = 196,7 - 1,9 = 194,8 \text{ мм}.$$

Точно так же рассчитывается уширение и ширина для других проходов. Уширение распределяется поровну на длинную и короткую полку. Все данные приведены в табл. 47.

Таблица 47  
Калибровка угловой стали 120×80×8

№ проходов	Коэффициент высотной деформации $\eta$	Толщина полок $h$ мм	Обжатие полок $\Delta h$ мм	Общее уширение $\Delta b$ мм	Общая ширина полок $b_{\text{ср}}$ мм	Угол сгиба $\varphi$ град	Приращение угла сгиба $\Delta \varphi$ град
0	Заготовка	95	—	—	148,8	180	45
1	1,80	52	43	18,5	167,3	135	24
2	1,80	29	23	15,2	182,5	111	13
3	1,80	16	13	8,4	190,9	98	6
4	1,60	10	6	3,9	194,8	92	2
5	1,30	7,6	2,2	1,9	196,7	90	—

При определении угла сгиба  $\varphi$  в основу расчета А. П. Чекмарев принял правило Жёза: «Закрывать угол в каждом ручье следует на величину, пропорциональную обжатиям в этом ручье».

Определяется коэффициент пропорциональности:

$$m = \frac{90}{\Sigma \Delta h} = \frac{90}{87,2} \approx 1,03,$$

где  $\Sigma \Delta h = H' - h_1 = 95 - 7,8 = 87,2$  мм.

Угол сгиба  $\varphi$  и приращения  $\Delta\varphi$  по проходам:

$$\begin{aligned}\varphi_5 &= 90^\circ, \\ \Delta\varphi_5 &= m \Delta h_5 = 1,03 \cdot 2,2 = 2^\circ, \\ \varphi_4 &= \varphi_5 + \Delta\varphi_5 = 90 + 2 = 92^\circ, \\ \Delta\varphi_4 &= 1,03 \cdot 6,0 = 6^\circ,\end{aligned}$$

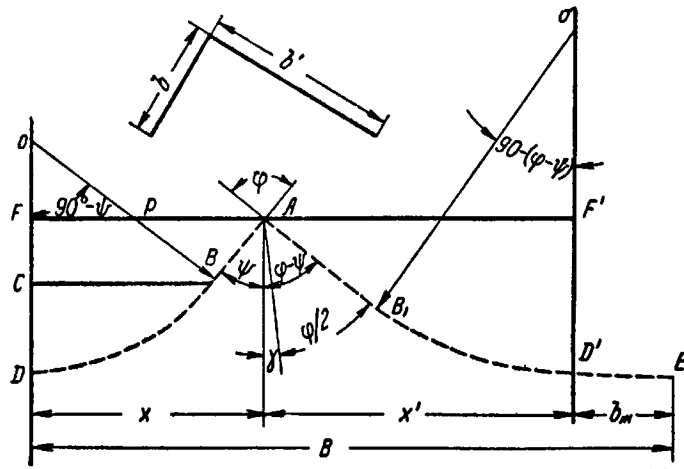


Рис. 141. Схема для определения геометрических размеров угольных калибров (по А. П. Чекмареву)

$$\begin{aligned}\varphi_3 &= 92 + 6 = 98^\circ, \\ \Delta\varphi_3 &= 1,03 \cdot 13 = 13^\circ, \\ \varphi_2 &= 98 + 13 = 110^\circ, \\ \Delta\varphi_2 &= 1,03 \cdot 23 = 24^\circ, \\ \varphi_1 &= 111 + 24 = 135^\circ, \\ \Delta\varphi_1 &= 1,03 \cdot 43 = 45^\circ, \\ \varphi_0 &= 135 + 45 = 180^\circ.\end{aligned}$$

Основные геометрические размеры, необходимые для построения фасонных угловых калибров (см. рис. 141), находятся следующим образом:

1. Определяется угол  $\psi$ , образованный пересечением перпен-

дикуляра, опущенного из вершины угольника на горизонтальную его проекцию, с малой стороной угольника  $b$ :

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \psi &= \frac{b}{b'} = \frac{80}{125} = 0,64, \\ \psi &= 32^\circ 30' .\end{aligned}$$

Угол при вершине угольника  $\varphi = 90^\circ$ . Угол, образованный пересечением биссектрисы с большой стороной угольника  $b'$ :

$$\varphi - \psi = 90^\circ - 32^\circ 30' = 57^\circ 30' .$$

Угол положения биссектрисы

$$\gamma = \frac{\varphi}{2} - \psi = 45^\circ - 32^\circ 30' = 12^\circ 30' .$$

В остальных (развернутых) калибрах угол  $\gamma$  изменяется пропорционально изменению угла сгиба  $\varphi$ .

Коэффициент пропорциональности

$$c = \frac{\gamma_5}{\varphi_5} = \frac{12^\circ 30'}{90^\circ} = 0,139 \text{ на } 1^\circ \text{ сгиба.}$$

Зная изменение угла сгиба в каждом калибре и коэффициент пропорциональности  $c$ , получаем величину изменения угла биссектрисы:

$$\Delta\gamma = c \Delta\varphi.$$

Значение угла биссектрисы в каждом калибре

$$\gamma_x = \gamma_{x-1} + \Delta\gamma_x.$$

Углы наклона полок  $\psi = \frac{\varphi}{2} - \gamma$  и  $\varphi - \psi$ .

2. Распределение длины полки на прямой и изогнутой участки производится следующим образом (см. рис. 141): прямая наклонная часть короткой полки  $AB = 0,25 b$ ; длинная прямая наклонная часть  $AB' = \frac{1}{3} b'$ ; изогнутый участок короткой полки  $BD = 0,75 b$ .

Отсюда радиус закругления изогнутой части короткой полки

$$\rho = \frac{180 \cdot 0,75b}{3,14 (90 - \psi)} = \frac{135b}{3,14 (90 - \psi)} .$$

Радиус закругления широкой полки в предчистовом калибре

$$\rho' = 1,5\rho.$$

Во всех остальных калибрах

$$\rho' = \frac{F'D' - AB \cos (\varphi - \psi)}{1 - \sin (\varphi - \psi)}$$

или

$$\rho' = \frac{180 \cdot b''}{3,14 [90 - (\varphi - \psi)]} .$$

Длина изогнутой части широкой полки

$$b' = B'D' = \frac{\pi r' [90 - (\varphi - \psi)]}{180}$$

Остаток (прямой горизонтальный участок)

$$b''' = D'E = b' - \frac{1}{3} b' - b''.$$

Между участками полок уширение распределяется пропорционально. Радиусы закруглений профиля  $R$  и  $r$  изменяются пропорционально коэффициентам уменьшения толщины  $\eta$ .

Расстояния  $x$  и  $x'$  и полная ширина калибра  $B$  равны:

$$x = \rho \cos \psi + AB \sin \psi,$$

$$x' = \rho' \cos(\varphi - \psi) + AB' \sin(\varphi - \psi),$$

$$B = x + x' + b'''.$$

Уклон боковых стенок калибров с целью повышения продолжительности службы валков делают не менее 5%. В предчистовом калибре замок рекомендуется делать в верхней части. Расчетные данные, необходимые для построения калибров, приведены в табл. 48.

Таблица 48

Геометрические параметры для построения профильных калибров для прокатки угловой стали 120×80×8

Геометрические параметры	№ проходов				
	1	2	3	4	5
$\gamma$ . . . . .	6°16'	9°36'	11°24'	12°12'	12°27'
$\Delta\varphi$ . . . . .	45°	24°	13°	6°	2°
$\psi$ . . . . .	61°14'	45°54'	37°36'	33°48'	32°33'
$\varphi$ . . . . .	135°	111°	98°	92°	90°
$\varphi - \psi$ . . . . .	73°46'	65°06'	60°24'	58°12'	57°27'
Сторона уголка: узкая полка $b$	60,4	68,0	72,7	74,7	75,7
широкая полка $b'$	101,1	108,7	113,4	115,3	116,2
$AB$ . . . . .	15,1	17,0	18,2	18,7	75,5
$AB^1$ . . . . .	33,7	36,2	37,8	38,4	116,2
Радиус закругления короткой полки $\rho$	92	67	61	58	—
Радиус закругления широкой полки: в предчистовом калибре $\rho'$	—	—	—	87	—
в остальных калибрах	190	140	128	—	—
$BD$ . . . . .	45,3	51	54,6	56,1	—
$B^1D'$ . . . . .	55,7	63	68,4	50,0	—
$D^1E = b'''$ . . . . .	11,7	9,5	7,2	26,9	—
$R$ . . . . .	74	41	23	14	11
$r$ . . . . .	25	14	7,7	4,8	3,7
$x$ . . . . .	56,7	58,2	59,0	58,3	41,9
$x^1$ . . . . .	87,4	93,6	97,8	79,6	64,4
$B$ . . . . .	155,8	161,3	164,0	164,8	106,3

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. По методу Б. П. Бахтинова определить высоту исходной заготовки для прокатки в профильных калибрах угловой равнобокой стали № 4 (ГОСТ 8509—57) при прокатке в закрытых и открытых калибрах, если дано: толщина полки угловой стали 3 и 4 мм, отношение высоты условного развернутого профиля  $H$  к длине  $l$  полки действительно углового профиля  $\frac{H}{l} = 0,35$ .

$$\text{Отв. } h_{з.к} = 31,5 \text{ мм,} \\ h_{о.к} = 17,5 \text{ мм.}$$

2. По методу М. М. Штернова определить высоту исходной заготовки для прокатки в профильных калибрах угловой неравнобокой стали № 12,5/8 (ГОСТ 8510—57), если дано: общий коэффициент деформации при прокатке в профильных калибрах  $\eta_{об} = 12,7$ ; толщина полки по ГОСТ 8510—57  $h = 7$ ; 8; 10 и 12 мм.

$$\text{Отв. } h_{заг} = 117,5 \text{ мм.}$$

3. По методу А. П. Чекмарева определить число проходов в профильных калибрах и коэффициенты высотной деформации для каждого прохода при прокатке равнобокой угловой стали № 4 (ГОСТ 8509—57) по следующим данным: толщина полки 3—4 мм; общий коэффициент высотной деформации  $\eta_{об} = 10,78$ . Принимается энергичный режим деформации.

$$\text{Отв. } \eta_1 = 1,3, \eta_2 = 1,5, \\ \eta_3 = 1,7, \eta_4 = 1,8, \eta_5 = 1,8.$$

4. Определить размеры, указанные на рис. 134, условного чистового калибра для неравнобокой угловой стали № 12,5/8 с размерами по ГОСТ 8510—57 120×80×(7; 8; 10; 12) мм.

Отв.

$H'_1$	$R_\alpha$	$R_\beta$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$C_\alpha$	$C_\beta$
45	129,7	59,7	37°37'	57°23'	70,3	28,8

5. По методу А. П. Чекмарева определить угол сгиба  $\varphi$  для каждого прохода при прокатке равнобокой стали № 4 по следующим данным: угловой профиль прокатывается за 6 проходов со следующими коэффициентами деформации:  $\eta_1 = 1,03$ ,  $\eta_2 = 1,14$ ,  $\eta_3 = 1,29$ ,  $\eta_4 = 1,44$ ,  $\eta_5 = 1,59$ ,  $\eta_6 = 1,88$ . Суммарное обжатие  $\Sigma\Delta h = 50$  мм.

$$\text{Отв. } \varphi = 180^\circ; 133^\circ; 111,4^\circ; 100,1^\circ; \\ 94,1^\circ; 91,1^\circ; 90^\circ.$$

6. Определить угол положения биссектрисы  $\gamma$  и углы наклона полок чистового калибра для прокатки неравнобокого уголка № 6,3/4,0 (см. рис. 141).

Отв.  $\gamma = 11^\circ 20'$ ,  $\psi = 33^\circ 40'$ ,  
 $\varphi - \psi = 56^\circ 20'$ .

7. По методу М. М. Штернова для калибровки угловой стали  $125 \times 80 \times (7 \div 8)$  определить угол раскрытия большой  $\alpha^\circ$  и малой  $\beta^\circ$  полок по следующим данным: прокатка уголка  $125 \times 80 \times (7 \div 8)$  производится на стане 500 за 6 проходов; высоты калибра от вершины углового профиля до средней линии соответственно равны: 45; 44; 42; 38; 31 и 20 мм.

Отв.  $\alpha^\circ = 32^\circ 37'$ ;  $32^\circ 02'$ ;  $30^\circ 51'$ ;  
 $28^\circ 48'$ ;  $23^\circ 48'$ ;  $15^\circ 53'$ .  $\beta = 57^\circ 23'$ ;  
 $56^\circ 48'$ ;  $55^\circ 34'$ ;  $52^\circ 51'$ ;  $47^\circ 06'$ ;  $34^\circ 47'$ .

8. По методу А. П. Чекмарева определить в изогнутой части предчистового калибра радиус закругления широкой и короткой полок неравнобокой угловой стали № 6,3/4,0.

Отв.  $\rho = 30,5$  мм;  $\rho' = 45,8$  мм.

9. По методу М. М. Штернова определить высоту второго калибра для прокатки равнобокой угловой стали № 3,2, если средняя толщина полки  $h_{cp} = 3,5$  мм; общий коэффициент деформации  $\eta_0 = 5,1$ ; обжатие в первом калибре  $\Delta h = 0,7$ .

Отв.  $H' = 13,4$  мм.

## § 2. ПРОКАТКА ЗЕТОВОЙ СТАЛИ

Зетовый профиль (рис. 142), состоящий из ножки и двух полок (фланцев), можно рассматривать как два составленных вме-

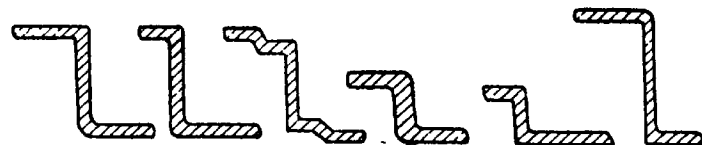


Рис. 142. Разновидность зетовой стали

сте уголка. Поэтому принятые для угловой стали методы определения  $R$ ,  $H$  допустимых коэффициентов деформации  $\eta$ , расположения калибров в валках, числа проходов, высоты исходной заготовки и др. могут быть использованы при расчете калибровки зетовой стали.

Оптимальные условия прокатки с точки зрения глубины вреза калибров в валки оказываются в том случае, если нижний край полки одной стороны зетового профиля и угол другой лежат на одной горизонтальной линии (рис. 143). Положение зетового

калибра в валках, показанное на рис. 143, имеет следующие достоинства:

- 1) создаются удобства при транспортировке полосы по рольгангу;
- 2) избегается скручивание полосы вокруг ее оси;
- 3) обеспечивается минимальная разность скоростей поверхности валков по высоте профиля.

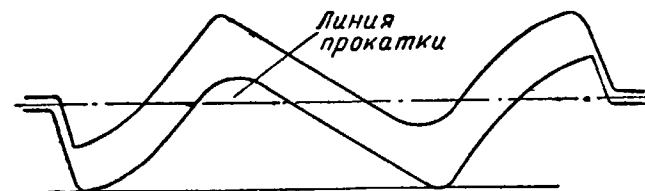


Рис. 143. Положение зетового калибра в валках

Из рис. 144 видно, что сумма горизонтальных проекций сил давления металла на нижний валок действующих вправо ( $P_1$  и  $P_3$ ) не уравновешиваются такой же силой, действующей влево ( $P_2$ ), вследствие чего нижний валок имеет постоянное стремление переместиться вправо, а верхний — влево. Для предотвра-

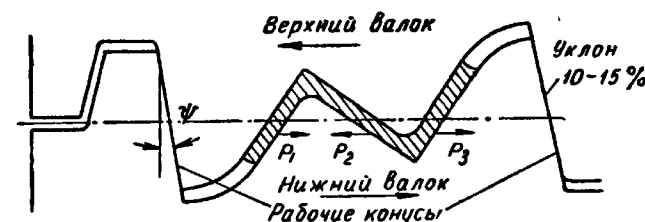


Рис. 144. Конструкция чистового калибра для прокатки зетовой стали

щения этих смещений на валках вытачивают специальные рабочие конусы (см. рис. 144).

При настройке валков большое значение имеет угол уклона конусов  $\psi$ . Чем больше угол  $\psi$ , тем больше осевые перемещения имеют валки при изменении величины зазора. Подбирая соответствующим образом величину угла  $\psi$  и изменяя зазор, можно до некоторой степени регулировать положение валков в осевом направлении, компенсируя износ конусов. На практике уклон боковых стенок конусов в чистовых калибрах принимают обычно 10—15%, в черновых калибрах 20—50%.

Углы буртов чистового калибра должны иметь значительные радиусы закруглений  $R$ , а длина полок калибра должна быть несколько больше расчетной, что обеспечивает прокатку зетовой стали без подрезания.



Калибровку валков для прокатки зетовой стали ведут по методу Б. П. Бахтинова таким образом, чтобы расстояние между углами профиля во всех калибрах оставалось постоянным, равным расстоянию на готовом профиле. Это обеспечивает выполнение углов в месте перегиба, правильную задачу полосы в

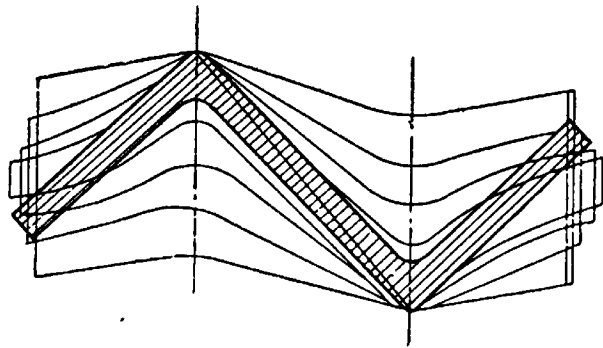


Рис. 145. Схема прокатки зетовой стали

валки и правильное положение профиля в калибре во время прокатки.

На рис. 145 показана схема построения калибров при наложении их один на другой, выполненная при соблюдении вышеуказанного правила проектирования калибровки зетовой стали.

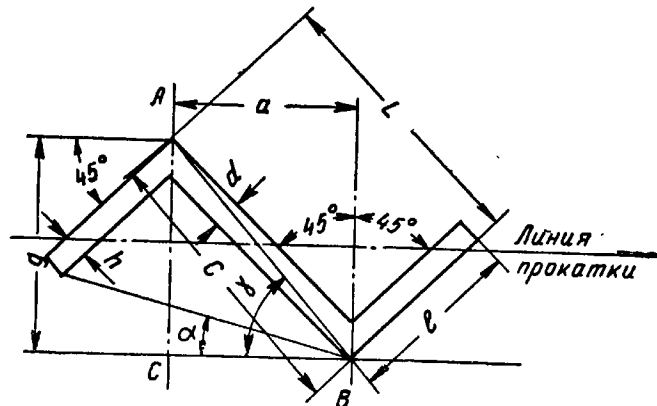


Рис. 146. Схема к расчету  $b$ ,  $x$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$

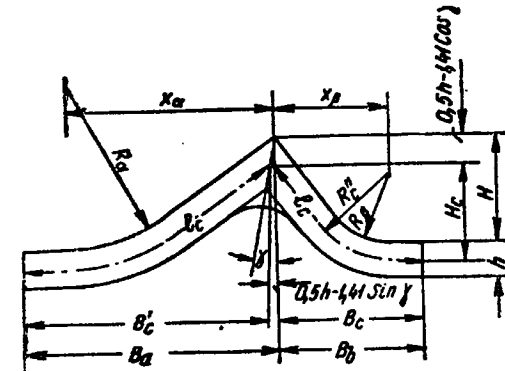
При таком наложении калибров (см. рис. 145) конфигурация полок профиля строится по тем же законам, что и при прокатке уголка с понижением вершины на величину  $S = \frac{\Delta h}{2}$ . Правила нахождения радиусов кривизны полок зетового профиля в каждом калибре те же, что и при построении калибров угловой стали. Расчетные уравнения для определения  $B_a$ ,  $B_b$ ,  $x_a$ ,  $x_b$  (рис. 146) даны в табл. 49.

Таблица 49

Расчетные уравнения для определения  $B_a$ ,  $B_b$ ,  $x_a$ ,  $x_b$  при различных

отношениях сторон  $\frac{a}{b}$

( $a$  и  $b$  — стороны углового профиля;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — углы положения горизонтальной проекции полок уголка и биссектрисы;  $B_a$ ,  $B_b$  — размеры горизонтальной проекции развернутой полки;  $x_a$ ,  $x_b$  — координаты центра для радиуса очертания верхней и нижней линии полок условного чистового углового профиля;  $l_a$ ,  $l_b$  — длины развернутой линии полок;  $H$  — высота условного развернутого углового профиля;  $h$  — толщина полки готового углового профиля;  $R$  — радиус разворачивания полки готового углового профиля).



$\frac{a}{b}$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$B_a$
1,000	45°	45°	0	$l_a - 0,392h + 0,044R - 0,414H$
1,333	36° 52'	53° 08'	8° 08'	$l_a - 0,321h + 0,023R - 0,333H$
1,444	34° 42'	55° 18'	10° 18'	$l_a - 0,302h + 0,020R - 0,313H$
1,500	33° 41'	56° 19'	11° 19'	$l_a - 0,294h + 0,018R - 0,303H$
1,666	30° 58'	59° 02'	14° 02'	$l_a - 0,272h + 0,015R - 0,278H$

Продолжение табл. 49

$\frac{a}{b}$	$B_b$	$x_a$	$x_b$
1,000	$l_b - 0,392h + 0,044R - 0,414H$	$0,414R + H$	$0,414R + H$
1,333	$l_b - 0,464h + 0,072R - 0,500H$	$0,333R + 1,333H$	$0,500R + 0,750H$
1,444	$l_b - 0,483h + 0,082R - 0,524H$	$0,313R + 1,444H$	$0,524R + 0,693H$
1,500	$l_b - 0,491h + 0,088R - 0,535H$	$0,303R + 1,500H$	$0,535R + 0,667H$
1,666	$l_b - 0,513h + 0,103R - 0,567H$	$0,278R + 1,666H$	$0,567R + 0,600H$

Уширение в калибрах распределяется поровну между полками зетового профиля. Прокатка зетовой стали ведется в закрытых калибрах (за исключением чистового), причем уширение принимается равным 0,3—0,7.

