

**ZJAZD  
KALIBROWNIKÓW  
GLIWICE, 25-27.VI.1963**

**STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW  
PRZEMYSŁU HUTNICZEGO  
INSTYTUT METALURGII ŻELAZA**



**КАЛИБРОВКА  
ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ**

*МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СЪЕЗДА  
ПО КАЛИБРОВКЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ*

*Перевод А. П. ЧЕКМАРЕВА и А. А. НЕФЕДОВА*



**ИЗДАТЕЛЬСТВО „МЕТАЛЛУРГИЯ“**  
*Москва 1965*

## АННОТАЦИЯ

В книге приведены материалы первого Международного съезда по калибровке прокатных валков.

Рассмотрены: теория и практика калибровки валков для прокатки полупродукта, простых и фасонных профилей на различных станах (блужинги, непрерывные заготовочные, сортовые), а также точность прокатки и износ валков.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников металлургических и машиностроительных заводов, занимающихся калибровкой валков, а также может быть полезна студентам вузов и техникумов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	7
З. Вусатовский. Развитие теоретических основ калибровки валков в Польской Народной Республике .....	9
Н. Герлях. Калибровка валков блужинга для прокатки легированных сталей .....	34
Р. Вусатовский. Технологические аспекты калибровки валков .....	39
Е. Базан, Е. Мадей. Калибровка непрерывных заготовочных станов с групповым приводом .....	49
С. Кухарский. Калибровка непрерывного заготовочного стана со смешанным сортаментом .....	57
В. Вашичек. Калибровка непрерывного заготовочного стана с разнообразной программой прокатки .....	67
Ж. Руу. Расчет уширения и секундного объема металла при горячей прокатке .....	71
К. Рытель. Математический метод расчета вытяжных калибров .....	86
Э. Норлинд. Шведские методы калибровки валков для легированных сталей .....	101
Г. Ханзель. Калибровка для прокатки легированной стали .....	121
Х. Гедин. Калибровка вытяжных калибров графическим методом .....	126
Е. Людыга. Методы расчета калибровки фланцевых профилей .....	133
А. П. Чекмарев. Метод калибровки двутавровых балок .....	145
А. П. Чекмарев. Расчет размеров разрезного калибра и исходной заготовки .....	152
К. Рытель. Исследование деформации металла при прокатке в разрезном калибре .....	165
Е. Фрёмель. Метод расчета балочных и швеллерных калибров .....	177
А. А. Нефедов. О методах расчета калибровки двутавровых балок и швеллеров .....	

Ф. Гофман. Разрезные калибры .....	194
У. Суппо. Теоретические основы калибровки равнобоких и неравнобоких уголков .....	202
Х. Нойманн. Горячая прокатка специальных профилей .....	212
Е. Унгер. Горячая прокатка специальных профилей .....	240
Дж. Мак Лаухлан. Калибровка специальных профилей .....	247
А. Макомаски. О калибровке несимметричных профилей .....	258
Ф. Блеха. Калибровка железнодорожных рельсов .....	260
Я. Войковский. Новая калибровка рельсов .....	273
Д. Нергер. Исследование износа валков .....	275

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В г. Гливице Польской Народной Республики в Институте металлургии железа 25—27 июня 1963 г. состоялся Международный съезд по калибровке прокатных валков.

В работе съезда приняли участие делегаты СССР, ПНР, ГДР, ЧССР, Венгрии, Румынии, Болгарии, Италии, Франции, Англии, ФРГ и Швеции, среди которых находились известные специалисты прокатного производства. Всего на съезде были заслушаны 21 доклад и 8 содокладов.

На заключительном пленарном заседании съезда проф. Е. Базан и докт. инж. Р. Вусатовский подвели итоги съезда, особенно подчеркнув основные теоретические работы советской школы и проф. докт. З. Вусатовского, которые дополняются многими экспериментальными исследованиями заводских инженеров (например, работы Руу по расчету простых калибров и созданию формул уширения, подтвержденных практикой).

В сборнике изложены в несколько сокращенном виде наиболее важные доклады, содоклады и выступления.

В настоящее время на базе теорий пластичности и прокатки с широким использованием экспериментального материала создаются теоретические основы калибровки прокатных валков — одного из наиболее сложных разделов науки о прокатке.

Весьма интересная попытка обобщить некоторые теоретические вопросы калибровки была сделана в докладе З. Вусатовского (ПНР). Его работы по определению уширения, катающего радиуса, расчета простых и фасонных калибров широко известны. Работы З. Вусатовского положены в основу ряда исследований его учеников.

Теоретические основы калибровки простых профилей с широким применением облегчающих расчет номограмм разработаны и доложены польским исследователем К. Рытелем. В его анализе уширения дана весьма положительная оценка формул уширения советских авторов: А. П. Чекмарева, Б. П. Бахтинова, М. И. Злотникова.

Интересен опыт калибровки и прокатки на непрерывном заготовочном стане завода Нова Гута круглых профилей, в частности трубной заготовки диаметром до 150 мм. При этом не применяется вторичный нагрев. Этот опыт полезно испытать на отечественных заводах.

Оригинальные материалы по расчету и определению разме-

ров калибров простой формы представлены в докладе известного французского калибровщика Ж. Руу, предложившего еще в 1929 г. свою формулу уширения. Расчет калибров автор производит при помощи графиков.

Опыт прокатки на шведских станах изложил изобретатель прецизионных рабочих клетей Э. Норлинд. Он показал возможность получения высоких скоростей и высокой точности проката ( $\pm 0,1$  мм) на линейных многоступенчатых проволочных и мелкосортных станах с применением двусторонних обводных аппаратов. Автор предложил таблицы для расчета квадратных и овальных калибров.

Значительный интерес представляют доклады по калибровке фасонных профилей. Результаты широкого исследования прокатки в разрезных калибрах доложил К. Рытель. В его докладе отмечается значение исследований советских ученых. Теоретические основы калибровки фланцевых профилей изложены в докладах А. П. Чекмарева (СССР), Е. Людыги (ПНР), Е. Унгера (ВНР) и др. Доклад итальянского калибровщика У. Суппо по теоретическим основам калибровки уголков следует рассматривать, как заявил автор, развитием работ советских исследователей. В этом докладе приведены расчетные формулы и данные, вполне оправдавшие себя на практике.

Интересно отметить, что многие докладчики указывали на особую важность изучения износа калибров для правильного его учета при калибровке. Об износе валков был сделан доклад инж. Д. Нергером (ГДР), исследования которого на металлургическом заводе в г. Риза продолжают работы по износу, проведенные и опубликованные в СССР.

Съезд калибровщиков показал, что во всех странах проводится научная и практическая работа по изучению и улучшению калибровки валков для прокатки разных профилей. В ряде случаев достигнуты положительные результаты в обобщении большого производственного опыта и создании теоретических основ калибровки и методов расчета калибров. Большое внимание уделяется применению номограмм и графиков для облегчения и ускорения расчетов по калибровке. В связи с этим опыт исследователей ПНР, Франции и других стран весьма поучителен. Интересны изложенные в некоторых докладах калибровки ряда специальных профилей, прокатка которых в СССР пока не производится.

Материалы съезда калибровщиков представляют большой интерес для специалистов-калибровщиков, а также для прокатчиков, работающих на металлургических и машиностроительных заводах, в научно-исследовательских и учебных институтах.

Акад. АН УССР А. П. ЧЕКМАРЕВ  
Канд. техн. наук А. А. НЕФЕДОВ

Проф. докт. инж. З. ВУСАТОВСКИЙ  
(Политехнический институт, г. Гливице, ПНР)

## РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ В ПОЛЬСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Существующие методы определения уширения не обеспечивают достаточной точности, необходимой при расчете калибровки полос. Вследствие этого автор решил изменить методы расчета уширения и вытяжки исходя из условия постоянства объема металла:

$$V_i = \text{const}, \quad (1)$$

где  $i$  — номер прохода.

Из этого условия получаем следующую зависимость коэффициентов деформации:

$$\nu\beta\lambda = 1, \quad (2)$$

где  $\nu = \frac{h_2}{h_1}$  — коэффициент обжатия;

$\beta = \frac{b_2}{b_1}$  — коэффициент уширения;

$\lambda = \frac{l_2}{l_1} = \frac{F_1}{F_2}$  — коэффициент вытяжки.

Расчет всех калибровок с помощью коэффициентов деформации является простейшим методом. Пользуясь коэффициентом вытяжки можно последовательно определять площади сечения для всех проходов исходя из зависимости

$$F_0 = F_n \lambda_n \dots \lambda_1 = F_n \lambda_c^n, \quad (3)$$

а также значение среднего коэффициента вытяжки

$$\lambda_c = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_n}} = \sqrt[n]{\frac{l_n}{l_0}} = \sqrt[n]{\lambda_{\text{общ}}}. \quad (4)$$

Наконец, зависимость (2) является дополнительным критерием оценки правильности калибровки. Во всех случаях, когда  $\lambda > \beta$ , калибр рассчитан правильно, без непроизводительной затраты работы на чрезмерный прирост ширины полосы. В против-



ном случае калибр рассчитан неправильно. Уширение получается слишком большое и его приходится устранять дальнейшей вытяжкой. Случаи, в которых  $\lambda = \beta$ , автор называет теоретическим пределом рентабельности. Из этого следует, что всегда надо стремиться к тому, чтобы  $\lambda > \beta$ .