### Расчет размеров калибров

Общий коэффициент деформации рассчитывается так же, как при калибровке угловой стали. Коэффициенты деформации для шеек и полок принимаются одинаковыми.

Из рис. 147 можно определить величины:  $c$ ,  $a$ ,  $g$  и  $\gamma$ , которые должны сохранить свою величину во всех других калибрах. Фактические размеры калибра определяются после поворота его

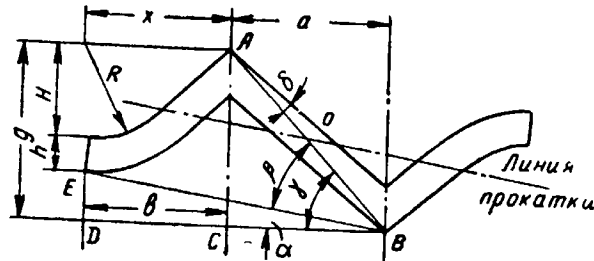


Рис. 147. Схема для расчета  $c$ ,  $a$ ,  $g$ ,  $\gamma$  (чистовой калибр)

в рабочее положение на угол  $\alpha$ , самостоятельный для каждого калибра. Указанные величины Б. П. Бахтинов рекомендует находить следующим образом:

$$c = \sqrt{L_1^2 + d_1^2},$$

где  $L_1$ ,  $d_1$  — длина и толщина ножки готового профиля.

Расстояние между углами профиля по вертикали

$$g = 0,707(L_1 + d_1) = \text{const.}$$

Расстояние между углами профиля по горизонтали

$$a = 0,707(L_1 - d_1) = \text{const.}$$

Угол между горизонтальной линией и диагональю ножки находится по уравнению

$$\gamma = \arctg \frac{L + d_1}{L - d_1} = \text{const.}$$

Угол  $\alpha$  для поворота чистового калибра в рабочее положение:

$$\arctg \alpha_1 = \frac{g - 0,707(l_1 + h_1)}{a \mp 0,707(l_1 - h_1)}.$$

Из рис. 147 можно определить величины  $b$ ,  $x$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ . Б. П. Бахтинов эти величины предлагает определять по следующим уравнениям:

$$b_1 = l_1 - 0,392h_1 + 0,044R - 0,414H,$$

где  $b_1$  — ширина развернутой полки условного чистового калибра;

$l_1$  — длина полки в готовом профиле;

$h_1$  — толщина полки;

$H = (0,35 \div 0,45)l$ ;

$$R = (0,5 \div 1,0)l.$$

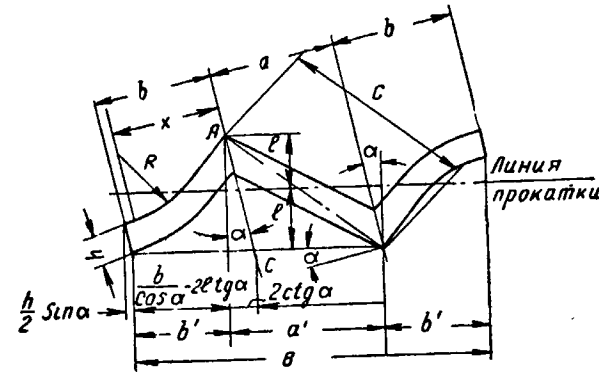


Рис. 148. Схема для определения фактической высоты и ширины зетового калибра

Координаты центра радиуса

$$x = 0,414R + H = \text{const.}$$

Величина угла  $\alpha$ :

$$\arctg \alpha = \frac{g - (H + h)}{a \mp b} = \frac{ED}{BD}.$$

Угол между линией прокатки и диагональю шейки

$$\beta_1 = \gamma - \alpha_1.$$

Линия прокатки параллельна  $BE$  и проходит через середину диагонали шейки:  $AO = OB = \frac{1}{2}C$ .

Размеры калибра в рабочем положении (рис. 148) могут быть определены по следующим формулам: половина высоты калибра

$$e = \frac{C}{2} \sin \beta;$$

расстояние между углами по горизонтали

$$a' = C \cos \beta;$$

проекция полки на горизонтальную ось (считая по средней линии)

$$b' = \frac{b}{\cos \alpha} - 2e \operatorname{tg} \alpha + \frac{h}{2} \sin \alpha$$

или, считая  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ ,

$$b' = \frac{b}{\cos \alpha} - \left(2e - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha;$$

общая ширина калибра

$$B' = a' + 2b'.$$

## Порядок построения зетовых калибров

1. На расстояниях, равных  $l$ , параллельно линии прокатки проводят две вспомогательные линии  $mn$  и  $m_1n_1$  (рис. 149). Вторые две линии, перпендикулярные первым, проводят на рас-

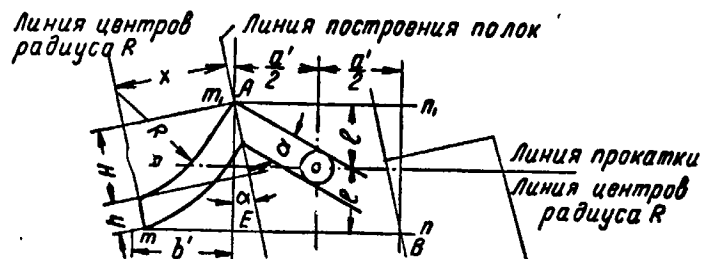


Рис. 149. Порядок построения зетовых калибров

стоянии  $\frac{1}{2} a'$  от центра калибра  $O$  до пересечения с двумя вспомогательными линиями, являющимися углами калибра.

2. Через полученные точки  $A$  и  $B$  под углом  $\alpha$  к вертикальным линиям проводят линии построения полук и параллельно им на расстоянии  $x$  — линии центров радиуса  $R$ .

3. Из точки  $A$  по линии построения полук откладывают величину  $H$ , затем из концов получившегося отрезка восстанавливают перпендикуляры до пересечения с линией центров радиуса  $R$  (точка  $D$ ) и дальше.

4. Радиусом  $R$  из центра, взятого на линии центров радиуса  $R$ , через точку  $D$  проводят дугу верхней линии полки. Полное очертание верхней линии получается после проведения касательной к дуге из точки  $A$  и продолжения линии  $CD$ . Очертание нижней линии полки получают, увеличивая радиус на величину  $h$  и проводя параллельные линии к прямым участкам полки.

5. Из точки  $E$  откладывают отрезок  $EF = b'$ , ограничиваю-

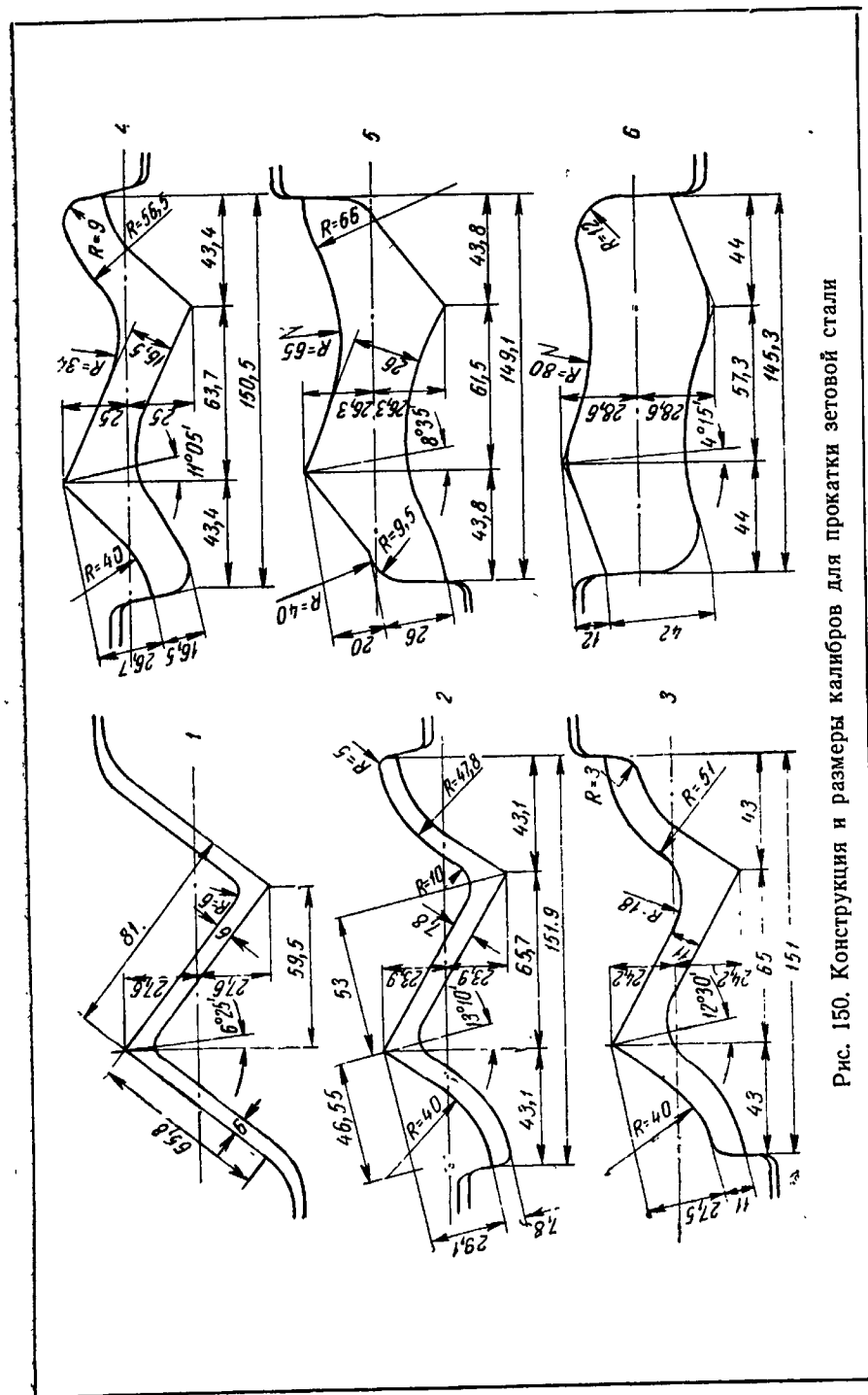


рис. 150. Конструкция и размеры калибров для прокатки зетовой стали

Т а б л и ц а 50  
Расчетные данные и размеры для построения калибровки для прокатки зетовой стали № 8 на стане 500

Определяемые величины	Формулы	№ калибров						Исходная заготовка
		I	II	III	IV	V	VI	
Высота заготовки	$h_{\text{заг}} = h_1 + 2H = 6 + 2 \cdot 30 = 66 \text{ мм}$							66
Общий коэффициент деформации	$\eta_0 = \frac{h_{\text{заг}}}{h_1} = \frac{66}{6} = 11$	1,3	1,4	1,5	1,57	1,60	1,57	
Коэффициент деформации в каждом калибре	$\eta_0 = 11 = 1,3 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \cdot 1,57 \times 1,6 \cdot 1,6$	6,0	7,8	11,0	16,5	26,0	42,0	66
Толщина стенки	$h_2 = d_2 = h_1 \eta_1$							
Обжатие	$\Delta h = h_2 - h_1$	1,8	3,2	5,5	9,5	16,0	24,0	
Высота наклонной части полка	$H_2 = H_1 - \frac{\Delta h_1}{2}$	30	29,1	27,5	24,75	20,0	12,0	
Уширение	$[H_1 = (0,35 \pm 0,45) l = 0,45, 65 = 30 \text{ мм}]$ $\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left( \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$	1,7	1,2	1,7	2,3	3,0	5,0	
Проекция ширины полка: для условного чистового калибра	$b_1 = b_r = 0,392h + 0,044R - 0,414H$	52,8	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 50

Определяемые величины	Формулы	№ калибров						Исходная заготовка
		I	II	III	IV	V	VI	
для последующих калибров	$[l_r = 65 \cdot 1,013 = 65,8$ $h = 6 \text{ мм}; R = (0,5 \pm 1,0) l = 0,6 \cdot 65 = 40 \text{ мм}]$ $b_2 = b_1 - \frac{\Delta b_1}{2}$	—	52	51,4	50,5	49,4	47,9	—
Проекция ширины полки на линию прокатки	$b' = \frac{b_2}{\cos \alpha_2} - \left( 2l_2 - \frac{h_2}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha_2$	—	43,1	43,0	43,4	43,8	44,0	—
Угол поворота чистового калибра из расчетного в рабочее положение	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{g - 0,707(l+h)}{a + 0,707(l-h)}$	6°25'						—
Угол поворота калибра для последующих калибров	$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{g - (H_2 + h_2)}{a + b_2}$		13°10'	12°30'	11°05'	8°35'	4°15'	—
Угол между линией прокатки и диагональю шейки	$\beta_2 = \gamma - \alpha_2$	42°50'	36°05'	36°45'	38°10'	40°40'	45°00'	—
Расстояние от линии прокатки до вершины профиля: для первого калибра	$l_1 = \frac{c}{2} \sin \beta_1$	27,6						
для других калибров	$l_2 = \frac{c}{2} \sin \beta_2$	—	23,9	24,2	25,0	26,3	28,6	—
Проекция средней части профиля на линию прокатки:								

Определяемые величины	Формулы	№ калибров						Исходная заготовка
		I	II	III	IV	V	VI	
для чистового калибра	$a' = c \cos \beta_1$	59,5						
для других калибров	$a'_2 = c \cos \beta_2$	—	65,7	65,0	63,7	61,5	57,3	
Общая ширина (проекция на линию прокатки):								
для второго калибра	$B' = a' + 2b'$	—	151,9	—	—	—	—	—
для третьего и других калибров	$B'_3 = a'_3 + 2b'_3$ и т. д.			151	150,5	149,1	145,3	140
Радиус закругления с внутренней стороны угла:								
для чистового калибра	$r$	6,0						
для других калибров	$r_2 = r_1 \eta_1 + 1,2 \Delta h_1$	—	10	18	34	65	120	—
Радиусы закруглений концов полок для чистового калибра	$r'_2 = r'_1 + \Delta h_1$	3,0	5,0	3,2	9,0	9,5	25,0	—
Радиус закругления развернутой полки	$R_2 = R_1 + \Delta h$	46*	47,8	51,0	56,5	66	72,0	—

\* В условном чистовом калибре.

щий длину полки. Таким же способом строится и правая полка.

6. Из точки  $O$  как из центра проводят окружность радиусом, равным  $\frac{d}{2}$ . Проводя из точек  $A$  и  $B$  касательные к окружности и продолжая их до пересечения с нижними линиями полок, получают скелет строящегося зетового калибра.

7. Выполняют закругления в месте перегиба и на концах полок. Выпуск в месте разъема принимают обычно не менее 5%. В построенном калибре полезно проверить расчетные величины  $a, c, b, \beta$ .

При наличии полок разной длины размеры каждой из них подсчитываются отдельно (как для неравнобокого уголка).

Основное внимание при калибровке обращается на правильное расположение калибров, стремясь к тому, чтобы нижний край полки одной стороны и угол другой лежали на одной горизонтальной линии. Величинами  $R$  и  $H$  в случае необходимости можно задаваться сравнительно произвольно, принимая в отдельных случаях значения, выходящие из пределов, полученных по указанным выше эмпирическим формулам. После определения необходимых размеров для построения калибров зетовой стали приступают к графической работе. Для облегчения этой работы студентам рекомендуется руководствоваться рис. 150, на котором в качестве примера представлена конструкция калибровки для прокатки зетовой стали № 8 и порядок расстановки основных размеров каждого калибра. Результаты расчета калибровки должны приводиться, как показано в табл. 50.

Следует отметить, что калибровку валков для прокатки зетовой стали можно проводить и по методу М. М. Штернова, сущность которого нами изложена в разделе калибровки угловой стали, когда за основу было принято определение средней линии полок в каждом из калибров.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. На какой размер по толщине полки угловой стали производится расчет калибровки?
2. Перечислить схемы калибровки угловой стали и указать их достоинства и недостатки.
3. Каким методом определяется диаметр валка для прокатки того или другого номера уголка?
4. Каким способом определяются необходимые коэффициенты деформации для прокатки угловой стали?
5. Перечислить особенности калибровки угловой стали по методу М. М. Штернова.
6. Какие размеры, определяющие характер разворачивания уголкового калибра, относятся к основным?
7. Как определяется толщина заготовки, необходимая для прокатки угловой стали?

8. Как определяется уширение при прокатке угловой стали по методу М. М. Штернова?

9. Как определяется центр тяжести уголкового калибра?

10. Перечислить особенности расчета калибровки угловой стали по методу А. П. Чекмарева.

11. В каких случаях создаются оптимальные условия прокатки зетовой стали с точки зрения глубины вреза калибра в валки?

12. Перечислить особенности расчета калибровки зетовой стали по методу Б. П. Бахтинова и указать его достоинства и недостатки.

13. В какой последовательности ведется построение зетового калибра?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить толщину полосы, задаваемой в первый профильный калибр при прокатке зетовой стали № 8 на стане 500, если длина ножки  $l=65$  мм, толщина полки  $h=6$  мм.

Отв. 66 мм.

2. Определить размеры чистового калибра при прокатке зетовой стали № 8 по следующим данным: длина полки  $65 \pm 2$  мм; длина ножки  $L_x=80 \pm 2,4$  мм; толщина полки и шейки  $h_x=b_x=6$  мм.

Отв. См. рис. 151.

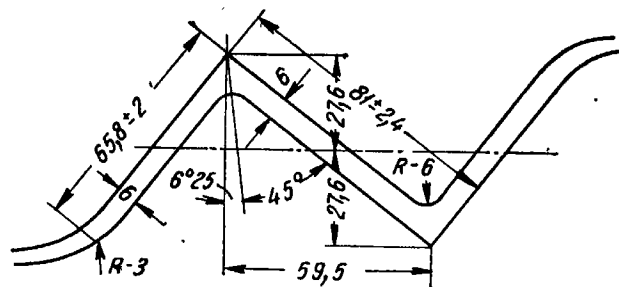


Рис. 151. Чистовой калибр для прокатки зетовой стали

3. При прокатке зетовой стали № 8 в первом чистовом калибре (стан 500) коэффициент деформации  $\eta=1,3$ . Определить угол поворота 2-го калибра из расчетного в рабочее положение, если проекция ширины полки  $b_2=52$  мм.

Отв.  $\operatorname{tg} \alpha_2=0,234$  или  $\alpha_2=13^\circ 10'$ .

4. По условиям задачи № 3 определить проекцию полки на линию прокатки.

Отв.  $b'_2 = \frac{b_2}{\cos \alpha_2} - \left( 2L_2 - \frac{h_2}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha_2 = 43,1$  мм.

5. По условиям задачи № 1 определить полную ширину 2-го (считая против хода прокатки) фасонного калибра в рабочем положении.

Отв.  $B'=151,9$  мм.

6. Определить постоянные величины  $c$ ;  $a$ ;  $g$ ;  $\gamma$ ;  $x$  при прокатке зетовой стали № 6, если размеры зетовой стали № 6 в холодном состоянии: длина ножки  $l_n=60$  мм; толщина ножки  $n_n=5$  мм; длина полки  $l_n=45$  мм; толщина полки  $h_n=7,5$  мм. Допускаемые отклонения в размерах: по толщине ножки и полки  $\pm 0,5$  мм; по длине ножки и полки  $\pm 3\%$ .

Отв.  $c=58,9$  мм;  $a=38,4$  мм;  
 $g=44,75$  мм;  $\gamma=49^\circ 21'$ ;  
 $x=31,5$  мм.

### § 3. ПРОКАТКА ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Среди различных фасонных профилей прокатного производства особое место занимают двутавровые балки, которые находят применение во всех областях народного хозяйства. Фасонные профили с одинаковым по конфигурации сечением значительно отличаются по размерам отдельных элементов сечения: двутавровые балки разной высоты различаются также отношением толщины стенки и ширины полки к высоте и соотношением размеров полки по высоте и ширине.

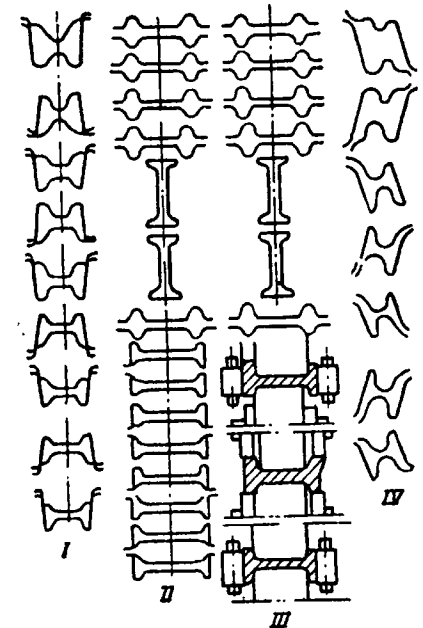


Рис. 152. Типовые схемы прокатки балок

Типовые схемы прокатки балок приведены на рис. 152.

Прокатка балок по схеме I производится в калибрах закрытого типа; первый из калибров по ходу прокатки называют разрезным. В качестве разрезного применяют также и открытый балочный калибр.

В прямых калибрах прокатка балок возможна только при значительном уклоне внутренних граней полки.

Обычно схема I употребляется для прокатки балок № 10—30. По схеме II производится прокатка только средних и крупных балок № 30—60, где профилировка заготовки производится в открытых балочных калибрах, которые вытаскиваются на валках блюминга и валках обжимной дуо-реверсивной клетки.

По схеме III прокатываются широкополочные балки, в том числе и балки с параллельными полками (ГОСТ 6183—52).

Для прокатки балок по схеме IV используется так называемая «косая калибровка» (валки с косорасположенными калибрами), позволяющая прокатывать балки с параллельными полками и малым уклоном граней полков. Прокатка производится с большими обжатиями и меньшим числом проходов, чем в обычных условиях.

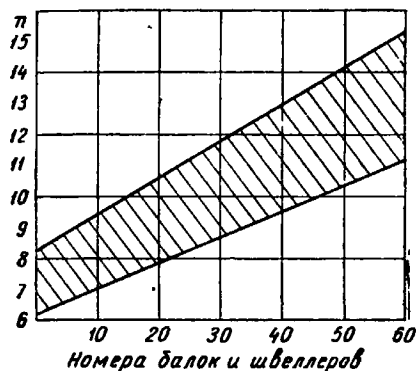


Рис. 153. Определение необходимого числа фасонных калибров (по А. П. Чекмареву)

ной системой разъемов возникают осевые усилия, для восприятия которых необходимо предусматривать на валках упорные бурты.

3. Увеличение угла наклона калибра и обжатия шейки резко снижают осевые усилия.

4. С ростом угла наклона калибра увеличивается утяжка закрытого и приращение высоты открытого фланцев.

5. С увеличением угла наклона калибра наблюдается скручивание профиля при увеличении угла закручивания полосы.

6. По мере увеличения угла наклона косорасположенных калибров приращение открытых и утяжка закрытых фланцев возрастает.

Косое расположение калибров может найти применение при освоении прокатки облегченных и тонкостенных балок.

Выбор диаметра валков и числа проходов при прокатке двутавровых балок производится из графика (рис. 153), предложенного А. П. Чекмаревым, а также по следующим данным:

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

## Распределение обжатий по элементам двутавровой балки

При прокатке двутавровой балки, как и при прокатке других фланцевых профилей, не выяснен вопрос о величине и характере изменения коэффициента вытяжки по калибрам, о взаимосвязи между коэффициентами вытяжки по элементам профиля для каждого отдельного калибра.

Кирхберг рекомендует при проектировании калибровок в последних проходах брать одинаковые коэффициенты вытяжки для стенки открытых и закрытых полков; в черновых проходах стенка может обжиматься больше полков. Жёз принимает одинаковые коэффициенты линейного обжатия для открытых и закрытых полков, но для стенки увеличивает их примерно на 10%. В. Е. Грум-Гржимайло рекомендует во всех калибрах стенку обжимать слабее, чем полки. Метц принимает одинаковые коэффициенты линейного обжатия для стенки и открытых полков и меньше для закрытых полков. А. П. Чекмарев считает калибровку двутавровой балки рациональной в том случае, когда в основу расчета приняты равные коэффициенты вытяжки во всех элементах профиля. Б. П. Бахтин ов принимает коэффициенты деформации во всех элементах калибра одинаковыми.

Разноречивые мнения о распределении обжатий по элементам двутавровой балки становятся понятными после ознакомления со специфическими особенностями деформации балки при прокатке. Перечислим ряд этих особенностей:

1. При прокатке балок в каждом проходе, особенно в первых, имеет место неравномерная деформация отдельных частей профиля.

2. Скорости валков в отдельных частях калибра различны [32].

3. В открытых фланцах высота профиля увеличивается, в закрытых — уменьшается, что принято называть «утяжкой» металла.

4. Прокатка балок сопровождается боковыми обжатиями металла.

Трудность формирования профиля из прямоугольной заготовки, неравномерная деформация металла по сечению, различие в окружных скоростях элементов профиля, а также различный характер деформации металла в открытых и закрытых фланцах калибра — все это, по мнению И. И. Кучко [33], при разработке практической калибровки вызывает необходимость принимать различные коэффициенты вытяжки или коэффициенты обжатий для отдельных элементов калибра.

Равенство коэффициентов обжатий И. И. Кучко считает необходимым иметь в отделочном калибре, где величина деформации металла во всех элементах весьма незначительная и где за счет вертикальной обработки в закрытом фланце имеется

возможность смещать металл даже больше, чем в открытом фланце.

Как показывает практика, в хорошо работающих калибровках коэффициент обжатия открытого фланца во всех калибрах, за исключением первых черновых, может быть связан с основным коэффициентом следующим простым отношением [33]:

$$\frac{k_o}{k_{ст}} = 1,04 \div 1,10.$$

Предельные величины данного отношения соответствуют минимальному и максимальному профилю. Для черновых калибров (два-три калибра) это отношение в зависимости от размера профиля и размеров исходной фасонной заготовки может быть меньше единицы.

В табл. 51 приводятся общие коэффициенты вытяжки и обжатия по элементам для двутавровых балок 18, 20, 22 и 24, принятые на Кузнецком металлургическом комбинате.

Таблица 51

Общие коэффициенты вытяжки и обжатия по элементам для двутавровых балок № 18, 20, 22 и 24

Коэффици- циенты	№ балки	№ калибров									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обжатия стенок	18	1,67	1,64	1,57	1,49	1,37	1,28	1,20	1,155	1,10	1,075
	20	1,67	1,58	1,54	1,475	1,38	1,283	1,19	1,145	1,105	1,070
	22	1,34	1,50	1,465	1,41	1,34	1,265	1,20	1,15	1,11	1,065
	24	1,48	1,45	1,427	1,40	1,335	1,23	1,16	1,13	1,085	1,06
Обжатия закрытых полок	18	1,0	1,04	1,035	1,03	1,025	1,017	1,02	0,98	0,97	0,96
	20	1,0	1,017	1,026	1,023	1,017	1,012	1,0	0,98	0,97	0,96
	22	1,02	1,022	1,03	1,015	1,007	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96
	24	1,035	1,065	1,065	1,062	1,035	1,03	1,01	0,98	0,95	0,94
Обжатия открытых полок	18	1,18	1,44	1,605	1,55	1,45	1,36	1,28	1,20	1,155	1,10
	20	1,345	1,55	1,53	1,50	1,46	1,38	1,28	1,22	1,15	1,105
	22	1,405	1,61	1,56	1,51	1,43	1,345	1,27	1,21	1,15	1,10
	24	1,29	1,47	1,48	1,44	1,42	1,35	1,29	1,19	1,12	1,09

По данным П. И. Полухина [18], на практике наблюдается более дифференцированный подход к распределению обжатий по элементам профиля. Для крупных балок, у которых стенка профиля сильно развита и по площади больше 50% всей площади профиля, применяют режим обжатий, указанный на рис. 154, а. Для средних балок, прокатываемых от начала до конца в закрытых балочных калибрах, обычно принимают иной режим обжатий (рис. 154, б). При прокатке средних и малых балок применяют режим обжатий, указанный на рис. 154, в.

График коэффициентов деформации в элементах калибра

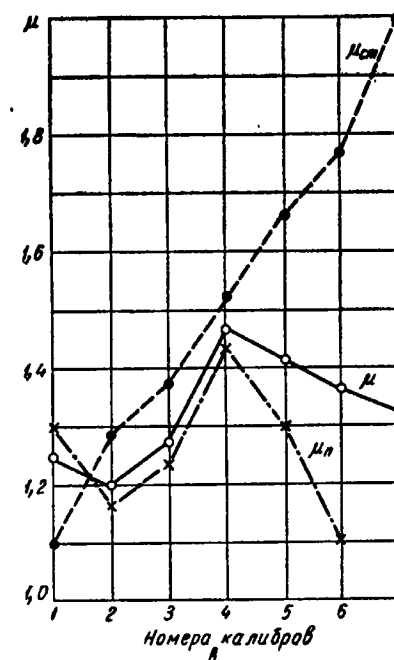
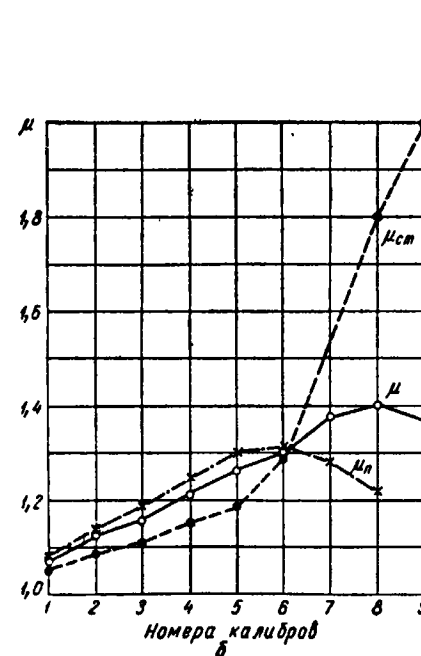
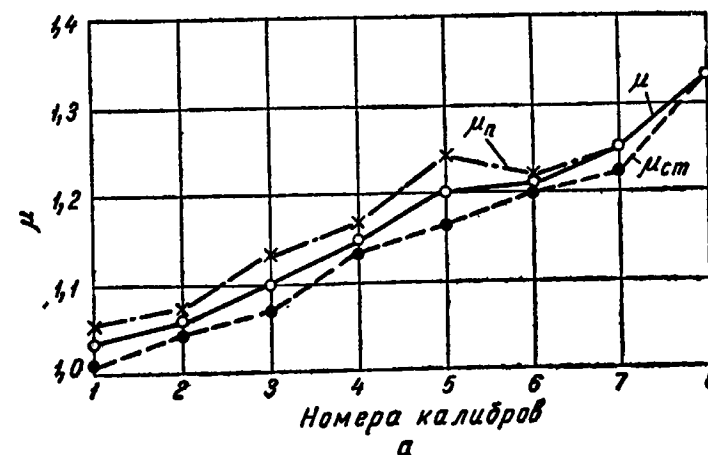


Рис. 154. Изменение коэффициентов вытяжки в калибрах:  
а — балка № 55, стан 750; б — балка № 20, стан 500; в — балка № 10, стан 550



двутаковой балки по М. М. Штернову представлен на рис. 155. Рассмотренное распределение обжатий по элементам двутаковой балки свидетельствует о том, что современный уровень

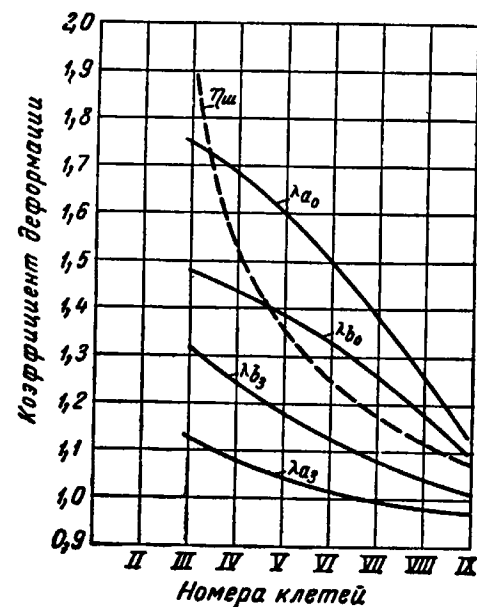


Рис. 155. Определение соотношений коэффициентов деформации в элементах калибра для различных проходов:

$\lambda_{ш}$  — коэффициент деформации (обжатия толщины) шейки;  $\lambda_{ао}$  — коэффициент обжатия толщины конца открытого фланца;  $\lambda_{во}$  — коэффициент обжатия толщины основания открытого фланца;  $\lambda_{бз}$  — коэффициент обжатия толщины конца закрытого фланца;  $\lambda_{аз}$  — коэффициент обжатия толщины основания закрытого фланца

теории прокатки балок не позволяет производить расчет калибровки инженерным методом. Поэтому на практике при про-

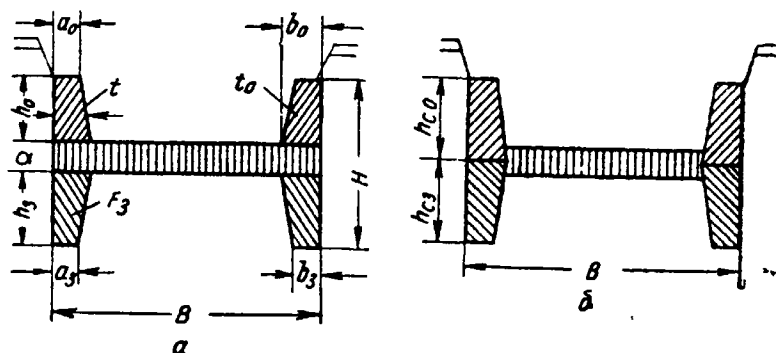


Рис. 156. Обозначение размеров двутаковой балки и способы деления (а, б) балки на элементы

ектировании калибровок основываются главным образом на опытных данных и при расчетах пользуются эмпирическими зависимостями.

В связи с этим студентам полезно будет строить ряды ка-

либров для прокатки балок по калибровкам, приведенным в работах [16, 34].

При анализе действующих калибровок деформацию отдельных элементов можно легко определить, если сложный балочный профиль заменить простейшим (рис. 156).

### Методика калибровки валков

Перечисленные особенности прокатки балок при калибровке валков требуют выполнения следующих правил:

1. При построении калибров требуется чередование открытых и закрытых фланцев, что позволяет получать в готовом профиле одинаковые фланцы. В первых проходах, считая от заготовки, это правило не соблюдается. Здесь стараются нижние и верхние фланцы иметь открытыми. При применении закрытых калибров, когда сечение профиля достаточно велико, допускается несколько проходов в одном калибре или подряд в 2—3 калибрах без чередования фланцев.

2. Боковое обжатие распределяется таким образом, чтобы в закрытых ручьях у основания фланцев оно было больше, а у края — меньше, а в открытых ручьях наоборот — у основания фланцев обжатие делают меньшим, а у края — большим.

3. Чем больше величина бокового обжатия, тем больше приращение высоты открытых фланцев.

4. Боковое обжатие возрастает с увеличением уклона внутренних граней фланцев. Поэтому угол уклона внутренних граней увеличивают примерно с  $10^\circ$  в чистовом и предчистовом калибрах до  $\alpha = 35-40^\circ$  (по П. И. Полухину  $22-35^\circ$ ) в черновых разрезных калибрах.

5. Для возможности переточек и свободного выхода металла из валков наружные стенки калибров делают с уклоном. Уклон или выпуск принимается для черновых калибров 5—8% ( $3-4^\circ$ ), в предчистовом 1,5—2% ( $1-1,5^\circ$ ) и в чистовом до 1,25%.

6. При прокатке крупных балок, где стенка занимает значительную часть площади профиля, во всех калибрах, начиная от чистового применяются коэффициенты вытяжки стенки меньше, чем коэффициенты вытяжки фланцев. При прокатке небольших балок, где действие стенки на фланцы значительно меньше, в черновых калибрах обжатие стенки превышает обжатие фланцев, но в чистовом и предотделочных калибрах вытяжка стенки должна быть меньше вытяжки фланцев.

7. Разность в ширине калибров равна естественному уширению металла. Его принимают равным от 0,5—3 мм в чистовых и до 7—10 мм в черновых калибрах.

Для определения уширения в балочных калибрах пользуются эмпирической формулой

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

где  $\Delta b$  — уширение в данном калибре;

$B_n$  — ширина чистового калибра;

$n$  — порядковый номер калибра, считая от чистового.

8. При расчете ширины требуется соблюдать два следующих условия  $B' < B''$  и  $A > C$  (рис. 157, а).

9. При построении балочных калибров (рис. 157, б) радиусы закругления выбирают в зависимости от толщины прилегающей части профиля.

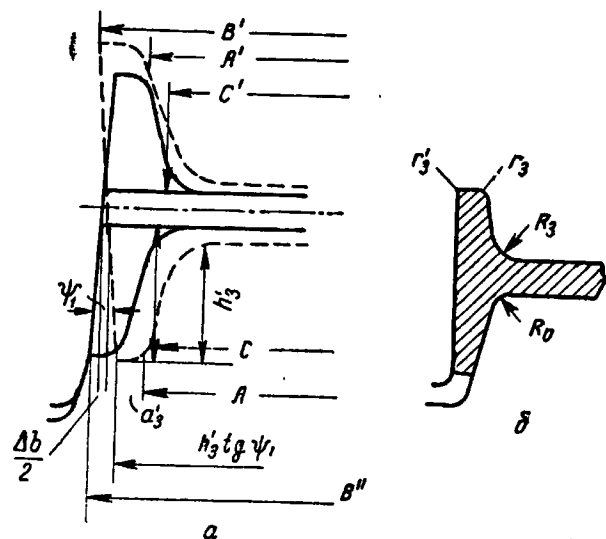


Рис. 157. Определение условий заполнения калибра (а) и радиусов закруглений (б)

Пример. Для балки № 16 радиус закругления  $R$  между стенкой и основанием фланца равен 8,5 мм (ГОСТ 8239—56). Толщина фланца у основания в готовом профиле  $b = 13,3$  мм, тогда

$$R_o = R_3 = 8,5 \text{ мм}$$

или

$$\frac{R_o}{b} = \frac{8,5}{13,3} \approx 0,6 = \text{const.}$$

Это отношение принимается для всех калибров. Тогда для каждого искомого калибра

$$R'_o = 0,6b'_o, \quad R'_3 = 0,6b'_3,$$

где  $R'_o, R'_3$  — радиусы закругления между стенкой и фланцем в готовом профиле.

Радиус закругления  $r_3$  с внутренней стороны закрытых фланцев находится указанным выше способом.

Для балки № 16  $r_3 = 3,5$  мм и толщина фланца у края  $a = 6,5$  мм.

Тогда  $\frac{r_3}{a} = \frac{3,5}{6,5} = 0,54$  или  $r_3 = 0,54 a$ . По этой зависимости  $r_3$  определяется для последних калибров. Радиус закругления  $r'_3$  определяется конструктивно.

10. Первый по ходу прокатки разрезной калибр может быть закрытым или открытым.

В разрезном калибре делается несколько проходов. В зависимости от ширины балок угол гребней принимается равным 45—70° (более острым со стороны открытой части калибра).

Тупые грани вызывают значительную утяжку, поэтому они применяются только при прокатке крупных балок. Разрезные калибры при этом делают открытыми. При прокатке в закрытом разрезном калибре профиль имеет толстые фланцы и узкую стенку. Для получения требуемого профиля ввиду ограничения бокового обжатия фланцев необходимо применять большое количество проходов. Открытые балочные калибры не требуют большого увеличения диаметра валков.

Открытые разрезные калибры проектируют с большим (до 25%) уклоном наружных и внутренних стенок ручья.

Высота заготовки для прокатки балок обычно в 2—2,5 раза больше высоты фланцев конечного профиля. Ширину заготовки определяют по ширине разрезного калибра и принимают равной или несколько меньшей минимальной ширины разрезного калибра.

Существует значительное количество методов калибровки валков. Все они достаточно подробно рассмотрены П. И. Полушкиным. Мы рассмотрим только метод А. П. Чекмарева, отличающийся от многих других своей простотой, а также давший положительные результаты на практике.

Необходимо отметить, что во всех методах расчет калибровки производится против хода прокатки. Вывод формул, используемых при расчетах, можно найти в соответствующих трудах отдельных авторов [16, 34].

### Метод А. П. Чекмарева

Общая схема деформации в балочном калибре знакомит нас со следующими видами деформации:

1) обжатие стенки  $\Delta d = d_2 - d_1$ ; 2) уширение стенки  $\Delta B = B_1 - B_2$ ; 3) боковое обжатие открытого фланца  $\Delta t = t'_2 - t_1$ ; 4) приращение высоты открытого фланца  $\Delta h_o = h_1 - h'_2$ ; 5) боковое обжатие закрытого фланца  $\Delta t' = t_2 - t'_2$ ; 6) уменьшение высоты (утяжки) закрытой полки  $\Delta h_3 = h_2 - h'$ .

Для определения размеров следующего (считая от чистового) смежного калибра необходимо знать:

1) коэффициент вытяжки стенки  $\lambda_{ст}$ , коэффициент вытяжки закрытого  $\lambda_{з.ф}$  и открытого фланцев  $\lambda_{о.ф}$ ; 2) величину уширения в калибре  $\Delta B_1$ ; 3) величину утяжки в закрытом ручье  $\Delta h_3$ ; 4) величину приращения высоты фланца в открытом ручье  $\Delta h_o$ .

Тогда в смежном, в данном случае предчистовом калибре, определяются следующие размеры:

1) площадь стенки  $F_{ст_2} = F_{ст_1} \lambda_{ст_2}$ ; 2) ширина стенки  $B_2 = B_1 - \Delta B_1$ ; 3) толщина стенки  $d_2 = \frac{F_{ст_2}}{B_2}$ ; 4) площадь открытого фланца  $F_{ф_2} = F_{ф_1} \lambda_{ф_2}$ ; 5) высота открытого фланца  $h_2 = h_1' + \Delta h_3$ ; 6) средняя толщина открытого фланца  $t_2 = \frac{F_{ф_2}}{h_2}$ ; 7) площадь закрытого фланца  $F_{ф_2}' = F_{ф_1} \lambda_{ф_1}$ ; 8) высота закрытого фланца  $h_2' = h_1 - \Delta h_o$ ; 9) средняя толщина закрытого фланца  $t_2' = \frac{F_{ф_2}'}{h_2'}$ .

Допустим имеются следующие исходные данные:

а) номер балки и ее размеры в холодном состоянии;  
б) тангенс угла наклона внутренней поверхности полки (по ГОСТ 8239—56 для балки № 30а  $\operatorname{tg} \varphi = 0,0833$ );

в) диаметр валков  $D_o$  и схема расположения оборудования. Расчет калибровки валков для прокатки двутавровой балки производится в следующем порядке:

1. Определяется число фасонных калибров для прокатки заданной балки по графику (рис. 153).

2. Находятся горячие размеры профиля (с частичным использованием отрицательных допусков).

3. Рассчитываются дополнительные размеры чистового профиля:

высота фланца

$$h_n = \frac{H_n - d_n}{2};$$

большое основание фланца

$$b_n = t_n + \frac{h_{ф}}{2} \operatorname{tg}(\varphi)_n;$$

малое основание фланца

$$a_n = 2t_n - b_n;$$

площадь поперечного сечения фланца

$$F_n = t_n h_n;$$

площадь поперечного сечения чистового калибра

$$F_n = 4F_{ф} + B_n d_n;$$

отношение оснований фланца  $\frac{a_n}{b_n}$ .

4. Производится предварительное определение уширения (рис. 158) для разрезного калибра  $\Delta b_1$ , для остальных  $\Sigma \Delta b_{n-1}$  и общее уширение  $\Sigma \Delta b$ .