#### Формулы для определения уширения и вытяжки полос прямоугольного сечения

На начальном этапе исследований проблему упростили, распространив исследования исключительно на мягкие углеродистые стали и обычные температуры прокатки. Были введены показатели формы полосы  $\delta_w = \frac{b_1}{h_1}$  и валков  $\varepsilon_w = \frac{h_1}{D}$ .

Принимая эти показатели и упрощенные условия прокатки (прокатка прямоугольных полос из мягкой углеродистой стали при обычных температурах на гладкой бочке), получаем следующие зависимости уширения и вытяжки:

$$\beta = f(\gamma \delta_w \varepsilon_w); \quad \lambda = \varphi(\gamma \delta_w \varepsilon_w). \quad (5)$$

При помощи методов статистической математики была получена конечная зависимость в виде<sup>1</sup>

$$\beta = \gamma^{-w}, \quad (6)$$

где показатель степени

$$w = 10^{-1,269\varepsilon_w^{0,556}\delta_w} \quad (7)$$

Пользуясь уравнением (2), находим зависимость коэффициента вытяжки от коэффициента обжатия:

$$\lambda = \gamma^{(w-1)}. \quad (8)$$

Связывая зависимости (9) и (11), получаем формулу коэффициента уширения:

$$\beta = \lambda^{\frac{w}{1-w}}. \quad (9)$$

Выведенные формулы (6) — (9) пригодны в основном для обычных случаев прокатки прямоугольных полос на гладкой бочке. Обширные исследования, проведенные Р. Вусатовским, позволили определить влияние температуры, скорости прокатки, состояния поверхности валков и химического состава стали на уширение.

Вводя коэффициенты в формулу (6), получаем зависимость для коэффициента уширения в виде

$$\beta = acdf\gamma^{-w}. \quad (10)$$

<sup>1</sup> Выражение вида  $\beta = \left(\frac{H}{h}\right)^w$  было получено А. Ф. Головиным. *Перев.*

Коэффициент  $a$ , учитывающий температуру прокатки, принят равным 1,005 для температур в пределах 750—900°С и 1,000 для температуры 950°С и выше.

Коэффициент  $c$ , учитывающий скорость прокатки  $v$  в пределах 0,4—17 м/сек, определяется по уравнению

$$c = (0,002958 + 0,00341\gamma)v + 1,07168 - 0,10431\gamma. \quad (11)$$

Коэффициент  $f$ , учитывающий состояние поверхности и материал валков, принят равным 1,02 для чугуновых и шероховатых стальных валков; 1,00 — для отбеленных и гладких стальных и 0,98 — для стальных шлифованных валков.

Уширение для различных сталей учитывается коэффициентом  $d$ , и поэтому формула уширения для легированных сталей имеет вид:

$$\beta = d\gamma^{-w}. \quad (12)$$

Коэффициент  $d$  зависит от обжатия, температуры прокатки и коэффициента формы. С. Концевич подвергнул глубокому анализу и сравнению 22 известных формулы уширения и пришел к выводу о следующей последовательности лучших формул: Экелунда, Злотникова, Чекмарева, Вусатовского. Если учесть среднюю погрешность, то скорректированная формула Вусатовского занимает первое место.

К. Рытель проанализировал формулы уширения Экелунда, Злотникова, Чекмарева, Бахтинова и Вусатовского. Наилучшей формулой является формула (6) Вусатовского. Следует отметить, что по формулам Экелунда и Бахтинова часто получаются результаты, когда  $\lambda < 1$ .

#### Обжатие и уширение полос в симметричных калибрах

При прокатке в простых калибрах введено понятие средней высоты (рис. 1)  $h_c = \frac{F}{b}$  и среднего коэффициента обжатия

$$\gamma_{c2} = \frac{h_{c2}}{h_{c1}} = \frac{F_2}{b_2} \cdot \frac{b_1}{F_1}. \quad (13)$$

Для симметричных калибров формула (6) имеет вид:

$$\beta = \gamma_c^{-w_c}. \quad (14)$$

Показатель степени  $w_c$  включает  $\varepsilon_{wc} = \frac{h_c}{D_c}$  — средний показатель валков и  $\delta_{wc} = \frac{b}{h_c}$  — средний показатель формы.