5. Тогда ширина заготовки равна

$$B_o = B_n - \Sigma \Delta b,$$

ширина разрезного калибра

$$B_p = B_o + \Delta b_1.$$

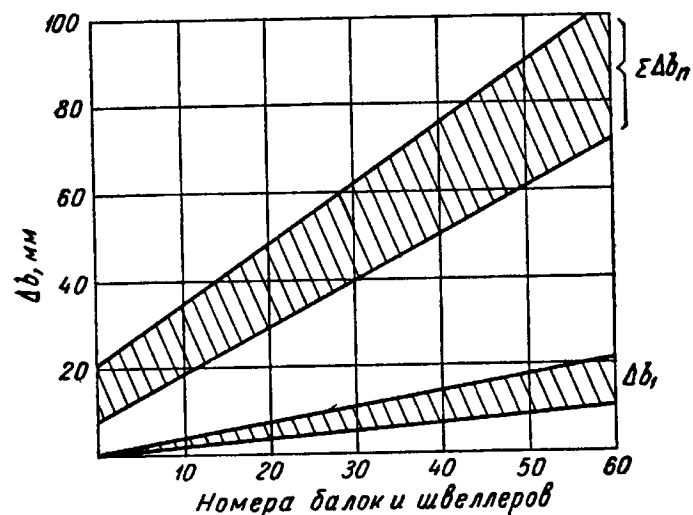


Рис. 158. Определение уширения при прокатке балок и швеллеров (по А. П. Чекмареву)

6. Уширение в балочных калибрах (кроме разрезного)

$$\Sigma \Delta b = B_n - B_p.$$

7. Определяется высота фланцев во всех балочных калибрах в зависимости от номера балок или швеллеров:

Номера балок и швеллеров . . . . .	10—18	20—30	32—60
Утяжка закрытого фланца, мм . . . . .	5	6	7
Утяжка открытого фланца, мм . . . . .	0,5	1,0	1,5

Составляется таблица расчета высот фланцев в балочных калибрах. В качестве примера приводится метод определения высот фланцев во всех калибрах для прокатки двутавровой балки № 24 с учетом чередования форм калибров (см. табл. 52).

Таблица 52

Высоты полок, мм, всех калибров для прокатки двутавровой балки № 24 с учетом чередования (по А. П. Чекмареву)

Полки	Калибры							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Верхняя	Закр. 72	Откр. 73	Закр. 67	Откр. 68	Закр. 62	Откр. 63	Закр. 57	Откр. 57,6
Нижняя	Откр. 79	Закр. 73	Откр. 74	Закр. 68	Откр. 69	Закр. 63	Откр. 64	Закр. 57,6

Примечание. В чистовом восьмом калибре открытой полкой является верхняя.

8. Определяется открытый фланец разрезного калибра: величина большого основания открытого фланца разрезного калибра:

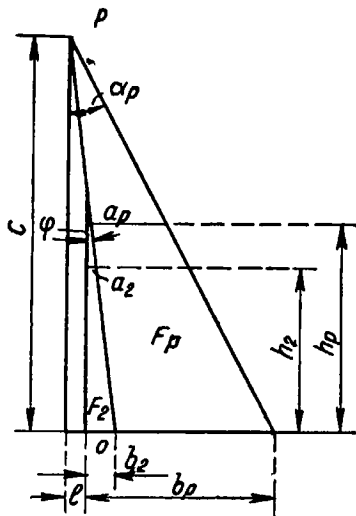


Рис. 159. Определение координат конструктивной точки P

Проверка:

$$c = \frac{l + b_n}{\tan \varphi_n}.$$

9. Определяется закрытый фланец того же калибра: площадь

$$F'_{3p} = F'_{op};$$

$b_{1p} = 0,5B_p;$   
малое основание того же фланца

$$a_{1p} = \frac{a_n}{b_n} b_{1p};$$

площадь открытого фланца

$$F_{op} = \frac{a_{1p} + b_{1p}}{2} h_{1p};$$

угол наклона разрезающего гребня для открытого фланца

$$\tan \alpha_p = \frac{b_{1p} - a_{1p}}{h_{1p}},$$

координаты конструктивной точки (рис. 159)

$$l = \frac{b_{1p} \tan \varphi_n - \tan \alpha_p \cdot b_n}{\tan \alpha_p - \tan \varphi_n};$$

$$c = \frac{l + (b_1)_p}{\tan \alpha_p}.$$

средняя толщина фланца

$$t'_{1s.p} = \frac{F'_{1s.p}}{h_{1p}};$$

(для балки № 24 по табл. 52  $h_{1p} = 72$  мм);

угол наклона разрезающего гребня

$$\tan \alpha'_p = \frac{t'_{1s.p} + l}{c - 0,5h'_{1p}};$$

большое основание закрытого фланца

$$b'_{1s.p} = c \tan \alpha'_p - l;$$

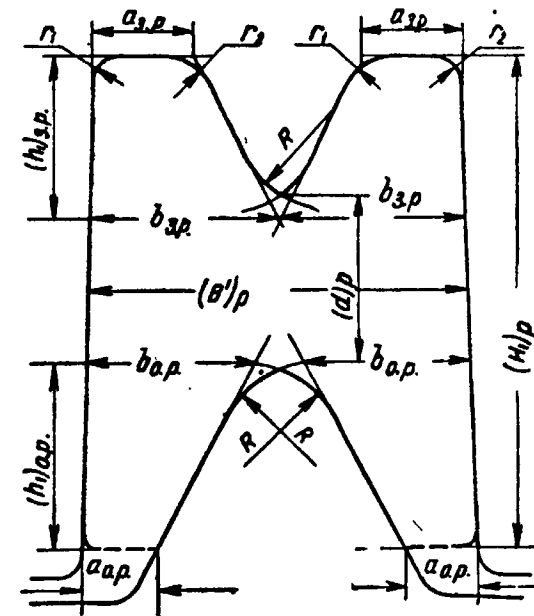


Рис. 160. Определение общей высоты разрезного калибра с учетом закруглений гребней

малое основание закрытого фланца

$$a'_{1s.p} = 2t'_{1p.s} - b'_{1p.s};$$

толщина стенки разрезного калибра без учета закруглений

$$d_{1p} = \frac{2F'_{s.p} \cdot d_n}{2F_{пн} + 0,5d_n \Sigma \Delta b}.$$

Принимают толщину стенки разрезного калибра с учетом закруглений гребня  $d'_{1p}$  (рис. 160);

общая высота разрезного калибра

$$H_{1p} = h_{1, p} + h_{10, p} + d_{1p};$$

площадь разрезного калибра

$$F'_p = 4F_{п. p} + B_1 \cdot d_{1p}.$$

10. Определяются размеры исходной заготовки:

а) высота

$$H_0 = \frac{H_{1p}^2 \cdot B_0}{F'_{1p}};$$

б) угол захвата в разрезном калибре

$$\alpha = \arccos \left[ 1 - \frac{H_0 - d'_{1p}}{D_0 - d'_{1p}} \right].$$

Если угол захвата получился больше допустимого, то производится перерасчет. Приняв величину большого основания открытого фланца разрезного калибра  $0,55 B_p$ , тогда  $b_{1p} = 0,55 B_p$ ;

в) коэффициент вытяжки в разрезном калибре

$$\mu = \frac{F_0}{F_p}.$$

#### Расчет промежуточных фасонных калибров

1. Общий коэффициент вытяжки в промежуточных калибрах:

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{F_p}{F_q}.$$

2. Общий коэффициент вытяжки по проходам:

$$\mu_{\text{общ}} = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \cdot \dots \cdot \mu_{n-1} \mu_n,$$

3. Общий коэффициент вытяжки фланцев

$$\mu_{\text{общ.ф}} = \frac{F_{0.ф}}{F'_{ч.ф}}.$$

4. Поправочный коэффициент

$$m = \sqrt[n-1]{\frac{\mu_{\text{общ.ф}}}{\mu_{\text{общ}}}}.$$

5. Коэффициенты вытяжки фланцев в калибрах

$$\mu_{\phi 2} = m \mu_2; \quad \mu_{\phi 3} = m \mu_3; \quad \mu_{\phi 4} = m \mu_4 \text{ и т. д.}$$

Зная эти коэффициенты вытяжки, можно определить площади фланцев по проходам.

6. Уширение определяется по методу А. П. Чекмарева. Уширение принимается пропорциональным расчетной вытяжке фланцев; общее уширение распределяется по калибрам в соответствии с относительным приращением длины.

Пример. Ряд коэффициентов вытяжек фланцев:

$$\mu_{\phi 1} = 1,46; \quad \mu_{\phi 2} = 1,50; \quad \mu_{\phi 3} = 1,50; \quad \mu_{\phi 4} = 1,5;$$

$$\mu_{\phi 5} = 1,48; \quad \mu_{\phi 6} = 1,40; \quad \mu_{\phi 7} = 1,25; \quad \mu_{\phi 8} = 1,12.$$

Тогда относительное расчетное приращение длины фланцев равно:  $(\mu_{\phi} - 1)$  или для 1-го прохода — 0,46; для 2-го — 0,5; для 3-го — 0,5; для 4-го — 0,5; для 5-го — 0,48; для 6-го — 0,40; для 7-го — 0,25; для 8-го — 0,12.

Сумма относительного приращения длины фланцев

$$\Sigma (\mu_{\phi} - 1) = 0,46 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,48 + 0,40 + 0,25 + 0,12 = 3,21.$$

Допустим общее уширение  $\Sigma \Delta b = 40$  мм. Тогда коэффициент пропорциональности

$$m = \frac{40}{3,21} = 12,46.$$

Имеем для 2-го калибра  $\Delta b_2 = 12,46 : 0,50 = 6,23$  мм и т. д. После этого составляется таблица по распределению уширения в калибрах.

Конечные результаты расчета калибровки двутавровой балки приводятся также в виде таблицы.

При составлении чертежа калибров для прокатки двутавровых балок необходимо строго руководствоваться порядком расстановки размеров калибров, приведенным на рис. 161, где представлена конструкция калибров для прокатки балки № 16.

Пример. Балка № 14 (ГОСТ 8239—56) с учетом допусков имеет следующие размеры:  $B = 140 \pm 2$  мм,  $H = 73 \pm 2$  мм;  $t = 7,5 - 0,45$  мм (плюсовой допуск не ограничивается);  $d = 4,9$  мм. Уклон внутренних граней полок 1:9. Радиус внутреннего закругления  $R = 8$  мм, радиус закругления полки  $r = 3$  мм. Площадь сечения профиля  $17,4$  см<sup>2</sup>, вес 1 пог. м. = 13,7 кг. Балка № 14 прокатывается на стане 500 шахматного типа с последовательным расположением клетей. Диаметр валков I—IV клетей  $D_0 = 630$  мм, в клетях V—IX  $D_0 = 540$  мм. Расчет калибровки производится по методу А. П. Чекмарева.

#### Определение дополнительных размеров

$$\text{Высота фланцев: } \frac{73 - 4,9}{2} = 34,05 \text{ мм.}$$

Большое основание фланцев

$$b = 7,5 + 0,5 \cdot 34,05 \cdot 0,111 = 9,4 \text{ мм.}$$

Меньшее основание фланцев

$$a = 2t - b = 2 \cdot 7,5 - 9,4 = 5,6 \text{ мм.}$$

Учитывая износ валков, целесообразность прокатки на минус и температуру усадки профиля, принимаем следующие размеры чистового калибра:

$$\text{ширина (высота балки)} B_4 = (140 - 2) \cdot 1,012 = 139,7 \text{ мм;}$$

$$\text{высота (ширина фланцев)} H_4 = (73 - 2) \cdot 1,012 = 71,9 \text{ мм;}$$

$$\text{средняя толщина фланцев } t_4 = (7,5 - 0,45) \cdot 1,012 = 7,1 \text{ мм;}$$

$$\text{толщина стенки } d_4 = 4,9 \cdot 1,012 = 4,96 \text{ мм;}$$

$$\text{высота фланца } h_4 = \frac{71,9 - 4,96}{2} = 33,47 \text{ мм} \approx 33,5 \text{ мм;}$$

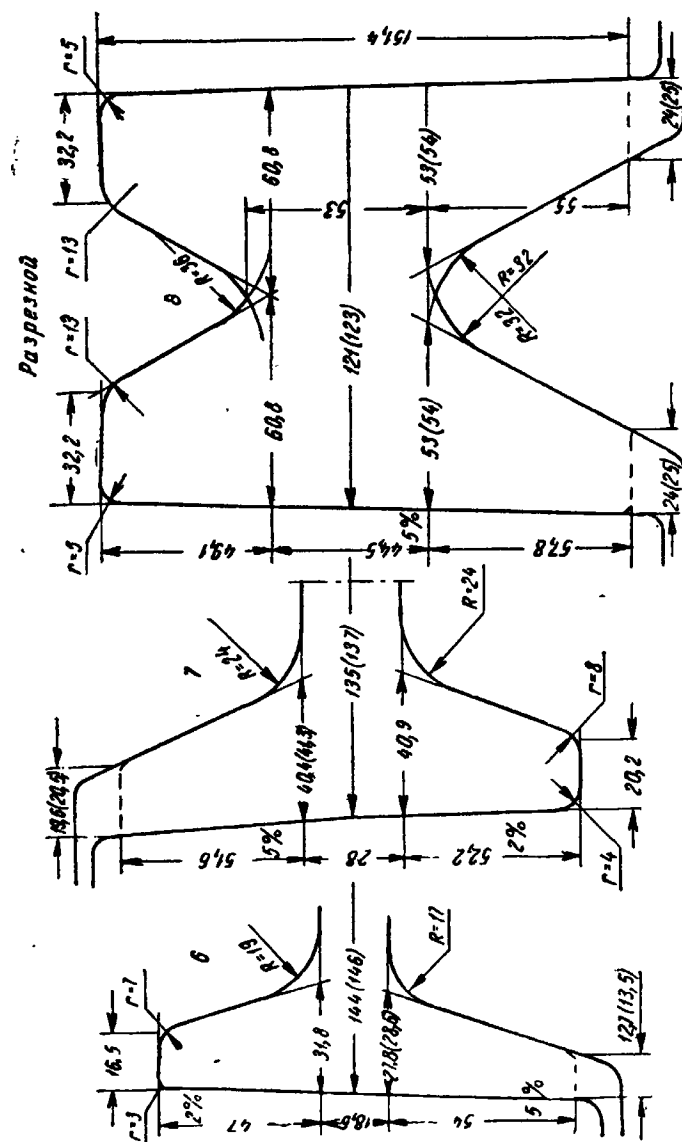
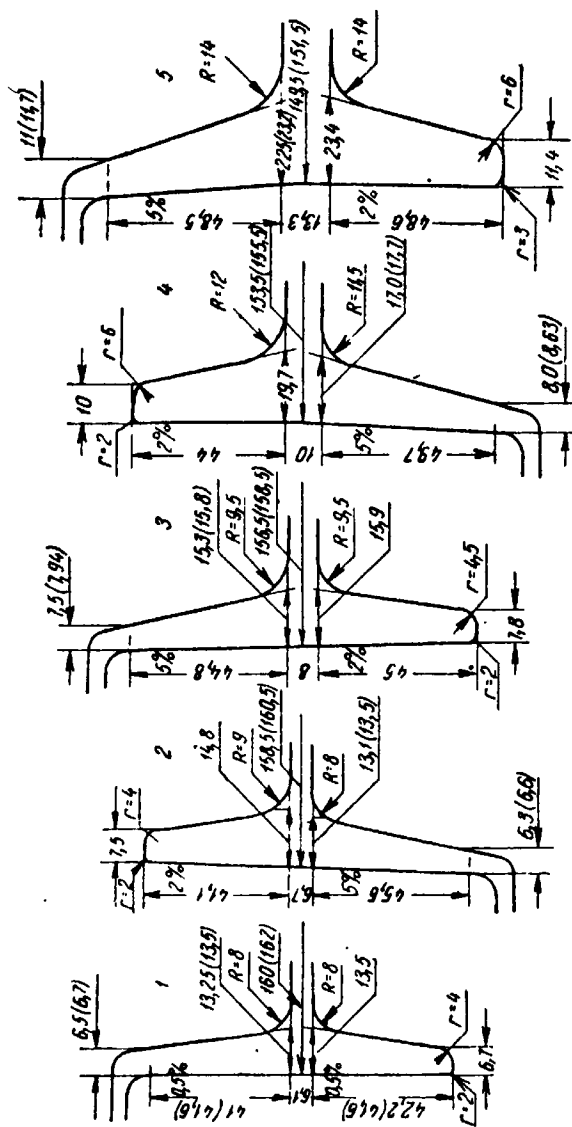


Рис. 161. Конструкция и размеры калибров для прокатки балки № 16 на стане 500. Размеры, указанные не в скобках, приняты после корректирования; размеры в скобках отвечают расчетным данным

большее основание фланца  $b_q = (9,4 - 0,45) \cdot 1,012 = 9,05$  мм;  
 меньшее основание фланца  $a_q = (5,6 - 0,45) \cdot 1,012 = 5,21$  мм;  
 уклон внутренней грани полук  $\operatorname{tg} \varphi_q = \frac{9,05 - 5,21}{33,50} = 0,11$ ;

отношение оснований фланцев

$$\frac{a_q}{b_q} = \frac{5,21}{9,05} = 0,58.$$

#### Определение размеров разрезного калибра

По графику (см. рис. 153) выбираем 6 фланцевых калибров. Из рис. 158 находим уширение в разрезном калибре (закрытого типа)  $\Delta b_p = 3$  мм, в остальных калибрах общее уширение  $\Sigma \Delta b_{n-1} = 28$  мм.

Ширина заготовки  $B_0 = 140 - 3 - 28 = 109$  мм. Тогда ширина разрезного калибра  $B_p = 109 + 3 = 112$  мм.

Общее уширение в остальных калибрах получается:  $140 - 112 = 28$  мм. Выбираем утяжку металла в закрытых фланцах 6 мм и удлинение в открытых фланцах 1 мм.

На основании этого определяем высоты фланцев всех калибров с учетом их чередования. В чистовом калибре открытым фланцем является верхний. Высота фланцев приводится в табл. 53.

Таблица 53

Фланцы	Высота фланцев, мм					
	Калибры					
	I	II	III	IV	V	VI
Верхний	Закр. 42,5	Закр. 43,5	Закр. 37,5	Откр. 38,5	Закр. 32,5	Откр. 33,5
Нижний	Откр. 49,5	Откр. 43,5	Откр. 44,5	Закр. 38,5	Откр. 38,5	Закр. 33,5

В разрезном калибре примем большее основание открытого фланца равным половине ширины калибра:

$$b_p = 0,5 \cdot 112 = 56 \text{ мм.}$$

Сохраняя пропорциональность размеров оснований фланцев, получаем меньшее основание:

$$a_p = \frac{a_q}{b_q} b_p = 0,58 \cdot 56,0 = 32,2 \text{ мм,}$$

$$t_p = \frac{56,0 + 32,5}{2} = 44,25 \approx 44,0 \text{ мм.}$$

Площадь фланца разрезного калибра

$$F_{ф.р} = 44,0 \cdot 49,5 = 2178 \text{ мм}^2.$$

Площадь фланца чистового калибра

$$F_{ф.ч} = 7,1 \cdot 33,5 = 238 \text{ мм}^2.$$

Общий расчетный коэффициент вытяжки фланцев во всех калибрах без разрезного равен

$$\mu_{(2-ч)ф} = \frac{2178}{238} = 9,13.$$

Распределим коэффициенты вытяжки фланцев по проходам

$$\mu_{общ} = 1,70 \cdot 1,70 \cdot 1,70 \cdot 1,6 \cdot 1,15 = 9,13.$$

#### Определение толщины стенки разрезного калибра

Для открытого фланца разрезного калибра имеем

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{b_p - a_p}{h_{p.o}} = \frac{56,0 - 32,2}{49,5} = 0,471.$$

Координаты конструкционной точки

$$e = \frac{b_p \operatorname{tg} \varphi_q - b_q \operatorname{tg} \alpha_p}{\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \varphi_q} = \frac{56,0 \cdot 0,111 - 9,05 \cdot 0,471}{0,471 - 0,111} = \frac{1,8}{0,36} = 5 \text{ мм,}$$

$$c = \frac{5,0 + 56,0}{0,471} = 128,5 \text{ мм.}$$

Для закрытого фланца разрезного калибра имеем:

$$t'_p = \frac{2178}{42,5} = 51,12 \text{ мм} \approx 51,0 \text{ мм,}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_p = \frac{51,12 + 5}{128,5 - 0,5 \cdot 42,5} = \frac{56,12}{107,25} = 0,523,$$

$$b'_p = 128,5 \cdot 0,523 = 67,2 \text{ мм,}$$

$$a'_p = 2,51 - 67,2 = 34,8 \text{ мм} = 35 \text{ мм.}$$

Толщина стенки разрезного калибра определяется по формуле

$$d_p = \frac{2d_q F_p}{K(2F_{п.ч} + 0,5d_q \Sigma \Delta b_{n-1}) - (1-K)d_q b_p} =$$

$$= \frac{2 \cdot 496 \cdot 2178}{0,8(2 \cdot 238 + 0,5 \cdot 4,96 \cdot 29) - 0,2 \cdot 4,96 \cdot 56} = \frac{21556}{383,3} = 56 \text{ мм.}$$

Общий расчетный коэффициент вытяжки стенки во всех калибрах без разрезного

$$\mu_{(2-ч)ст} = \frac{56,0}{4,96} = 11,29$$

$$\text{или } \mu_{(2-ч)ст} = 11,29 = 1,80 \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot 1,21.$$

Площадь разрезного калибра (без учета закруглений)

$$F_p = 56 \cdot 112 + 2 \cdot 2178 = 14964 \text{ мм}^2.$$

Высота разрезного калибра

$$H_p = 56 + 42,5 + 49,5 = 148 \text{ мм.}$$

Высота заготовки

$$H_0 = \frac{H_p^2 B_0}{F_p} = \frac{148^2 \cdot 108}{14966} = 158,0 \approx 160 \text{ мм.}$$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре  $\mu_p = \frac{160 \cdot 109}{14964} = 1,17$ .

Уширение принимается пропорциональным расчетной вытяжке фланцев, а общее уширение распределяется в соответствии с относительным приращением длины.

Сумма величин относительного приращения длины полок равна

$$0,165 + 0,70 + 0,70 + 0,6 + 0,15 = 3,015.$$

Коэффициент пропорциональности

$$m = \frac{28}{3,015} = 9,62.$$

Уширение во 2-м калибре

$$\Delta b_2 = 9,62 \cdot 0,7 = 6,7 \text{ мм и т. д.}$$

Данные расчета уширения приведены в табл. 54.

Таблица 54

Уширение в калибрах

Определяемые величины	Калибры						Сумма
	I	II	III	IV	V	VI	
Относительное расчетное приращение длины полок $(\mu-1)$ , мм	0,165	0,70	0,70	0,70	0,6	0,15	3,015
Уширение $\Delta b$ , мм	3,0	6,7	6,7	6,7	5,8	2,1	31,0
Ширина калибра $B$ , мм	112	118,7	125,4	132,1	137,9	140	—

Все последующие калибры рассчитываются обычным методом по формулам:

1. Средняя толщина фланца

$$t_\phi = \frac{F_\phi}{h_\phi}.$$

2. Угол наклона грани

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{t_\phi + l}{c - 0,5h_i}.$$

3. Большее основание фланца ( $c = 128,5$  мм,  $l = 5$  мм)

$$b_i = c \operatorname{tg} \phi - l.$$

4. Меньшее основание фланца  $a_i = 2t - b_i$ .

5. Толщина стенки  $d_{i+1} = \frac{d_i}{\mu_{\text{ст}}}$ .

Данные расчета калибровки балки № 14 приведены в табл. 55.

Калибровка двутавровой балки № 14

Определяемые величины	Калибры					
	I	II	III	IV	V	VI
Заготовка 160×109 мм						
Коэффициент вытяжки фланцев	—	1,70	1,70	1,70	1,60	1,15
Площадь фланца, мм <sup>2</sup>	2178	1270	745	437	273	238
Высота открытого фланца, мм (см. табл. 53)	49,5	43,5	44,5	38,5	38,5	33,5
Средняя толщина открытого фланца, мм	43,9	20,2	16,7	11,4	7,2	7,1
Угол уклона грани открытого фланца, рад	0,471	0,320	0,204	0,112	0,111	0,110
Большее основание открытого фланца, мм	55,5	36,1	21,2	9,34	9,3	9,15
Меньшее основание открытого фланца, мм	32,2	22,3	12,2	13,5	5,1	5,21
Высота закрытого фланца, мм	42,5	43,5	37,5	38,6	32,5	33,5
Средняя толщина закрытого фланца, мм	51,1	29,2	19,8	11,4	8,4	7,1
Угол уклона грани закрытого фланца, рад	0,523	0,320	0,226	0,150	0,119	0,11
Большее основание закрытого фланца, мм	67,2	36,1	24,0	14,3	10,3	9,15
Меньшее основание закрытого фланца, мм	35,0	22,3	15,6	8,5	5,5	5,2
Коэффициент вытяжки стенки	—	1,80	1,80	1,80	1,6	1,21
Толщина стенки, мм	56,0	31,1	17,3	9,6	6,0	4,96
Ширина калибра, мм	112	118,7	125,4	132,0	137,9	140
Сечение калибра, мм	14964	8772	5179	3015	1919	1646
Коэффициент вытяжки в калибре	1,17	1,71	1,69	1,73	1,56	1,16

Примечание. Полученные основные размеры фасонных калибров необходимо рассматривать как предварительные, подлежащие изменению в процессе выполнения графических работ и, наконец, после опробования этой калибровки в производственных условиях.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие существуют схемы прокатки балок? Указать их достоинства и недостатки.
2. Перечислить основные положения различных авторов по распределению обжатий по элементам двутавровой балки.
3. Какие практические нормы принимаются за основу при проектировании балочных калибров?
4. Каким методом определяется уширение в балочных калибрах?
5. Каким методом определяется радиус закругления между стенкой и основанием фланца?



6. Что такое утяжка металла и в каких фланцах требуется ее учитывать при расчете калибровки?

7. Объясните общую схему деформации в балочном калибре.

8. Как определяется уширение по методу А. П. Чекмарева при прокатке двутавровой балки?

9. Как определить размеры разрезного калибра?

10. Перечислите порядок расчета размеров промежуточных фасонных калибров для прокатки двутавровой балки.

11. Как определить размеры исходной заготовки поступающей в разрезной калибр?

12. В чем заключается метод А. П. Чекмарева при определении высоты фланцев каждого калибра?

13. Чем отличается метод расчета калибровки двутавровой балки, предложенный И. И. Кучко, от других методов?

14. Перечислите особенности прокатки тонкостенных двутавровых балок.

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить основные размеры чистового калибра для прокатки двутавровой балки № 10. Размеры балки № 10 по ГОСТ 8239—56:  $B=100\pm 2$  мм;  $H=55\pm 2$ ;  $d=4,5^{-0,4}$ ;  $t=7,2\pm 0,4$ ;  $R=7$ ;  $r=2,5$  мм. Тангенс угла наклона внутренней поверхности полки  $\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{12}$ . Температура конца прокатки  $T=1100^\circ$ . При расчете учитывать частичное использование отрицательных допусков в пределах 50% от установленных норм (ГОСТ 8239—56).

Отв.  $B_r = 100,3$ ;  $H_r = 54,7$ ;  $d_r = 4,6$ ;  
 $t_r = 7,1$ ;  $h_r = 25,05$ ;  $b = 8,5$ ;  $a = 5,7$  мм;  $F_k = 1173$  мм<sup>2</sup>.

2. Определить основные размеры чистового калибра для прокатки двутавровой балки № 30а. Размеры балки № 30а по ГОСТ 8239—56:  $B=300\pm 3,0$  мм;  $H=145\pm 3,0$ ;  $d=6,5^{-0,5}$ ;  $t=10,7^{-0,6}$ ;  $R=12$ ;  $r=5$  мм. Тангенс угла наклона внутренней поверхности полки  $\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{12}$ . Диаметр валков  $D_1 = 850$  мм. Температура конца прокатки  $1100^\circ$ . Учесть использование отрицательных допусков в пределах 50% от установленных норм (ГОСТ 8239—56).

Отв.  $F = 4824$  мм<sup>2</sup>,  $B_r = 302,4$  мм,  
 $H_r = 145,4$ ,  $d_r = 6,3$ ,  $t_r = 10,5$ ,  
 $h_r = 69,5$ ,  $b = 13,4$ ,  $a = 7,6$  мм.

3. Двутавровая балка № 16 имеет следующие основные размеры:  $B=160$  мм;  $H=81$ ;  $d=5,0$ ;  $t=7,8$ ;  $R=8,5$ ;  $r=3,5$  мм. Определить дополнительные размеры чистового фасонного калибра,

если коэффициент усадки  $1 + \alpha t = 1,013$ , уклон внутренних граней полосы  $1:12$ ; при расчете не учитывать использование отрицательных допусков.

Отв.  $F = 3421$  мм<sup>2</sup>,  $B_p = 162,1$  мм,  
 $H_r = 82,1$ ,  $d_p = 5,1$ ,  $t_p = 7,9$ ,  
 $h_r = 38,5$ ,  $b = 9,5$ ,  $a = 6,3$  мм.

4. Определить полную площадь 2-го предчистового калибра для прокатки балки № 16. Коэффициент вытяжки стенки в чистовом калибре  $\mu_{cr}=1,08$ ; коэффициент вытяжки в закрытом фланце  $\mu_{з.ф} = 0,96$ ; коэффициент вытяжки в открытом фланце  $\mu_{о.ф}=1,10$ ; уширение в чистовом калибре  $\Delta b=1,5$  мм.

Отв.  $F_2=3499$  мм<sup>2</sup>.

5. Ширина разрезного калибра  $B'_r = 123$  мм, высота  $H_p = 151,4$  мм; уширение при прокатке в нем плоской заготовки  $\Delta b=6$  мм. Площадь разрезных клиньев  $F_{p-к}=4000$  мм<sup>2</sup>. Определить сечение заготовки для прокатки в разрезном калибре. Высоту заготовки определить по формуле

$$H_0 = \frac{2}{3} \frac{F_{p-к}}{B_c} + H_p \dots$$

Отв.  $117 \times 173$  мм.

6. Определить основные размеры разрезного калибра для прокатки на дуо-реверсивном стане 800 двутавровой балки № 24, имеющей следующие размеры: высота  $240 (+2; -4)$  мм; ширина полки  $120 (+1,7; -2,3)$  мм; средняя толщина полки  $10,6$  мм, толщина стенки  $5,5 (+0,5; -1,0)$  мм. Уклон внутренней грани полки  $14,4\%$ .

Отв.  $h_{p-з} = 72$  мм;  $h_{p-о} = 79$ ;  $b_p = 102$ ;  
 $a_p = 40,8$ ;  $B_p = 204$ ;  $d_p = 61$  мм.

7. По условию задачи № 6 определить координаты конструкционной точки  $P$  при наложении фланцев чистового и разрезного калибров (см. рис. 159).

Отв.  $c=140$  мм,  $l=6,5$  мм.

8. Двутавровая балка № 24 прокатывается в 8 профильных калибрах. Определить ширину каждого калибра, если коэффициенты вытяжки по проходам равны:  $1,46 \cdot 1,50 \cdot 1,50 \cdot 1,50 \cdot 1,48 \times 1,40 \cdot 1,25 \cdot 1,12$ ; уширение в разрезном калибре  $\Delta b_p = 4$  мм; общее уширение в остальных калибрах  $\Sigma \Delta b_{n-1} = 36$  мм; ширина разрезного калибра  $B_p = 204$  мм.

Отв.

	Калибры							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$B$	204	210,6	217,1	223,6	229,9	235,1	238,4	240
$\Delta b$	4	6,6	6,5	6,5	6,3	5,2	3,3	1,6

9. По условиям задачи № 6 определить площадь разрезного калибра и коэффициент вытяжки при прокатке из нем заготовок  $256 \times 200$  мм.

Отв.  $\mu_p 1,46$ ;  $F_p = 35000$  мм<sup>2</sup>.

10. Рассчитать калибровку двутавровой балки № 18. По ГОСТ 8230—56:  $B = 180 \pm 2,5$  мм;  $H = 90 \pm 2,5$ ;  $d = 5,1 \pm 0,4$ ;  $t = 8,1 \pm 0,5$ ;  $R = 9$ ;  $r = 3,5$  мм. Прокатка производится на стане дуо 500 мм.

Число калибров, размещаемых на каждой из черновых линий, определить по формуле  $n = \frac{L - 1,8H}{K + 1,2H}$  ( $L$  — длина бочки вала;  $K$  — ширина калибра;  $H$  — высота калибра). Ширина калибра  $K = (0,9 \div 0,95) B_1$ , где  $B_1$  — ширина конечного профиля. Для первой клетки  $H = 1,5 H_1$ ; для второй и третьей клеток  $H = 1,25 H_1$  ( $H_1$  — высота конечного сечения балки).

11. Определить число калибров для прокатки балки № 36 по следующим данным: длина бочки валков первой клетки  $L = 2340$  мм, ширина калибра  $K_1 = 288$  мм, высота калибра  $H = 144$  мм; длина бочки валков второй клетки  $L_2 = 1930$  мм, ширина калибра  $K_2 = 342$  мм, высота калибра  $H_2 = 128$  мм.

Достаточно ли двух клеток для расположения необходимых калибров для прокатки балки № 36?

12. Размеры чистового калибра для балки № 36:  $B = 364,7$  мм;  $H = 146,9$  мм; толщина стенки  $d = 7,6$ ; толщина полок  $t = 12,3$  мм. Пользуясь основным уравнением при расчете режима обжатий  $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d}{t} = \text{const}$  и выбирая обжатие стенки  $\Delta d = 0,41$  мм, определить обжатие полок в чистовом калибре и размеры полки и стенки после 2-го прохода. Расчет производится против хода прокатки. Прокатка производится на универсальном стане.

Отв.  $t_2 = 12,96$  мм;  $d_2 = 8,01$  мм;  $\Delta t = 0,66$  мм.

13. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре при прокатке балки № 10 составляет  $\mu = 1,062$ . Пренебрегая коэффициентом усадки определить площадь в предчистовом калибре.

Отв.  $F_2 = 1245,7$  мм<sup>2</sup>.

14. Зная площадь стенки предчистового калибра  $F_{ст} = 2345$  мм<sup>2</sup>, найти площадь полок, если полная площадь предчистового калибра равна 5867 мм<sup>2</sup>.

Отв.  $F_{п} = 3522$  мм<sup>2</sup>.

#### § 4. ПРОКАТКА ШВЕЛЛЕРОВ

Существующий ГОСТ 8240—56 предусматривает производство швеллеров следующих номеров (номер швеллера соответствует ширине стенки, см): 5; 6,5; 8—24 через один, 24а — 36 через два номера и 40.

Если при прокатке балок предусматривается получение окончательного профиля последовательным чередованием открытых и закрытых фланцев, то при прокатке швеллера несколько открытых калибров могут следовать один за другим; возможно также применение других промежуточных калибров.

В настоящее время применяют следующие методы калибровки валков для прокатки швеллеров:

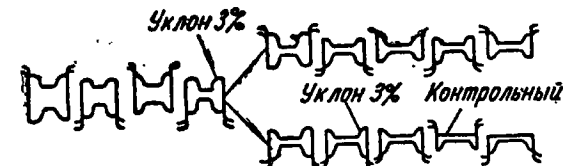


Рис. 162. Схема прокатки швеллеров и балок при общих черновых калибрах

1. Балочный метод.
  2. Калибровка с увеличенным выпуском (прокатка в открытых фланцах).
  3. Калибровка по методу сгибания.
- При балочном методе калибровки (рис. 162) предусматрива-



Рис. 163. Прокатка швеллеров в калибрах с увеличенным выпуском

ются черновые калибры, используемые для прокатки швеллеров и балок. При использовании этого метода сокращается парк валков и число перевалок при переходе с прокатки швеллеров на прокатку балок и обратно.

Этот метод имеет следующие недостатки:

1) большие обжатия ложных фланцев в черновых калибрах вызывают неравномерность деформации всего профиля и увеличивают расход энергии;

2) применение калибров с малым выпуском (обычно не более 3%) уменьшает число переточек по мере выработки ширины калибра.

Калибровка с увеличенным выпуском (рис. 163) позволяет осуществлять минимальный съем по диаметру вала при переточках (экономия валков) и допускает более энергичное обжатие во всех черновых калибрах, что сокращает число проходов при прокатке.

К числу недостатков данной системы относятся:

1) возникновение трудностей при задаче в чистовой калибр (вследствие значительной разницы между шириной полосы и шириной чистового калибра);

2) уменьшение числа калибров, размещающихся на бочке

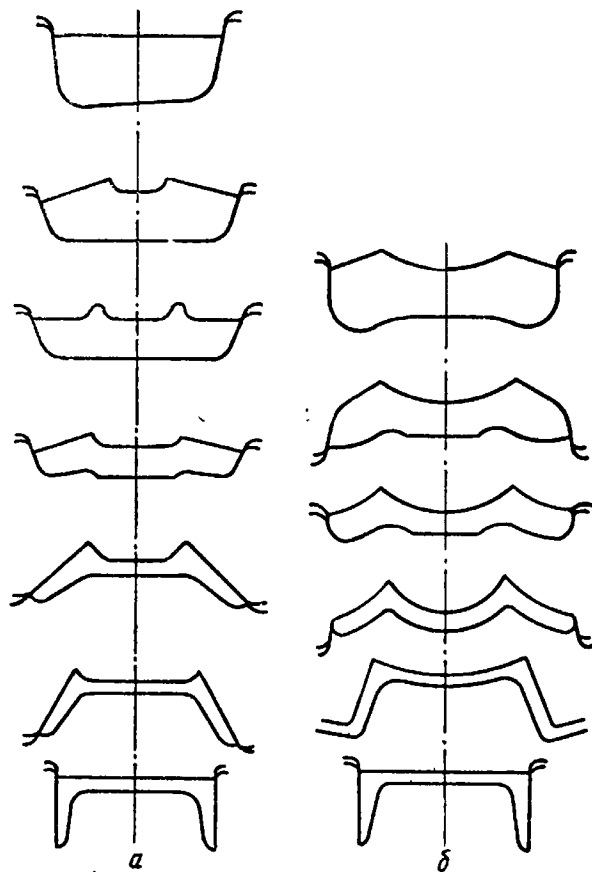


Рис. 164. Калибровка швеллера по методам сгибания (а) и развернутых фланцев (б)

валка за счет возрастания ширины каждого калибра с увеличением выпуска.

Калибровка по методу сгибания (рис. 164) благодаря отсутствию бокового обжатия по полкам позволяет:

- 1) интенсифицировать процесс деформации металла;
- 2) сократить количество фасонных калибров;
- 3) устранить образование складок у основания полкок;
- 4) добиться полной восстановимости размеров калибров в процессе ремонтных переточек валков;

5) снизить степень износа калибров за счет уменьшения разности окружных скоростей в различных точках калибра;

6) создать более равномерный режим деформации различных элементов профиля.

К недостаткам этого метода относятся:

1) затруднительные условия проникновения профиля в калибр;

2) значительное увеличение ширины черновых калибров;

3) неустойчивая работа стана, вызываемая колебаниями размеров фланцев профиля.

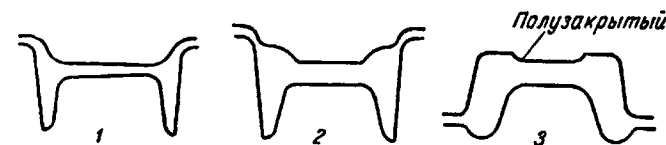


Рис. 165. Типы контрольных калибров

Для регулирования и контроля высоты фланцев необходимо чередовать открытые калибры с закрытыми или полузакрытыми, которые, согласно их назначению, называются контрольными (рис. 162, 163). Первым контрольным калибром делается предчистовой или следующий за ним калибр, чистовой калибр остается открытым. Второй контрольный калибр желательно иметь первым или вторым (по ходу прокатки) после разрезного. Типы контрольных калибров, употребляемые при прокатке швеллеров, приведены на рис. 165.

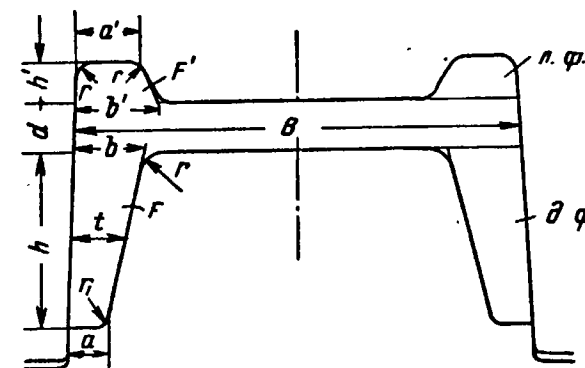


Рис. 166. Конструкция промежуточного швеллерного калибра

При проектировании калибровки валков для прокатки швеллеров рассчитываются основные размеры ложных фланцев (рис. 166). Ложные фланцы необходимы для лучшего выполнения углов профиля и предохранения их от охлаждения, а также для уменьшения остаточных напряжений в готовом швеллере. Ос-

новые размеры ложных фланцев определяются по эмпирическим формулам.

Высота ложных фланцев определяется по формуле Б. П. Бахтинова:

$$h'_{л.ф} = (0,03 \div 0,05) h \cdot (n - 1),$$

где  $h$  — высота действительных фланцев;

$n$  — порядковый номер калибра по ходу расчета.

Меньшее значение коэффициента (0,03) рекомендуется выбирать для калибров, следующих (по ходу расчета) за закрытыми.

Толщина ложных фланцев у основания  $b'_{л.ф.}$  равна  $(1 \div 1,3)b$ . ( $b$  — толщина основания действительного фланца). Наибольшее значение коэффициента следует применять для первых (по ходу расчета) калибров, доводя с приближением к разрезному калибру основания ложных полок до толщины действительных полок  $b_{л.ф} = b$ .

Толщина ложных полок на конце:  $a_{л.ф} = (0,6 \div 0,65)b_{л.ф}$ .

Принимают следующие радиусы закруглений (рис. 166):  $r = t$ ;  $r_1 = (0,5 \div 0,4)r$ ;  $r_2 = 0,5 r_1$ .

Образование ложных фланцев следует начинать с предотделочного калибра. Приведенные формулы используются только при расчете специальной калибровки для швеллеров. В случае общих черновых калибров для швеллеров и балок высота ложных фланцев подбирается с таким расчетом, чтобы в заданное число проходов постепенно довести размеры ложных полок до действительных размеров. Обжатие по высоте в закрытых калибрах (ложные фланцы в них открытые) не должно быть чрезмерно большим, чтобы избежать образования заусенцев в углах профиля.

Обжатие высоты ложных фланцев в остальных калибрах можно выбирать примерно пропорциональным коэффициентам деформации в этих калибрах.

#### Методика расчета калибров по Б. П. Бахтинову

За основу калибровки принимается равенство коэффициентов деформации стенки и фланцев.

Порядок расчета отдельных элементов калибра принимается следующим:

1. Определяются размеры действительных фланцев:

$$h'_3 = h_o + \left( \frac{-d \cdot h_o}{D_{ст} \div d} \right)^*,$$

$$h'_o = h_3 + \left( \frac{h_3^2}{D_{ст} - h_3} \right),$$

где  $h'_3$ ,  $h'_o$  — высота фланцев искомого калибра, следующего (по ходу расчета) за открытым и закрытым калибрами соответственно.