Средний действующий диаметр валков определяем по уравнению

$$D_c = D_0 - h_c, \quad (15)$$

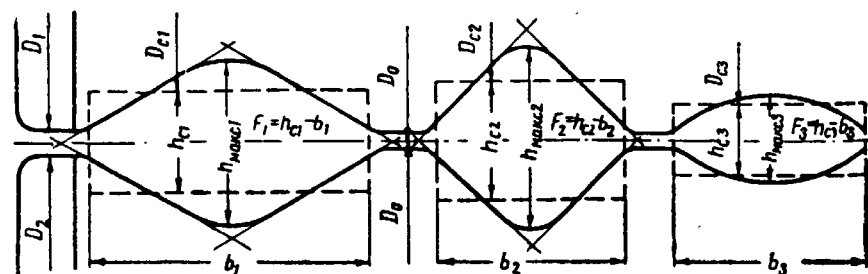


Рис. 1. Способ определения средней высоты и среднего катающего диаметра для простых калибров

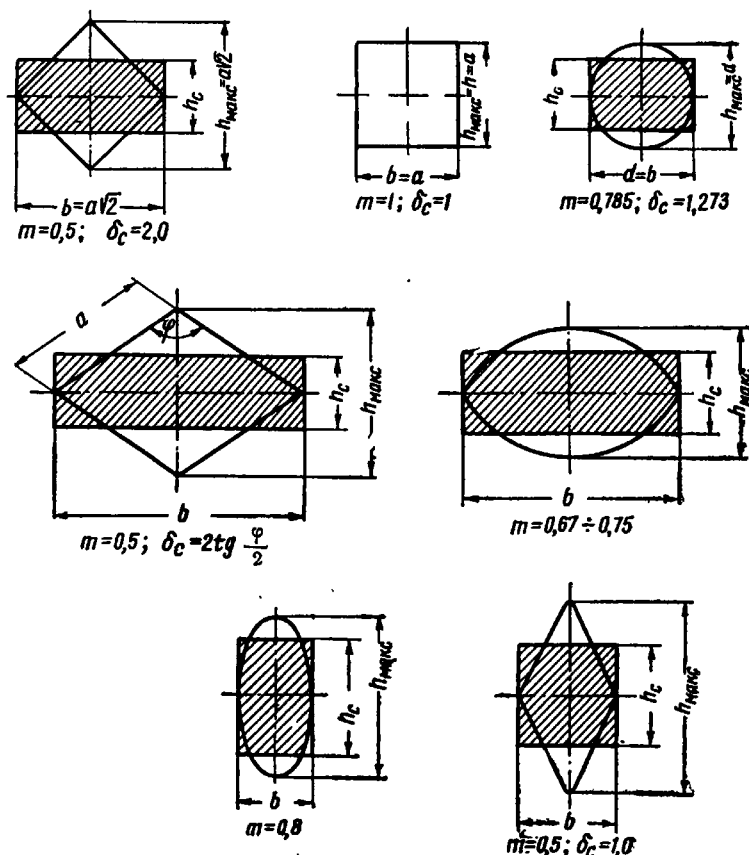


Рис. 2. Примеры определения  $m$  и  $\delta_c$  для различных типов профилей

где  $D_0$  — нейтральный диаметр.

Для определения среднего коэффициента обжатия необходимо знать ширины  $b_2$  и  $b_1$ .

Так как  $b_2$  неизвестно, нет возможности использовать формулы (13) и (14). Значение  $h_c$  определяем по Р. Вусатовскому:

$$h_c = m h_{\max} \quad (16)$$

где  $h_{\max}$  — наибольшая высота профиля;

$m$  — коэффициент, зависящий от типа профиля (рис. 2).

Для коэффициента  $m$  имеется ряд номограмм.

### Основные формулы для расчета калибровки валков

Так как расчет калибровки валков ведут от меньшего профиля к большему, для использования формул (6) и (8) А. Войтылак ввел показатели:

$$\epsilon'_w = \frac{h_2}{D}; \quad \delta' = \frac{F_1}{h_2^2}.$$

В результате он получил уравнения:

$$E = 1,269 (\epsilon'_w)^{0,556} \delta'; \quad (17)$$

$$\lambda = \gamma^{-(1-10^{-E \cdot 1,444})}. \quad (18)$$

Для практического использования полученных уравнений Войтылак разработал номограмму, пользуясь которой можно быстро определить необходимые значения. Затем он разработал модель логарифмической линейки, получившей распространение в прокатных цехах ПНР и ГДР.