2. Определяются коэффициенты обжатия высоты и толщины фланцев в предыдущем калибре:

$$\eta_o = \frac{h'}{h_o}; \quad \lambda_o = \frac{K}{\eta_o};$$

$$\eta_3 = \frac{h_o}{h_3}; \quad \lambda_3 = \frac{K}{\eta_3}.$$

3. Определяются коэффициенты деформации в контрольных калибрах:

для первого контрольного калибра

$$K'_{конт} = 1 + \frac{h_3}{D_{ст} - h_3};$$

для второго контрольного калибра

$$K''_{конт} = \frac{D_{ст}}{D_{ст} - 2h_3}.$$

При определении  $K$  задаются величинами  $h_3$  и  $d$ . По Б. П. Бахтинову даже значительные ошибки при выборе  $d$  и  $h_3$  не вызывают существенных отклонений в величине  $K''_{конт}$ .

При этом

$$K''_{конт} = \frac{D_{мин} - d}{(D_{мин} - d) - 2h_3}.$$

Для всех последующих калибров коэффициенты деформации  $K$  выбираются по опытным данным.

4. Определяется толщина искомого фланца у основания и на конце:

$$b' = b_o \lambda_o; \quad a' = a_o \lambda_o;$$

$$b_o = b_3 \lambda_3; \quad a'_o = a_3 \lambda_3 - \Delta a_3.$$

Поправка:  $\Delta a = \frac{\Delta h_3 (b'_o - a_3)}{h_3}$  вводится в формулу для определения  $a'_o$  в тех случаях, когда желательно полностью устранить обжатие фланца по толщине на его конце, где

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{ст} - h_3}.$$

5. Определяются размеры стенки:

$$d' = d_k$$

\* Буквами со штрихом обозначаются искомые размеры, без штриха — известные.

( $d'$  — толщина стенки в предыдущем калибре);  
ширина стенки:

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

6. По эмпирическим формулам определяются размеры ложных фланцев.

При прокатке швеллеров и балок из общих черновых калибров изменение высоты ложных фланцев производится пропорционально общему коэффициенту деформации в данном калибре.

#### Схема расчета калибровки валков для прокатки швеллеров

1. Предварительно задаются схемой прокатки швеллера, числом фасонных калибров и коэффициентами деформации  $K$  для каждого из них.

2. Определяются дополнительные размеры и горячие размеры чистового профиля.

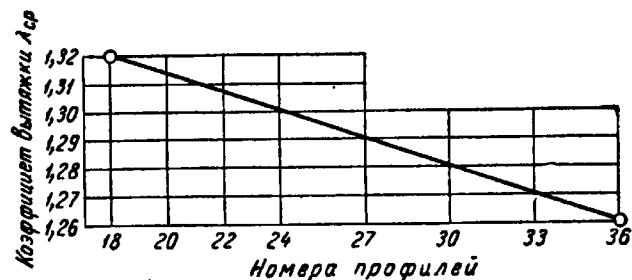


Рис. 167. Изменение средних коэффициентов вытяжки в зависимости от размера профиля

3. Определяется общий коэффициент деформации фланцев  $\lambda_{\text{общ}}$ , не считая коэффициента в первом контрольном калибре. Изменение средних коэффициентов вытяжки в зависимости от размера профиля по данным И. И. Кучко [35] предлагается принимать по графику (рис. 167). Изменение среднего коэффициента вытяжки по проходам представлено на рис. 168.

4. Находится ширина разрезного калибра так же, как при прокатке двутавровых балок.

5. Рассчитывается фактический общий коэффициент деформации:

$$K_{\text{общ}} = \frac{B_p}{2b_r}.$$

6. Корректируются заданные коэффициенты деформации увеличением их величины или числа фасонных калибров.

7. Составляется окончательная схема прокатки.

8. Определяются размеры фасонных калибров.

9. Производится корректирование и определение дополнительных размеров.

10. Находятся размеры исходной заготовки и размеры разрезного калибра.

11. Отыскивается положение центров тяжести калибров.

12. Составляется чертеж расположения калибров на валках.

При конструировании швеллерного калибра для выбора уширения П. И. Полухин [18] рекомендует пользоваться следующими

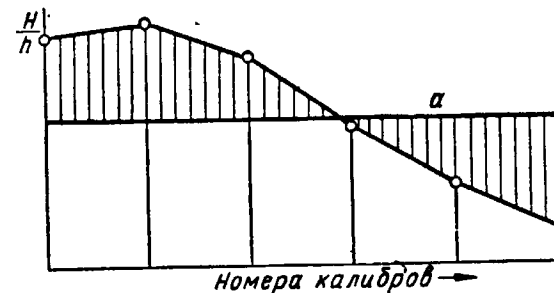


Рис. 168. Изменение среднего коэффициента вытяжки по проходам:  
( $a$  — средний коэффициент вытяжки)

практическими данными ( $n$  — порядковый номер калибра, считая от чистового).

Номера швеллеров	В чистовом калибре	В остальных калибрах
5; 6,5 и 8	0,5	$0,5 + (n-1)$
10; 12; 14; 16 и 18	1,0	$1 + (n-1)$
20; 22; 24; и 27	2,0	$2 + (n-1)$
30; 33; 36 и 40	3,0	$3 + (n-1)$

Величину утяжки закрытого фланца принимают в пределах  $4 \div 7$  мм (большее значение утяжки для больших номеров швеллеров). Величина приращения высоты фланца в открытых ручьях принимается в пределах  $0,5 \div 1,5$  мм (большее значение для больших номеров швеллеров).

Размеры действительных фланцев у основания и у края определяют так же, как при прокатке балки. Толщину ложных фланцев у основания принимают в зависимости от толщины действительных фланцев. При этом в разрезном калибре толщину ложных и действительных фланцев у основания принимают одинаковой, а в последнем калибре, в котором сохраняются ложные фланцы, толщину их у основания принимают в 1,5 раза больше толщины действительных фланцев. В промежуточных калибрах толщина ложных фланцев у основания изменяется равномерно от  $b$  до  $1,5b$ .

Выпуск для наружных стенок чистового швеллерного калибра принимают равным 0,5—1,0%, а в остальных калибрах 5—8%.

При прокатке швеллеров основным коэффициентом, так же как и при прокатке двутавровых балок, является коэффициент обжатия стенки. В табл. 56 приведено изменение коэффициентов обжатий по стенке и фланцам (по данным И. И. Кучко).

Таблица 56

Изменение коэффициентов обжатий по стенке и фланцам для швеллеров № 18—36

Коэффициенты	№ швеллера	№ калибров							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Обжатия стенки	18	1,925	1,635	1,555	1,455	1,433	1,210	1,145	1,085
	20	2,080	1,590	1,540	1,452	1,310	1,200	1,13	1,085
	22	1,485	1,575	1,535	1,438	1,298	1,210	1,13	1,085
	24	1,480	1,600	1,520	1,413	1,280	1,176	1,119	1,085
	30	1,280	1,525	1,463	1,370	1,255	1,160	1,100	1,065
	36	1,445	1,415	1,365	1,30	1,200	1,145	1,115	1,055
Обжатия в открытом фланце	18	1,025	1,46	1,45	1,375	1,275	1,195	1,122	1,072
	20	0,928	1,467	1,452	1,383	1,26	1,165	1,110	1,069
	22	1,015	1,542	1,472	1,383	1,250	1,170	1,110	1,072
	24	1,06	1,537	1,46	1,405	1,23	1,145	1,10	1,075
	30	1,10	1,505	1,445	1,355	1,24	1,15	1,09	1,068
	36	1,137	1,43	1,380	1,308	1,215	1,148	1,102	1,065

Зависимость соотношения коэффициентов обжатий стенки и фланцев от размера профиля дана в виде графика (рис. 169) [33]. Как пример расстановки расчетных размеров калибров для прокатки швеллеров приводится конструктивный чертеж (рис. 170).

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Определить горячие размеры чистового профиля швеллера № 20а, имеющего следующие размеры:  $B = 200$  мм;  $d = 5,2$ ;  $H = 80$ ;  $t = 9,7$ ;  $R = 9,5$ ;  $r = 4,0$  мм. Уклон внутренней стенки фланца 10%; температура конца прокатки  $T = 1000^\circ$ .

Отв.  $B = 202,4$  мм;  $h = 75,8$ ;  $b = 13,6$ ;  $a = 6,03$ ;  $d = 5,26$ ;  $R = 9,6$ ;  $r = 4,1$  мм.

2. Определить площадь чистового профиля швеллера № 20а без учета радиусов закругления (по данным задачи № 1).

Отв. 2552,6 мм<sup>2</sup>.

3. Принимая начальный диаметр валков  $D_0 = 650$  мм и  $h_a = h_0 = 74,8$  мм, определить коэффициенты деформации  $K'$  и  $K''$

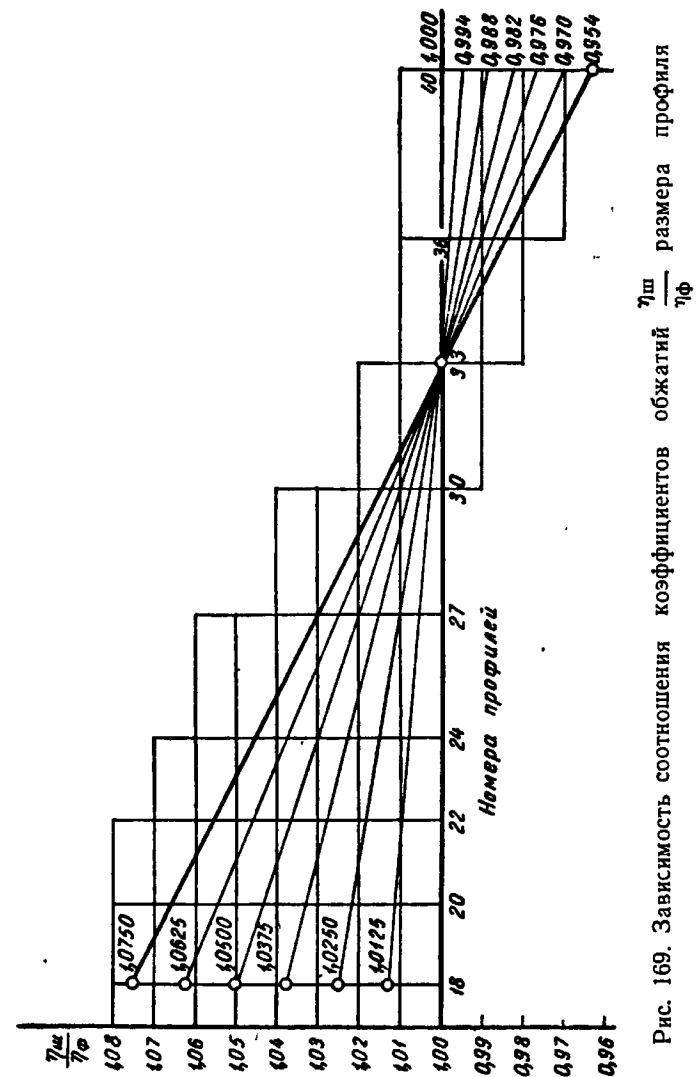


Рис. 169. Зависимость соотношения коэффициентов обжатий от размера профиля

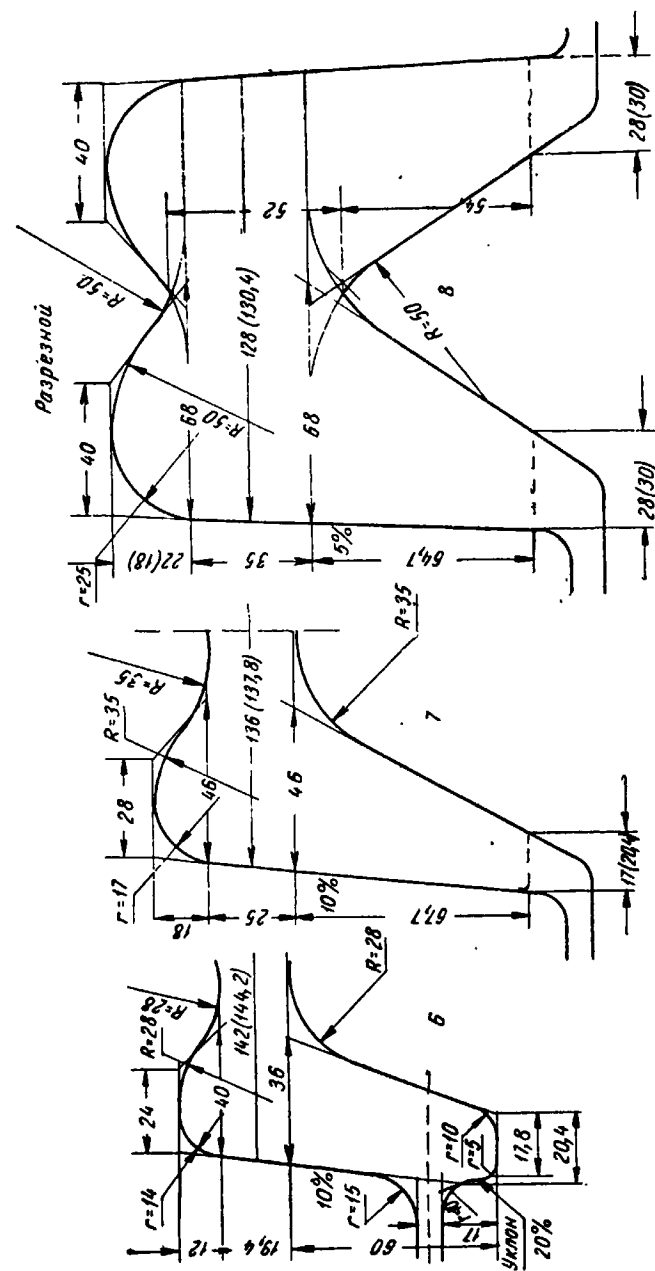
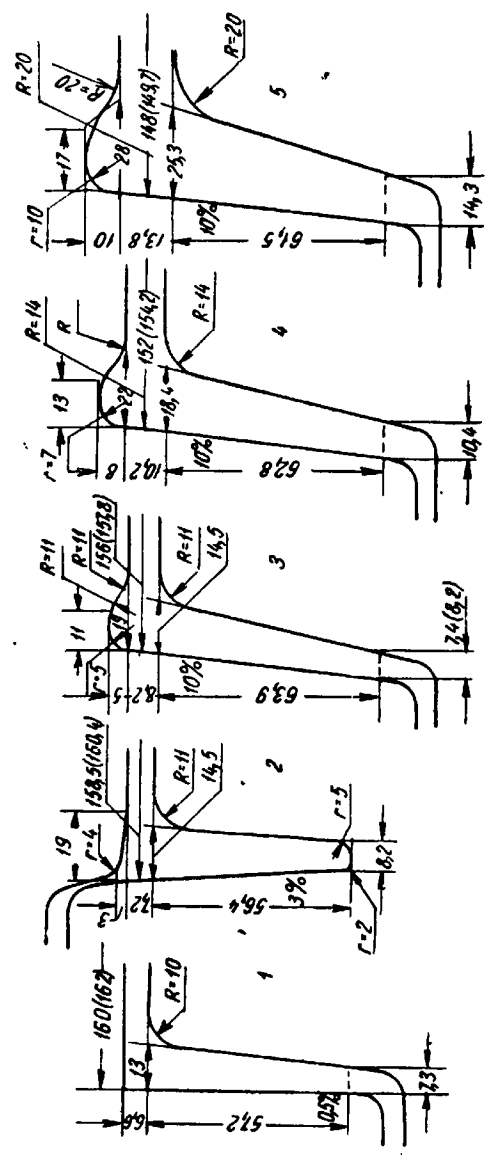


Рис. 170. Конструкция и размеры калибров для прокатки швеллера № 16 на стане 500 (по Б. П. Бахтинову)

в первом и втором контрольных калибрах для прокатки швеллера № 20а, размеры которого даны в задаче № 1. При определении  $K''$  ориентировочно принимается:  $d = 20$  мм,  $h = 75$  мм.

Отв.  $K' = 1,148$ ;  $K'' = 1,361$ .

4. Для предварительных подсчетов определить общее число фасонных калибров для прокатки швеллера № 20а.

Отв. 9.

5. Рассчитать основные размеры действительных и ложных (закрытых) фланцев второго калибра (против хода прокатки) для прокатки швеллера № 20а. Коэффициент обжатия в первом калибре  $K_1 = 1,1$ . Минимальный диаметр валков  $D = 585$  мм.

Отв. Действительные фланцы:  $h'_3 = 75,1$  мм;  
 $b'_3 = 15,4$ ;  $a'_3 = 6,69$ .

Ложные фланцы:  $h'_0 = 3$ ;  $b'_0 = 20$ ;  $a'_0 = 0$ .

6. Определить ширину разрезного калибра для прокатки швеллера № 20а.

Отв.  $B_p = 158,4$  мм.

7. Определить общий коэффициент деформации в восьми фасонных калибрах для прокатки швеллера № 20а.

Отв.  $K_{1-8} = 5,8$ .

8. Определить толщину и ширину стенки, а также площадь второго (против хода прокатки) калибра для прокатки швеллера № 20а.

Отв.  $d_2 = 5,8$  мм;  
 $B_2 = 200,4$  мм;  $F_2 = 2880$  мм<sup>2</sup>.

9. Определить положение центра тяжести всего профиля второго (против хода прокатки) калибра для прокатки швеллера № 20а относительно линии соединения действительных фланцев со стенкой. Статические моменты площадок, расположенные ниже этой линии, принимаются с плюсом, расположенные выше — с минусом.

Отв.  $U_c = 17$  мм.

10. Спроектировать калибры для прокатки швеллера № 12, имеющего следующие размеры:  $B = 120 \pm 2$  мм;  $H = 52 \pm 2$ ;  $d = 4,8-0,4$ ;  $t = 7,8-0,4$ ;  $R = 7,5$ ;  $r = 3$  мм. Прокатка швеллера производится на стане 500. Изменение коэффициентов вытяжки в калибрах принять по графику (см. рис. 155).

## § 5. ПРОКАТКА РЕЛЬСОВ

### Основные сведения и схемы прокатки

Рельсы характеризуются весом погонного метра и формой профиля. На рис. 171 представлены различные формы рельсовой стали. Наиболее распространенные из них следующие:

1. Рельсы железнодорожные для дорог широкой колеи (ГОСТ 3542—47).
2. Рельсы железнодорожные узкой колеи (ГОСТ 6368—52).
3. Рельсы крановые (ГОСТ 4121—52).
4. Рельсы трамвайные желобчатого типа (ГОСТ 6544—53).

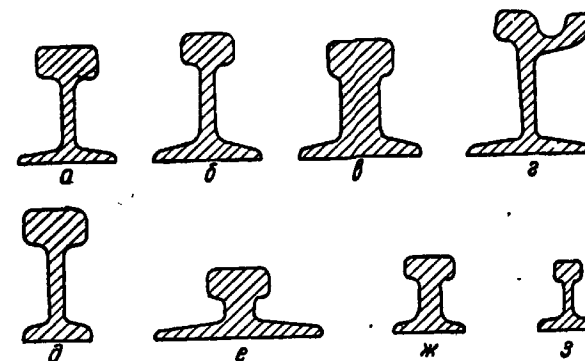


Рис. 171. Типы рельсов:

а, б — нормальные железнодорожные; в — для стрелочных остряков; г — трамвайные; д — контррельс; е, ж — подкрановые; з — узкоколейные

Первой задачей расчета калибровки валков для прокатки рельсов является выбор схемы прокатки и числа проходов в зависимости от типа рельсов, мощности двигателей и размеров рельсобалочного стана. По Б. П. Бахтинову и М. М. Штернову для прокатки рельсов могут быть использованы 8 схем (рис. 172).

Схема 1 предназначена для прокатки рудничных рельсов за 6 проходов, из которых первые два тавровые. Для устойчивого положения задаваемого квадрата по диагонали в 1-й калибр у основания его со стороны нижнего валка делается углубление. Прокаткой по этому способу достигается наилучший разгон подошвы рельса до требуемой ширины.

Схема 2 используется для прокатки рудничных рельсов более тяжелого типа; число проходов предусматривается на один больше в сравнении со схемой 1, т. е. 7; из них два тавровых и пять нормальных рельсовых калибров.

Схема 3 предусматривает прокатку рельсов за 8 проходов. Если по двум первым схемам в первый тавровый калибр задается



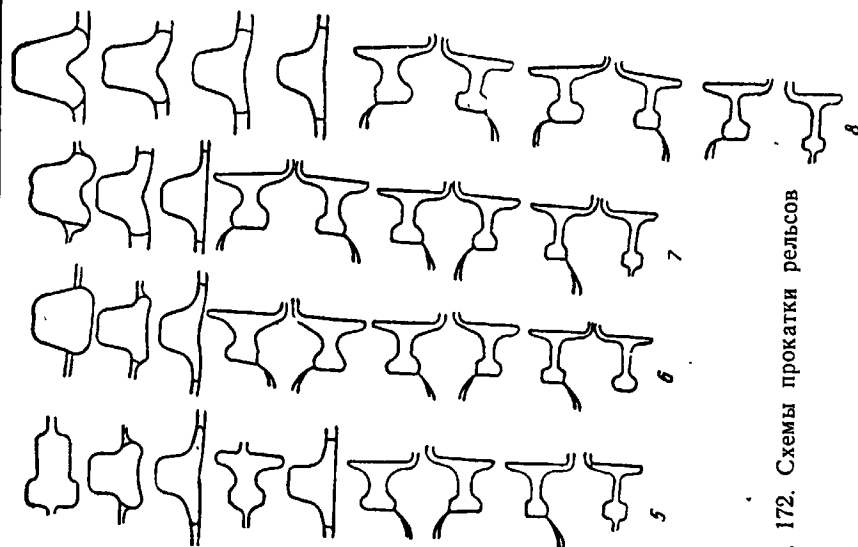
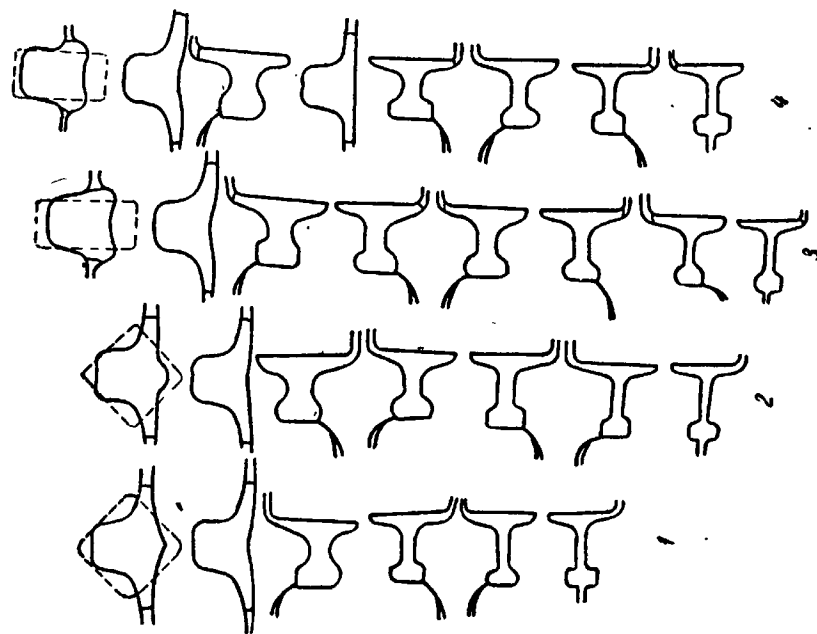


Рис. 172. Схемы прокатки рельсов



по диагонали заготовка квадратного сечения, то по третьей схеме — прямоугольного. К недостаткам этой схемы относится: затруднительный разгон основания задаваемого прямоугольника до требуемой ширины подошвы будущего рельса; сложная регулировка ширины подошвы рельса путем изменения обжатия в тавровом калибре; быстрая выработка ширины последующего ряда рельсовых калибров, в результате чего головка рельса получается с переполнением.