Способом, аналогичным способу А. Войтылака, Г. Мюллер разработал модель счетной линейки, получившей распространение в западных странах. Вместо применения номограммы А. Войтылака для решения уравнения (18) Э. Отто разработал счетную линейку, позволяющую рассчитывать искомые коэффициенты обжатия или вытяжек.

### Калибровка простых профилей и вытяжных систем

Приведенные формулы относятся к случаям прокатки прямоугольной полосы без кантовки. Использование формул (6) и (8) при калибровке в случае кантовки полосы показано К. Рытелем.

Предварительно следует определить зависимость между средней и максимальной высотами каждого калибра (см. рис. 2):

$$m_i = \frac{h_c}{h_{\max i}}. \quad (19)$$

Введем следующие обозначения:

$h_i, b_i, \delta_i$  — для полосы в  $i$ -том проходе;

$h'_i, b'_i, \delta'_i$  — для полосы в следующем  $i+1$  проходе.

При отсутствии кантовок обозначения не изменяются.

При калибровке различных вытяжных систем коэффициент формы  $\delta_w$  выразим в виде

$$\delta_{i-1} = \frac{b_{i-1}}{h_{c_{i-1}}}, \quad (20)$$

где  $b_{i-1}$  — максимальная ширина после  $i-1$  прохода;

$h_{c_{i-1}}$  — средняя высота после  $i-1$  прохода.

При кантовке на  $90^\circ$  высота становится шириной, а ширина высотой, тогда  $b'_{i-1} = h_{\max_{i-1}}$  и  $h'_{i-1} = b_{i-1}$ .

Если известна средняя высота до кантовки, то максимальную высоту рассчитываем, используя значение  $m$ , установленное для данной формы калибра (см. рис. 2).

В этих условиях

$$\delta_{i-1} = \frac{b'_{i-1}}{h_{c_{i-1}}}.$$

Подставляя вместо  $h_{c_{i-1}}$  и  $b'_{i-1}$  значения, полученные в  $i-1$  проходе, получаем

$$\delta'_{i-1} = \frac{h_{c_{i-1}}}{m_{i-1}^2 b_{i-1}} = \frac{1}{\delta_{i-1} m_{i-1}^2}. \quad (21)$$

Число неизвестных при калибровке равно числу проходов. Если известна одна из величин в данном калибре, то можно рассчитать остальные. Условие вытяжки по формуле (6) позволяет рассчитать одну из этих неизвестных, остальные получаем из формулы (18):

$$b_i = b_{i-1} \beta_i = b_{i-1} \lambda_i^{\frac{w_i}{1-w_i}};$$

$$h_{c_i} = h_{c_{i-1}} \gamma_i = h_{i-1} \lambda_i^{-\frac{1}{1-w_i}};$$

$$\frac{b'_{i-1}}{h_{c_{i-1}}} = \delta'_{i-1}.$$

После подстановки находим

$$\delta_i = \delta'_{i-1} \lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}}; \quad (22)$$

Формула (21) связывает коэффициенты формы до кантовки и после нее на  $90^\circ$ . Если между проходами  $i-1$  и  $i$  имеется кан-

товка, то вместо  $\delta_{i-1}$  в формуле (22) подставляем правую часть уравнения (21) с соответствующими индексами:

$$\delta_i = \frac{\lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}}}{\delta_{i-1} m_1^2}. \quad (23)$$

При отсутствии кантовки

$$\delta_i = \delta_{i-1} \lambda_i^{\frac{1+w}{1-w}};$$

$$\delta_n = \delta_0^{\pm 1} \cdot \lambda_1^{\frac{1+w_1}{1-w_1}} \cdot \lambda_2^{\pm \frac{1+w_2}{1-w_2}} \cdot \lambda_n^{\pm \frac{1+w_n}{1-w_n} m_1^{\pm 2} m_2^{\pm 2} m_n^{\pm 2}}. \quad (24)$$

Знак показателя степени зависит от числа кантовок на  $90^\circ$ , которым будет еще подвергаться прутки после рассматриваемого прохода. При нечетном числе кантовок принимаем знак минус, а при четном — знак плюс. Это следует из того, что при каждой кантовке числитель и знаменатель меняются местами в формуле (23).

Для облегчения и упрощения практических решений на рис. 2 приведены значения  $\delta_c$ . Тогда после введения этих значений в уравнения (19) — (24) получаем для разных систем:

квадрат — овал

$$2m_i^2 \lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}} = \lambda_{i+1}^{\frac{1+w_{i+1}}{1-w_{i+1}}}; \quad (25)$$

овал — круг

$$1,273^2 m_i^2 \lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}} = \lambda_{i+1}^{\frac{1+w_{i+1}}{1-w_{i+1}}}; \quad (26)$$

квадрат — овал — круг

$$1,273 m_i^2 \lambda_i^{\frac{1+w_{i+1}}{1-w_i}} = \lambda_{i+1}^{\frac{1+w_{i+1}}{1-w_{i+1}}}; \quad (27)$$

ромб — ромб или квадрат — квадрат

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{i-1}}{2} = \lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}}. \quad (28)$$

Для практического применения приведенных формул К. Рытель разработал соответствующие номограммы.

### Основы калибровки фасонных профилей

Исследованием фасонных профилей А. Войтыляк начал заниматься в 1951 г. Он анализировал течение металла в нескольких

симметричных профилях на основании формул Лендля по среднему коэффициенту вытяжки, а также использовал формулу (6) для профилей со свободным уширением и формулу (8). В 1952 г. А. Войтылак занимался течением металла в несимметрических профилях, принимая те же предпосылки.

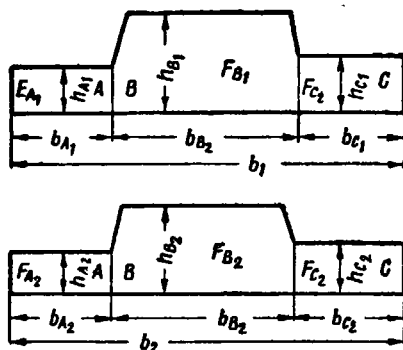


Рис. 3. Схематический фасонный профиль, состоящий из трех элементов: A, B и C

Площадь сечения профиля, показанного на рис. 3, до прохода

$$F_1 = F_{A_1} + F_{B_1} + F_{C_1}.$$

а после прохода

$$F_2 = F_{A_2} + F_{B_2} + F_{C_2}.$$

При калибровке известно сечение  $F_2$  и все размеры составляющих его элементов. Искомым является сечение  $F_1$  со всеми размерами его составляющих элементов:

$$F_{A_1}, h_{A_1}, b_{A_1}, F_{B_1}, h_{B_1}, b_{B_1}, F_{C_1}, h_{C_1}, b_{C_1}$$

(в общем девять неизвестных).

Так как между площадью сечения и ее размерами существует зависимость

$$F_{I_1} = h_{I_1} b_{I_1}, \quad (29)$$

число неизвестных сокращается до шести.

Между составляющими частями профиля существуют дополнительные зависимости:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_A F_{A_2} &= F_{A_1} \\ \lambda_B F_{B_2} &= F_{B_1} \\ \lambda_C F_{C_2} &= F_{C_1} \end{aligned} \right\}. \quad (30)$$

Давно известна формула для среднего коэффициента вытяжки фасонного профиля:

$$\lambda_{cw} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{F_{A_1} + F_{B_1} + F_{C_1} + \dots + F_{N_1}}{F_{A_2} + F_{B_2} + F_{C_2} + \dots + F_{N_2}}. \quad (31)$$

Если фасонный профиль состоит из двух частей, то между его частными коэффициентами и средним коэффициентом вытяжки существуют следующие неравенства:

$$\lambda_A > \lambda_{cw} > \lambda_B; \quad (32)$$

$$\lambda_A \approx \lambda_{cw} \approx \lambda_B; \quad (33)$$

$$\lambda_A < \lambda_{cw} < \lambda_B. \quad (34)$$

При прокатке фасонного профиля, состоящего из трех частей, могут быть следующие соотношения частных коэффициентов вытяжки:

$$\lambda_A \approx \lambda_B \approx \lambda_C \approx \lambda_{cw}; \quad (35)$$

$$\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C; \quad (36)$$

$$\lambda_A = \lambda_B > \lambda_C; \quad (37)$$

$$\lambda_A > \lambda_B = \lambda_C. \quad (38)$$

Используя зависимости (30) и подставляя их в формулу (31), получаем формулу Гурецкого для среднего коэффициента вытяжки фасонного профиля:

$$\lambda_{cw} = \frac{F_{A_2} \lambda_A + F_{B_2} \lambda_B}{F_{A_2} + F_{B_2}}, \quad (39)$$

или же для профиля, состоящего из  $N$  частей:

$$\lambda_{cw} = \frac{\sum_{I=1}^{I=N} F_{I_2} \lambda_I}{\sum_{I=1}^{I=N} F_{I_2}}. \quad (40)$$

Таким образом, с помощью формул (39) и (40) можно исходя из площади сечения готового профиля получить формулу для расчета среднего коэффициента вытяжки в данном калибре.