Для устранения указанных недостатков прибегают к следующим изменениям форм калибров в сравнении с калибрами двух ранее рассмотренных схем: в первом калибре вместо углубления в его дне делается возвышение; предпоследний калибр врезается в валки с некоторым наклоном оси рельса.

Схема 4 предусматривает прокатку рельсов также за 8 проходов, из которых первые два тавровые, третий разрезной, четвертый тавровый и далее четыре нормальных рельсовых калибра. К недостаткам этой схемы относится увеличение числа кантовок в процессе прокатки.

Схема 5 применяется в тех случаях, когда не обеспечивается заполнение тавровых калибров из плоской заготовки. В этой схеме плоский калибр, предшествующий тавровому, заменяется клиновидным или даже ступенчатым, имеющим существенный недостаток, заключающийся в том, что полоса при выходе из валков «серпит» вследствие неодинакового обжатия по краям. Искривление полосы способствует некоторому смещению подошвы относительно оси калибра. Для выравнивания ширины подошвы профиля разрезной рельсовый калибр врезается в валках с закрытием обоих фланцев подошвы и разъемов по нейтральной оси. Эта схема предусматривает 9 фасонных калибров.

Схема 6 предназначена для прокатки железнодорожных рельсов широкой колеи. В этой схеме клиновидный калибр заменен трапециoidalным. Для того чтобы добиться необходимого уменьшения толщины полосы со стороны головки, достаточно иметь три-четыре тавровых калибра. К недостатку этой схемы относится то, что плоские рельсовые калибры, расположенные один за другим, быстро вырабатываются по ширине и не могут быть восстановлены до нормальных размеров при последующей переточке валков.

Схема 7 является дальнейшим развитием 6-й схемы. В этой схеме первые два калибра из серии рельсовых, следующие за тавровыми калибрами врезаются в валки под некоторым углом, что позволяет восстанавливать прежнюю ширину черновых калибров и тем самым сохранить до некоторой степени нормальные условия работы чистовых калибров.

Схема 8 имеет увеличенное количество тавровых калибров для наиболее полной проработки металла, образующего подошву рельса. В этой схеме предусматривается нарезка наклонно расположенных рельсовых калибров.

К М К	„Азовсталь“	Нижний Тагил
Клеть 1100 330 	270 	300 
Клеть 900 165 	105 	135 
Клеть 800-I 150 	115 	115 
205 	136 	123 
128 	146,5 	161 
120 	139 	14,5 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 
124 	145,5 	14,8 

Рис. 173. Схемы калибровки рельсов Р-50

По данным работы различных заводов наиболее целесообразной считается прокатка железнодорожных рельсов по схемам 7 и 8.

Правильный выбор схемы прокатки и рациональной калибровки обеспечивают хорошее качество рельсов.

На рис. 173 представлены три схемы калибровки валков для прокатки рельсов Р-50. Большого внимания заслуживает метод калибровки Нижне-Тагильского комбината, где применяются три тавровых и пять фасонных рельсовых калибров. Ось чистового калибра наклонена относительно оси валков на 12%. С приме-

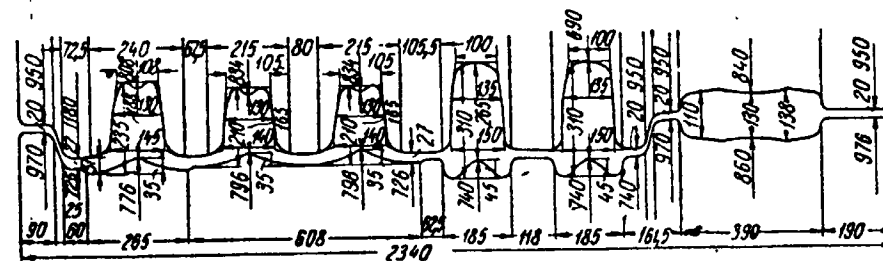


Рис. 174. Калибровка валков клетки 900 для прокатки всех типов рельсов

нием этой калибровки, обеспечивающей достаточную интенсивную проработку металла в тавровых калибрах, брак по трещинам и волосовинам сократился в несколько раз и составил около 0,5% [36].

На заводе «Азовсталь» составлена более совершенная калибровка валков клетки 900 для прокатки всех типов рельсов (рис. 174).

Первый и второй калибры являются общими для всех рельсов, следующие за ними два калибра служат для прокатки рельсов Р-50, Р-65, а последние два — для рельсов Р-75. Для прокатки рельсов Р-50 использован был блям 320×325 мм. В результате значительной проработки средней части подошвы и металла в головке качество рельса резко улучшилось [31].

## Методика расчета калибровки

Калибровка рассчитывается против хода прокатки. Схема обозначений расчетных размеров рельсов показана на рис. 175. Вначале определяются размеры элементов рельса по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова (рис. 176).

Данные для определения размеров элементов железнодорожного рельса приведены в табл. 57.

Выбор общего коэффициента деформации для расчета рель-

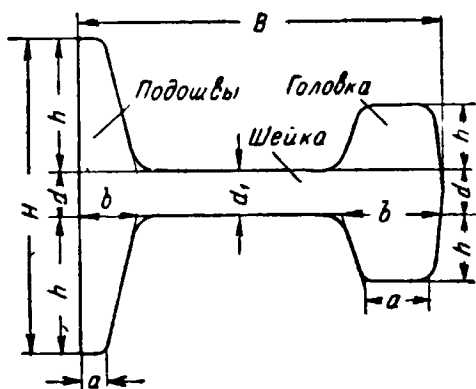


Рис. 175. Обозначение расчетных размеров рельсов

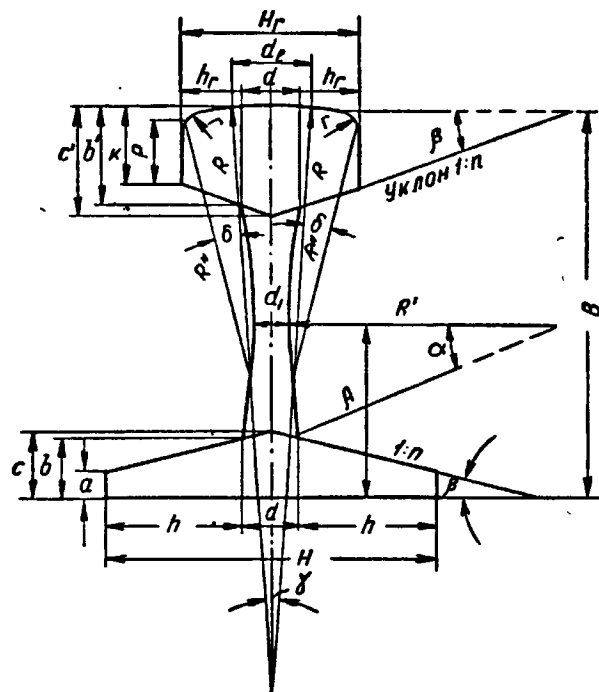


Рис. 176. Размеры элементов железнодорожного рельса широкой колеи

Элементы железнодорожного рельса	Формулы
Углы:	
$\alpha$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R - c}{R'}$
$\beta$	$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{h}$
$\gamma$	$\operatorname{tg} \gamma = \frac{d_2}{R}$
$\delta$	$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_r - d_2}{2 R''}$
Шейка рельса:	
приращение толщины шейки на высоте $c''$ (по сравнению с толщиной $a$ )	$\Delta d = 2R' \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) =$ $= 2 \left( \frac{R'}{\cos \alpha} - R' \right)$ $d = d_1 + \Delta d$
толщина шейки на высоте $c$	$b = c - \frac{d}{2} \operatorname{tg} \beta$
Подошва рельса:	Если толщина шейки на высоте $c$ равна $d$ , то на высоте $b$ толщина шейки будет больше, поэтому следующий расчет повторить по указанным выше формулам, подставляя только вместо значения $c$ значение $b$
толщина основания подошвы при шейке, равной подошве	$a = c - \frac{H}{2} \operatorname{tg} \beta = c - \frac{H \cdot 1}{2}$ $h = \frac{H - d}{2}$
толщина подошвы на конце фланца	$b' = c' - \frac{d}{2} \operatorname{tg} \beta$
Высота фланцев	$K = c' - \frac{H_r}{2} \cdot \frac{1}{h}$
Головка рельса:	$c' = \frac{H_r}{2} \operatorname{tg} \beta$
толщина головки в месте соединения с шейкой	$a' = K \left[ \frac{d_2}{4} \operatorname{tg} \gamma + \frac{H_r + d_2}{4} \times (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \delta) \right]$
толщина головки без учета скруглений вершины рельса	$h = \frac{H_r - d}{2}$
толщина головки с учетом скруглений радиусами	
высота фланцев у головки рельса	

совых калибров производится по П. Б. Бахтинову и М. М. Штернову:

Место деформаций	
Рельсы всех размеров (фланцы головки и подошвы) . . . . .	1,9—2,4
Мелкие узкоколейные рельсы (крайние части шейки рельса) . . . . .	1,9—2,4
Крупные железнодорожные рельсы (средняя часть шейки рельса) . . . . .	3,4—4,3

Так как в рельсе толщина шейки в середине и у основания фланцев различна, необходимо для крайних частей шейки определять  $K_0$  отдельно.  $K_0$  для крайних частей шейки будет во столько раз меньше  $K_0$  для середины шейки, во сколько раз толщина крайних частей больше толщины средней. Тогда для крайних частей шейки:  $K_0 = (3,4 \div 4,3) \frac{d_1}{d}$ .

После определения общих коэффициентов деформации переходят к определению частных коэффициентов с таким расчетом, чтобы их произведение равнялось  $K_0$ . В целях обеспечения равномерной деформации в чистовом и предчистовом калибрах коэффициенты для всех элементов профиля в этих калибрах выбираются одинаковыми. Принятые частные коэффициенты деформации приведены в табл. 58.

Таблица 58

Примерные значения частных коэффициентов деформации по элементам профиля в рельсовых калибрах для рельса Р-50

Элемент профиля	Частные коэффициенты деформации в калибрах					K
	I	II	III	IV	V	
Головка и подошва . . . . .	1,07	1,12	1,18	1,24	1,3	2,3
Средняя часть шейки . . . . .	1,07	1,12	1,25	1,46	1,6	3,5
Крайние части шейки . . . . .	1,07	1,12	1,18	1,28	1,4	2,54

По данным П. И. Полухина [18], в чистовом калибре коэффициент деформации шейки принимается 1,05—1,15; головки несколько больше. В черновом разрезном калибре коэффициент вытяжки допускается для шейки до 1,5—1,6; для фланцев подошвы — до 1,30—1,45 и для головки — до 1,4—1,5. В подготовительных калибрах соответствующие коэффициенты вытяжки отдельных элементов профиля имеют промежуточное значение между теми, которые рекомендуются для чистового и чернового калибров.

Величину утяжки фланцев подошвы в закрытых ручьях в чистовом калибре принимают 5—7 мм, а в остальных калибрах —

7—10 мм. Приращение высоты фланцев подошвы в открытых ручьях принимают в пределах 0,5—1,0 мм.

Головка рельсового профиля во всех калибрах получает высотное обжатие: в чистовом калибре 1—3 мм, в остальных калибрах — для закрытых фланцев 3—5 мм и для открытых фланцев 1—2 мм.

Выбрав схему калибровки рельса и определив элементы железнодорожного рельса, а также составив таблицу распределения коэффициентов деформации по пропускам, приступают к определению размеров первого чистового рельсового калибра в горячем состоянии, пользуясь теми же методами, какие нами были рассмотрены при расчете калибровки для прокатки двутавровой балки.

Площади фланцев подошвы рельса и головки рельса определяются, как трапеции, а площадь шейки с учетом боковых выемок рассчитывается, как площадь параболического сектора:

$$F'_{\text{ш}} = B_{\text{ш}} d_{\text{ш}} - \frac{2}{3} (B_{\text{ш}} - b'_r - b_n) (d_{\text{ш}} - d_{1\text{ш}}).$$

Общая площадь профиля (по скелету калибра)

$$F' = 2F_n + 2F_r + F'_{\text{ш}} = 2(F_n + F'_r) + F'_{\text{ш}}.$$

Расчет остальных калибров производят исходя из принятых значений частных коэффициентов деформаций для каждого калибра.

После определения  $d$  и  $d_1$  переходят к определению размеров остальных элементов калибра: подошвы, головки и шейки рельса, пользуясь теми же формулами, которые нами были рассмотрены при калибровке фланцевых профилей.

При расчете калибров с повышенными коэффициентами деформации в предыдущем калибре, при определении высоты фланцев подошвы и головки, должна учитываться их утяжка. Вследствие этого к величине естественной утяжки необходимо добавить дополнительную утяжку  $e$ , вызванную неравномерной деформацией. Тогда окончательная величина утяжки будет равна:

$$\Delta h_3 = \frac{h_3^2}{D_{\text{ш}} - h_3} + e,$$

$$\Delta h_0 = \frac{-h_0 d}{D_{\text{ш}} + d} + e,$$

где  $e = (0,5 \div 0,3) \Delta h_3$ .

Размеры последних трех калибров, вследствие резко выраженной неравномерной деформации в тавровых и разрезных калибрах, точному расчету не поддаются и могут быть определены только в результате опытной прокатки. Поэтому для определения размеров этих калибров пользуются данными аналогичных

калибровок, проверенных на практике. В действующих калибровках величина утяжки подошвы колеблется от 30 до 50 мм (на оба фланца); утяжка при обжатии головки — от 3 до 10 мм (на оба фланца). Размеры заготовки определяются по формуле

$$H_o = H_p + \Delta h_{\text{макс}}^*$$

где  $H_p$  — высота разрезного калибра между гребнем и дном;  
 $\Delta h_{\text{макс}}$  — максимально допустимое обжатие при минимальном диаметре валков.

Ширину заготовки  $B_o$  следует брать с таким расчетом, чтобы иметь в последнем разрезном калибре стесненное уширение.

Обозначения радиусов закруглений показаны на рис. 177. Радиусы закруглений определяются тем же методом, что и при расчете калибровки для прокатки балок.

Первый чистовой калибр

$$c = \frac{R_3}{b_3} = \frac{R_o}{b_o} = \text{const}; \quad \frac{r_3}{a_3} = \text{const}.$$

Головка рельса

$$c = \frac{R_3}{b_3} = \frac{R_o}{b_o} = \frac{r_3}{a_3}.$$

У остальных калибров радиусы закруглений определяются по формулам:

$$R_o = Cb_o; \quad R_3 = Cb_3; \quad r_3 = Ca_3.$$

В качестве примера на рис. 178 представлен общий вид калибровки валков для прокатки рельса Р-50. В скобках указаны расчетные размеры (до корректирования). Размеры первых шести калибров для прокатки рельса Р-50 приведены в табл. 59.

\* Для расчета размеров заготовки можно пользоваться формулами Торкара:  $H = 1,6 h_o$ ,  $B = B_o - \Sigma \Delta b$ , где  $H$  — высота заготовки;  $h_o$  — ширина подошвы горячего рельса;  $B$  — ширина заготовки;  $\Sigma \Delta b$  — суммарное уширение при прокатке рельса.

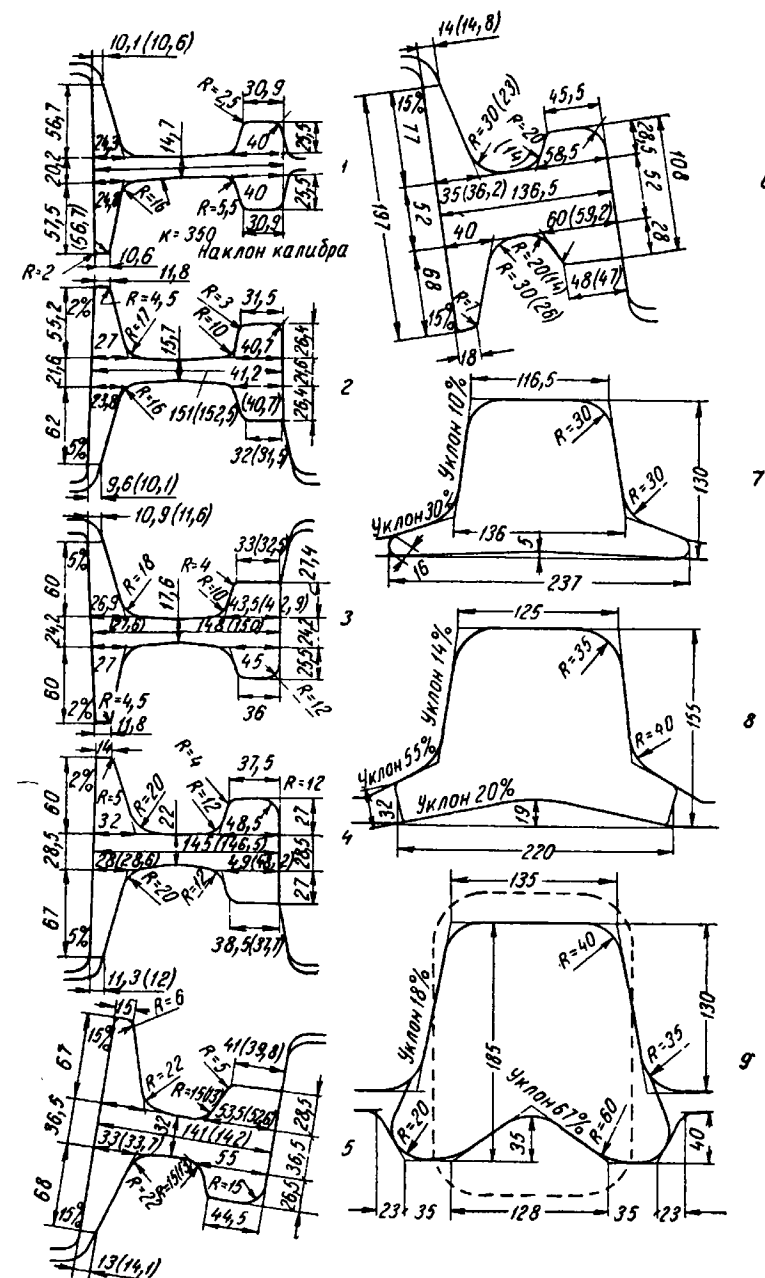


Рис. 178. Конструкция и размеры калибров для прокатки рельсов Р-50 на стане 800 (в скобках указаны размеры до корректирования)

Таблица 59

Размеры первых шести калибров, мм, для прокатки рельса Р-50

Обозначения рассчитываемых элементов калибра	№ калибров					
	I	II	III	IV	V	VI
Подошва:						
открытый фланец:						
$h_o$	56,7	62,0	60	67	68	77
$b_o$	24,3	23,8	26,9	28,0	33	35
$a_o$	10,1	9,6	10,9	11,3	13	14
$R_o$	16	16	18	20	22	30
закрытый фланец:						
$h_s$	57,5	55,2	60	60	67	68
$b_s$	24,8	27	27,5	32	34	40
$a_s$	10,6	11,8	12,0	14,0	15,0	18,0
$R_s$	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0	30,0
$r_s$	4	4,5	4,5	5	6	7
Головка:						
$h_o$	—	26,4	27,4	27	28,5	28
$b_o$	—	41,2	43,5	49	53,5	60
$a_o$	—	32	33	38,5	41	48
$R_o$	—	10	10	12	15	20
Закрытый фланец:						
$h_s$	25,5	26,4	25,5	27	26,5	28,5
$b_s$	40	40,7	45	48,5	55	58,5
$a_s$	30,9	31,5	36	37,5	44,5	45,5
$R_s$	9,5	10	11	12	15	20
$r_s$	10	10	12	12	15	20
Шейка:						
$d$	20,2	21,6	24,2	28,5	36,5	52
$d_1$	14,7	15,7	17,6	22	32	52
$B$	154	151	148	145	141	136,5

Окончательные размеры калибровки рельса устанавливаются только в результате опытной прокатки.

Пояснительные схемы к определению основных размеров калибров для прокатки рельса Р-50 даны на рис. 179, 180. Порядок расчета калибровки рельса Р-50 (по Б. П. Бахтинову) приводит- ся ниже.