Я. Гурецкий установил также, что если частные коэффициенты вытяжки равны среднему коэффициенту вытяжки фасонного профиля, тогда отсутствует течение металла между частями.

При неравенстве этих коэффициентов произойдет течение металла между частями профиля (рис. 4).

Количество металла, перетекающего при неравных коэффициентах вытяжки, можно рассчитать, пользуясь общими формулами: для  $\lambda_N > \lambda_{cw}$ .

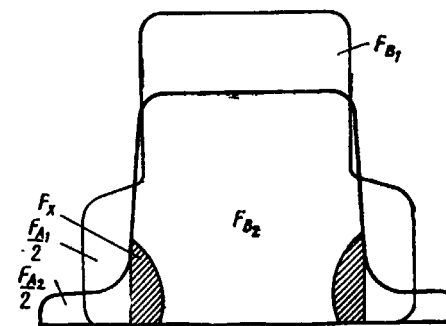


Рис. 4. Определение количества металла, перемещаемого из одного элемента профиля в другой. Тонкий контур — входящий профиль, толстый — конечный профиль

$$F_{xN} = F_{N_2} \left( \frac{\lambda_N}{\lambda_{cw}} - 1 \right); \quad (41)$$

для  $\lambda_{cN} > \lambda_N$

$$F_{xN} = F_{N_0} \left( 1 - \frac{\lambda_N}{\lambda_{c_w}} \right). \quad (42)$$

При этом между количеством металла, перетекающим из одной части профиля в другую, должно существовать равенство

$$\pm F_{xA} = \pm F_{xB} = \pm F_{xC}. \quad (43)$$

Если отдельные части профиля прокатываются при свободном уширении (см. рис. 3), то оvoidное уширение частей  $A$ ,  $B$  и  $C$  можно рассчитать по уравнениям:

$$\begin{aligned} \beta_A &= \gamma_A^{-w_A}; \quad \beta_B = \gamma_B^{-w_B}; \\ \beta_C &= \gamma_C^{-w_C}; \end{aligned} \quad (44)$$

Вместо формулы (44) удобнее пользоваться формулами:

$$\beta_A = \lambda_A^{\frac{w_A}{1-w_A}}; \quad \beta_B = \lambda_B^{\frac{w_B}{1-w_B}}; \quad \beta_C = \lambda_C^{\frac{w_C}{1-w_C}}. \quad (45)$$

В 1955 г. К. Рытель рассмотрел формулы для определения среднего коэффициента вытяжки профиля и установил, что правильной формулой с математической точки зрения является формула Я. Гурецкого.

В 1957 г. З. Вусатовский разработал теоретические основы калибровки профилей, состоящих из двух или трех частей.

Опыты прокатки доказали правильность теоретических формул. На этом основании можно было начать разработку формул для определенных типов профилей: угловых, тавровых балок, швеллеров и двутавровых балок.

Большие и неравные для отдельных элементов профиля вытяжки допускаются в первых проходах, т. е. в условиях, когда металл сильно нагрет, площадь сечения большая и имеются большие закругления на переходах из одного элемента к другому. Эти условия облегчают течение металла. В последних проходах и особенно в чистовом калибре, когда металл более холоден и температура отдельных элементов различная, площадь сечения небольшая и относительно невелики закругления при переходе от одного элемента к другому, поперечное течение металла значительно затрудняется. Поэтому следует применять возможно равномерные коэффициенты вытяжки при расчете отдельных элементов калибра; при этом

$$\lambda_A \approx \lambda_B \approx \lambda_{c_w}.$$

В случае применения неравномерной вытяжки следует учитывать возможность переполнения метал-

лом открытых фланцев ( $\lambda_A > \lambda_{c_w}$ ), коробления шейки ( $\lambda_A > \lambda_{c_w}$ ), защемления металла в закрытых фланцах ( $\lambda_A > \lambda_{c_w}$ ), незаполнения открытых или закрытых фланцев ( $\lambda_B < \lambda_C$ ).

Если толщина фланцев незначительна, то лучше предусматривать их незаполнение, чем переполнение, так как легче прибавить металл, чем убавить. При неравномерно принятых вытяжках следует стремиться, чтобы течение металла происходило между смежными элементами. Недопустимо соотношение  $\lambda_A > \lambda_B = \lambda_C = \lambda_D > \lambda_E$ , так как невозможно течение металла из элементов  $A$  и  $E$  через  $B$  и  $C$ .