Определяются размеры первого калибра:

Подошва рельса. Высота фланцев:

$$h'_o = h'_s = 1,012h = 1,012 \cdot 56 = 56,7 \text{ мм.}$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_o = b'_s = 1,012 \cdot b = 1,012 \cdot 24,5 = 24,8 \text{ мм.}$$

После корректирования  $b'_o = b'_s = 24,8 - 0,5 = 24,3 \text{ мм.}$

Толщина фланцев на конце

$$a'_o = a'_s = 1,012 \cdot a = 1,012 \cdot 10,5 = 10,6 \text{ мм.}$$

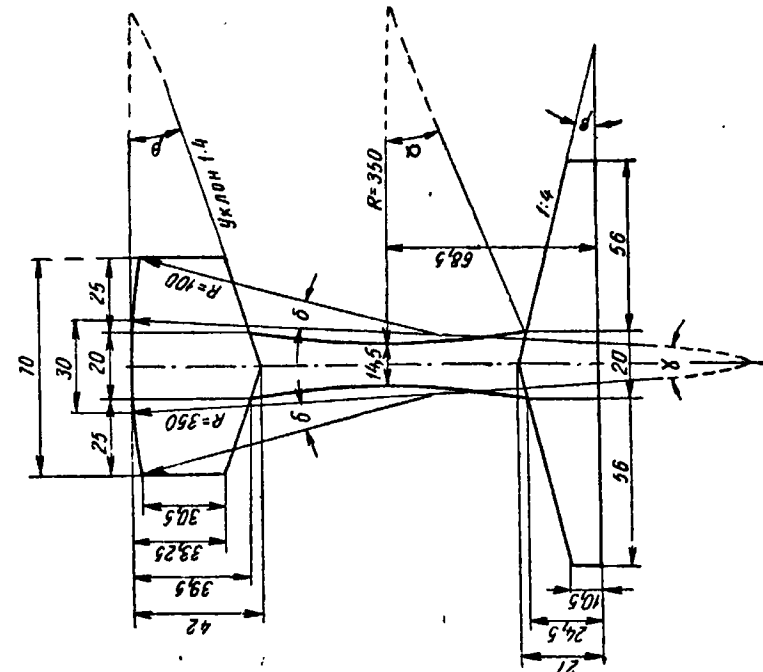


Рис. 180. Схема для определения размеров элементов рельса Р-50

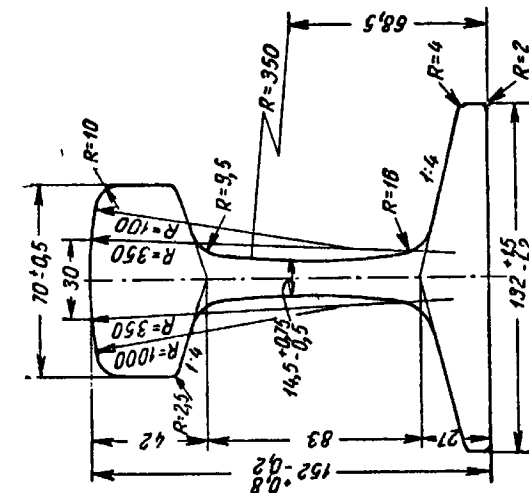


Рис. 179. Рельс Р-50

После корректирования  $a'_o = a'_s = 10,6 - 0,5 = 10,1$  мм;  $h_o = 16$  мм (по заданию).

Высота закрытого фланца чистового калибра увеличивается на половину допуска, тогда

$$h'_s = 56,7 + \frac{1,5}{2} = 57,5 \text{ мм},$$

$$R_s = 16 \text{ мм}, \quad r = 4 \text{ мм (по заданию)}.$$

Головка. Высота фланцев

$$h'_o = h'_s = 1,012; \quad h' = 1,012 \cdot 25 \approx 25,5 \text{ мм}.$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_s = 1,012; \quad b = 1,012 \cdot 39,5 = 40 \text{ мм}.$$

Толщина фланцев на конце

$$a'_s = 1,012 \quad a = 1,012 \cdot 30,5 = 30,9 \text{ мм};$$

$$h_s = 9,5 \text{ мм}; \quad r_s = 10 \text{ мм}.$$

Шейка. Толщина в середине шейки

$$d'_1 = 1,012 \cdot d_1 = 1,012 \cdot 14,5 = 14,7 \text{ мм}.$$

Толщина в местах соединения с подошвой и головкой

$$d' = 1,012 \cdot d = 1,012 \cdot 20 = 20,2 \text{ мм}.$$

Ширина шейки

$$B' = 1,012 \cdot B = 1,012 \cdot 152 = 154 \text{ мм}.$$

Определяются размеры второго калибра.

Подошва. Открытый фланец

$$h'_o = \frac{D_{ш} h_s}{D_{ш} - h_s} = \frac{(720 - 20,2) \cdot 56,7}{(720 - 20,2) - 56,7} = 62 \text{ мм},$$

где  $D_{ш} = 0,9D - d' = 0,9 \cdot 800 - 20,2 \text{ мм} = 699,8 \text{ мм}$  ( $D$  — диаметр валков рельсобалочного стана  $D = 800 \text{ мм}$ ).

Толщина открытого фланца у основания

$$b'_o = b_s \lambda_s = 24,8 \cdot 0,98 = 24,3 \text{ мм},$$

$$\text{где } \lambda_s = \frac{K}{\eta_s} = \frac{1,06}{1,09} = 0,98.$$

После корректирования  $b'_o = 24,3 - 0,5 = 23,8 \text{ мм}.$

Коэффициент обжатия по высоте в закрытой части первого калибра определяется по формуле

$$\eta_s = \frac{h'_o + \frac{d'}{2}}{h_s + \frac{d}{2}} = \frac{62 + \frac{21,6}{2}}{56,7 + \frac{20,2}{2}} = 1,09,$$

$$Kd = d' = 1,07 \cdot 20,2 = 21,6 \text{ мм},$$

где  $d$  — толщина в местах соединения с подошвой и головкой в первом калибре;

$h'_o$  — высота открытия фланца второго калибра;

$h_s$  — высота фланца первого калибра.

Толщина открытого фланца на конце:

$$a'_o = \frac{1}{2} \left[ \lambda_o (b_o + a_o) \frac{h'_s}{h_o} - \lambda_s (b_s - a_s) \right] =$$

$$= \frac{1}{2} \left[ 1,085 (24,8 + 10,6) \frac{55,2}{62} - 0,98 (24,8 - 10,6) \right] = 10,1 \text{ мм},$$

где

$$\lambda_o = \frac{K}{\eta_o} = \frac{1,07}{0,986} = 1,085.$$

После корректирования

$$a'_o = 10,1 - 0,5 = 9,6 \text{ мм}.$$

Коэффициент обжатия высоты в открытом фланце первого калибра

$$\eta_o = \frac{h'_s + \frac{d}{2}}{h_o + \frac{d'}{2}} = \frac{55,2 + \frac{21,6}{2}}{56,7 + \frac{20,2}{2}} = 0,986,$$

где  $h'_s$  — высота закрытого фланца второго калибра, определяемая по формуле

$$h'_s = \frac{D_{ш} \cdot h_o}{D_{ш} + d} = \frac{(720 - 20,2) \cdot 56,7}{(720 - 20,2) + 20,2} = 55,2 \text{ мм},$$

$h_o$  — высота фланца первого калибра.

Толщина закрытого фланца у основания

$$b_s = b_o \lambda_o = 24,8 \cdot 1,085 = 26,9 = 27 \text{ мм}.$$

Толщина закрытого фланца на конце

$$a'_s = \frac{1}{2} \left[ \lambda (b_s + a_s) \frac{h'_o}{h'_s} - \lambda_o (b_o - a_o) \right] =$$

$$= \frac{1}{2} \left[ 0,980 (24,8 + 10,6) \frac{62}{55,2} - 1,085 (24,8 - 10,6) \right] = 11,8 \text{ мм},$$

где  $\lambda_3$  — коэффициент обжатия толщины в закрытой части первого калибра;  
 $b_0 = b_3$  — толщина фланца у основания первого калибра;  
 $a_3 = a_3$  — толщина фланца на конце первого калибра;  
 $h'_0$  — высота открытого фланца второго калибра;  
 $h'_3$  — высота закрытого фланца второго калибра;  
 $\lambda_0$  — коэффициент обжатия толщины в открытом фланце первого калибра.

Головка рельса. Высота искомых фланцев:

$$h'_0 = h'_3 = \frac{D_{\text{ш}} \cdot h_3}{D_{\text{ш}} - h_3} = \frac{(720 - 20,2) \cdot 25,4}{(720 - 20,2) - 25,4} = 26,4 \text{ мм},$$

где  $h_3$  — высота фланцев у головки рельса в первом калибре.  
 Коэффициент обжатия высоты головки в чистовом калибре

$$\eta_3 = \frac{h'_0 + \frac{d'}{2}}{h_3 + \frac{d}{2}} = \frac{26,4 + \frac{21,6}{2}}{25,4 + \frac{20,2}{2}} = 1,05.$$

Коэффициент обжатия толщины головки в чистовом калибре

$$\lambda_3 = \frac{K}{\eta_3} = \frac{1,07}{1,05} = 1,02.$$

Толщина фланцев у основания

$$b'_0 = b'_3 = b_3 \lambda_3 = 40 \cdot 1,02 = 40,7 \text{ мм}.$$

После корректирования  $b'_0 = b'_3 = 40,7 + 0,5 = 41,2 \text{ мм}.$

Толщина фланца на конце

$$a'_0 = a'_3 = a_3 \lambda_3 = 30,9 - 1,02 = 31,5 \text{ мм}.$$

После корректирования  $a'_0 = a'_3 = 31,5 + 0,5 = 32 \text{ мм}.$

Шейка. Уширение в первом калибре

$$\Delta b = 0,01B + (n - 1) = 0,01 \cdot 154 + (1 - 1) = 1,5 \text{ мм}.$$

Ширина шейки во втором калибре

$$B_2 = 154 - 1,5 = 152,5 \text{ мм}.$$

После корректирования  $B_2 = 152,5 - 1,5 = 151 \text{ мм}.$

Все размеры последующих калибров подсчитываются тем же методом, каким пользовались при подсчете размеров двух первых калибров.

1. Пользуясь рис. 176 и табл. 57 для рельса Р-43, определить значения углов:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ .

Отв.  $\text{tg } \alpha = 0,1002$ ;  $\text{tg } \beta = 0,3333$ ;  
 $\text{tg } \gamma = 0,1533$ ;  $\text{tg } \delta = 0,12$ .

2. Для рельса Р-50 определить значения углов:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$ .

Отв.  $\text{tg } \alpha = 0,1185$ ;  $\text{tg } \beta = 0,25$ ;  
 $\text{tg } \gamma = 0,0857$ ;  $\text{tg } \delta = 0,2$ .

3. Определить толщину шейки  $d$  рельса Р-50 на высоте  $c$  (см. рис. 176 и табл. 57).

Отв.  $d = 19,4 \text{ мм}.$

4. Определить толщину подошвы рельса Р-43 при ширине шейки  $d = 17,0 \text{ мм}.$

Отв.  $b = 25 \text{ мм}.$

5. Определить толщину подошвы  $b$  рельса Р-50 при ширине шейки  $d = 20 \text{ мм}.$

Отв.  $b = 24,5 \text{ мм}.$

6. Определить толщину подошвы  $a$  на конце фланца рельса Р-43.

Отв.  $a = 12,75 \text{ мм}.$

7. Определить толщину подошвы  $a$  на конце фланца рельса Р-50.

Отв.  $a = 10,5 \text{ мм}.$

8. Определить высоту фланцев подошвы рельса Р-43.

Отв.  $h = 48,5 \text{ мм}.$

9. Определить высоту фланцев подошвы рельса Р-50.

Отв.  $h = 56 \text{ мм}.$

10. Определить толщину  $b'$  головки рельса Р-50 в месте соединения с шейкой.

Отв.  $b' = 39,5 \text{ мм}.$

11. Определить толщину головки  $b'$  рельса Р-43 в месте соединения с шейкой.

Отв.  $b' = 39,88 \text{ мм}.$

12. Определить толщину головки  $k$  без учета скруглений вершины рельса Р-50.

Отв.  $k = 33,25 \text{ мм}.$



13. Определить толщину головки  $k$  без учета скруглений вершины рельса Р-43.

Отв.  $k = 33,25$  мм.

14. Определить толщину  $a'$  головки рельса Р-50 с учетом скруглений радиусами  $R'' = 100$  мм и  $R = 350$  мм.

Отв.  $a' = 30,5$  мм.

15. Определить толщину  $a'$  головки Р-43 с учетом скруглений радиусами  $R'' = 100$  мм и  $R = 350$  мм.

Отв.  $a' = 30,6$  мм.

16. Определить высоту  $h$  фланцев у головки рельса Р-50.

Отв.  $h = 25$  мм.

17. Определить высоту  $h$  фланцев у головки рельса Р-43.

Отв.  $h = 26,5$  мм.

18. Для рельса Р-43 определить (см. табл. 57) толщину шейки в местах соединения с подошвой и головкой.

Отв.  $h = 17,0$  мм.

19. Определить общую площадь профиля по скелету первого чистового калибра для прокатки рельса Р-50.

Отв.  $F = 6590$  мм<sup>2</sup>.

20. Определить размеры первого чистового калибра для прокатки рельса Р-43 (см. табл. 57). Значение  $1 + at$  принять 1,012.

21. Определить общую площадь профиля по скелету первого чистового калибра для прокатки рельса Р-43.

Отв.  $F = 5874$  мм<sup>2</sup>.

22. В чистовом калибре при прокатке рельса Р-50 коэффициент деформации для всех частей рельса принимается равным  $k = 1,07$ . Диаметр валков рельсобалочного стана  $D_1 = 800$  мм. Определить высоту открытого фланца  $h'_0$  подошвы рельса у второго калибра.

Расчет производится при минимальном диаметре валков  $D_{\min} = 0,9 D_0$ , так как при этом диаметре будет иметь место максимальная утяжка высоты фланцев.

Отв.  $h'_0 = 62$  мм.

23. Спроектировать калибры для прокатки рельсов Р-24 на рельсобалочном стане 800, состоящем из трех дуо-реверсивных клетей, расположенных в одну линию. Приводом стана является электродвигатель мощностью 6000 л. с. с числом оборотов от 50—120 об/мин. Размеры исходной заготовки  $190 \times 210$  мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Зуев и др. Пластичность стали при высоких температурах. Металлургиздат, 1954.
2. С. И. Губкин. Теория обработки металлов давлением. Metallurgizdat, 1947.
3. А. И. Целиков. Современное состояние теории давления металла на валки при продольной прокатке. Сталь, 1958, № 5.
4. А. И. Целиков. Прокатные станы. Metallurgizdat, 1946.
5. М. А. Зарошинский. Прокатка стали. Metallurgizdat, 1948.
6. А. Ф. Головин. Прокатка. Часть II. Metallurgizdat, 1934.
7. В. А. Тягунов. Рациональные режимы обжатий при прокатке тонких листов. Metallurgizdat, 1949.
8. В. В. Швейкин, В. А. Тягунов. Технология прокатного производства. Metallurgizdat, 1956.
9. Я. С. Гинзбург, К. К. Андрацкий. Прокатка качественной стали. Metallurgizdat, 1953.
10. А. А. Протасов, П. П. Зуев. Калибровка валков для прокатки быстрорежущей стали. Metallurgizdat, 1956.
11. А. П. Чекарчев, и Л. Ф. Молотков. Исследование давления металла на валки при прокатке на среднем, мелкосортном, проволочном и обычном станах. Теория и практика металлургии, 1936, № 2.
12. Н. В. Литовченко. Применение высоких обжатий на блюмингах. Metallurgizdat, 1956.
13. А. И. Целиков и др. Прокатка стали. Metallurgizdat, 1943.
14. А. Ф. Головин. Прокатка. Часть III. Калибровка ОНТИ, 1936.
15. А. А. Протасов. Условия прокатки сортовой стали с повышенной точностью. Труды ВНИТОМ, т. VI, Metallurgizdat, 1955.
16. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков. Metallurgizdat, 1953.
17. Н. В. Литовченко. Прокатка толстых листов углеродистой и легированной стали на ММК. Труды НТО, т. XXIII, 125. Metallurgizdat, 1960.
18. П. И. Полухин и др. Прокатное производство. Metallurgizdat, 1960.
19. М. М. Сафьян. Непрерывные листовые станы горячей прокатки. Metallurgizdat, 1956.
20. А. М. Истомин. Состояние и перспективы развития листопрокатного производства в СССР. Труды НТО, т. XXIII. Metallurgizdat, 1960.
21. N. Gremese. La metallurgia Italiana, 1957, № 11, p. 763—73.
- 22. П. А. Александров. Принципы калибровки валков блюминга и условия деформации слитка. Труды НТО, т. X. Metallurgizdat, 1956.
23. Ю. М. Чижиков. Интенсификация процесса прокатки на блюмингах. Труды НТО, т. X. Metallurgizdat, 1956.
24. Н. В. Литовченко, Б. Б. Диомидов. Повышение производительности прокатных станов. Metallurgizdat, 1958.
25. Ю. М. Чижиков. Прокатное производство. Metallurgizdat, 1958.
- 26. И. П. Шулаев. Конструирование прямоугольных калибров. Metallurg, 1961, № 4.

27. Х. Хоффе, Т. Даль. Прокатка и калибровка (перевод с немецкого). Металлургиздат, 1957.
28. Н. В. Литовченко. Построение чистового круглого калибра. Бюллетень ЦИИН ЧМ, 1960, № 19 (399).
29. Н. В. Литовченко. Калибровка периодических профилей арматурной стали. Обработка металлов давлением. Сборник трудов Магнитогорского горнометаллургического института, вып. 20. Metallurgizdat, 1960.
30. М. М. Штернов. Калибровка угловой стали. Metallurgizdat, 1961.
31. П. И. Полухин, О. С. Попов. Исследование деформации металла в косорасположенных балочных калибрах. Технический прогресс в технологии прокатного производства. Metallurgizdat, 1960.
32. В. Е. Грум-Гржимайло. Прокатка и калибровка, КУБУЧ, 1933.
33. И. И. Кучко. Рациональные методы калибровки трамвайных рельсов, балок, швеллеров и лемешной стали с местным утолщением. Труды НТО, т. X. Metallurgizdat, 1956.
34. П. И. Полухин. Прокатка и калибровка двутавровых балок. Metallurgizdat, 1956.
35. И. И. Кучко, Н. П. Кудрявцев. Калибровка и прокатка облегченного швеллера № 40. Сталь, 1959, № 6.
36. Б. М. Шум. Особенности калибровки рельсов. Технический прогресс в технологии прокатного производства. Metallurgizdat, 1960.

Автор

*Протасов Анатолий Александрович.*

Редактор Р. М. Голубчик  
Технический редактор Л. В. Добужинская  
Переплет художника И. В. Чичкина

---

Сдано в производство 26/VI 1962 г.  
Подписано в печать 13/X 1962 г.  
Бумага  $60 \times 90^{1/16} = 10,375$  бум. л. = 20,75 печ. л.  
Уч.-изд. л. 18,10  
Т-10492 Изд. № 2552 Заказ 566  
Тираж 4200 Цена 78 коп.

---

*Металлургиздат*  
Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14  
Типография Металлургиздата,  
Москва, Цветной б., 30

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
43	9 сн.	0,08 К	0,080	Авт.
45		На рис. 25 и в подписи — коэффициент $k$		Авт.
92	11 св.	$D_{\text{дин}} = 558 \text{ мм.}$	$D_{\text{мин}} = 558 \text{ мм}$	Кор.
153	19 сн.	$F_1 = \frac{F_0}{\mu} = \frac{40\,000}{1,26} = 31746 \text{ мм}^2$	$F_1 = \frac{F_0}{\mu} = \frac{40\,000}{1,26} = 31746 \text{ мм}^2$	Ред.
169	4 св.	$h_{n-1} = h_n \sqrt{\mu} =$	$b_{n-1} = h_{n-1} \sqrt{\mu} =$	Авт.
169	8 св.	$h_5 = \sqrt{\frac{2F_5}{1,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4636}{1,12}}$	$h_5 = \sqrt{\frac{2F_5}{1,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4536}{1,12}}$	Авт.
174	16 св.	$h_{\text{КВ}} = h = 0,83r$	$h_{\text{КВ}} = h = 0,83r$	Ред.
179	10 св.	$\mu_{\text{КВ}} = \frac{\mu_{\text{КВ}}}{\mu_{\text{ОВ}}} \mu_{\text{О.К.}}$	$\mu_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{КВ}}}{\mu_{\text{ОВ}}}} \mu_{\text{О.К.}}$	Авт.
180	1 сн.	$\mu_{\text{КВ}} \mu_{\text{ОВ}} = \mu_{\text{ОВ}} = 2,1$	$\mu_{\text{КВ}} \mu_{\text{ОВ}} = \mu_{\text{О.К.}} = 2,1$	Ред.
186	6 св.	$b_3 = h_3 = 1,41a.$	$b_3 = h_3 = 1,41a.$	Авт.
186	6 сн.	$\frac{\mu_{\text{ОВ}}}{\mu_{\text{кр}}} = 1,27 - 0,64 \frac{m}{L}.$	$\frac{\mu_{\text{ОВ}}}{\mu_{\text{кр}}} = 1,27 - 0,64 \frac{m}{h}.$	Авт.
190	3 сн.	$\Delta h_3 =$	$\Delta h_3 =$	Ред.
257	табл. 47	Калибровка угловой стали 120×80×8	Калибровка угловой стали 125×80×8	Авт.
264	8 сн.	Подписи под рис. 146 и 147 поменять местами		Ред.
264	1 сн.	(рис. 146) даны в табл. 49	даны в табл. 49	Ред.
266	9 св.	Из рис. 147	Из рис. 146	Ред.
270	2 сн.	$b_1 = b_r = 0,392h + 0,044R - 0,414H$	$b_1 = b_r = l_1 - 0,392h_1 + 0,044R - 0,414H$	Авт.
285	10 св.	$B_p = B_0 + \Delta b_1$	$B_p = B_0 - \Delta b_1$	Авт.
293	14 сн.	$a'_p = 2,51 - 67,2 = 34,8 \text{ мм}$	$a'_p = 102 - 67,2 = 34,8 \text{ мм}$	Авт.
293	11 сн.	$= \frac{2 \cdot 496 \cdot 2178}{}$	$= \frac{2 \cdot 4,96 \cdot 2178}{}$	Авт.
303	1 сн.	$d' = d_k$	$d' = d \cdot K$	Ред.