К. Рытель считает, что при калибровке фасонных профилей, в том числе и двутавровых балок, все элементы должны иметь один и тот же коэффициент вытяжки:

$$\lambda_{c_w} \approx \lambda_A \approx \lambda_B \approx \lambda_C \approx \lambda_D \approx \lambda_E.$$

В этом случае не происходит течения металла из одного элемента в другой, так как они подвергаются равномерной вытяжке. Излишней также становится необходимость определять коэффициенты частной вытяжки, так как они равны среднему коэффициенту вытяжки всего профиля.

Для двутавровых балок К. Рытель применяет уравнение

$$\lambda_{c_w} \gamma_{fi} = \sqrt{(\lambda_1 \gamma_{A_i} + 0,6)^2 + 0,6^4 \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2} - 0,6, \quad (46)$$

где  $\gamma_{fi}$  — коэффициент обжатия фланца;

$i$  — очередной проход;

$n$  — число проходов.

Предварительные опыты и многочисленные осуществленные на практике калибровки доказали, что метод К. Рытеля дает хорошие результаты. В особенности целесообразным является его применение для калибровки профилей, состоящих из трех элементов с различными площадями сечения.

В последнее время К. Рытель занимается исследованием разрезных калибров. В этих исследованиях мы сотрудничаем с Институтом калибровки в г. Риза (ГДР), где под руководством доц. Ноймана ведутся исследования разрезных калибров. К. Рытель разработал калибр, который позволяет замерять полные давления и его составляющие в зависимости от различных конструкций калибра, его ширины и ширины разрезающего гребня.

### Катающие радиусы и нейтральные оси при прокатке в калибрах

Калибровка валков заключается не только в определении формы и размеров последовательных калибров, но также и в их правильном размещении на валках путем определения катающих радиусов и нейтральных осей.

В своей работе Мурский приводит формулы для расчета диаметров валков сортовых станов при определенном верхнем или нижнем давлениях с учетом износа валков.

Для определения среднего катающего радиуса верхнего и нижнего валков автор настоящего доклада предложил формулу

$$R_c = \frac{\sum p_i R_i + \sum \left( \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \right) s_i}{\sum (s_i + p_i)}. \quad (47)$$

С учетом влияния трения эта формула имеет следующий вид:

$$R_c = \frac{\sum p_i R_i + \sum \left( \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \right) m s_i}{\sum (p_i + m s_i)}. \quad (48)$$

Если в фасонном калибре (рис. 5) происходит течение металла из одного элемента в другой, то его влияние на величину катающих радиусов определяют формулы:

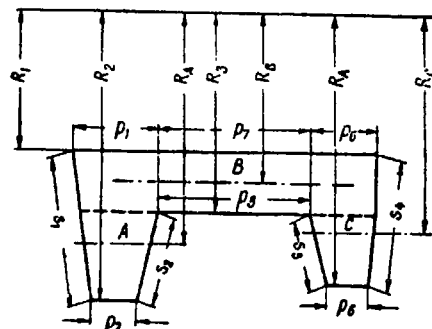


Рис. 5. Фасонный профиль, состоящий из элементов А, В и С, поясняющий метод расчета З. Вусатовского

$$R_{A_2} = \frac{R_{A_1}}{1 + \frac{\lambda_A - \lambda_c}{\lambda_c \lambda_A}}; \quad (49)$$

$$R_{B_2} = \frac{R_{B_1}}{1 + \frac{\lambda_c - \lambda_B}{\lambda_c \lambda_B}}; \quad (50)$$

$$R_{C_2} = \frac{R_{C_1}}{1 + \frac{\lambda_c - \lambda_C}{\lambda_c \lambda_C}}. \quad (51)$$

Зная  $R_A$ ,  $R_B$  и  $R_C$ , можно рассчитать средний катающий радиус всего калибра по формуле

$$R_c = \frac{F_{A_2} \lambda_A R_A + F_{B_2} \lambda_B R_B + F_{C_2} \lambda_C R_C}{(F_{A_2} + F_{B_2} + F_{C_2}) \lambda_c}, \quad (52)$$

где  $\lambda_c$  — коэффициент средней вытяжки.

Если не учитывать течения металла из одного элемента в другой, а также принять, что давление металла на валки на отдельных элементах профиля одинаково, то можно рассчитать средние катающие радиусы соответствующих частей профиля по следующим формулам (см. рис. 5):

$$R_A = \frac{p_1 R_1 + p_2 R_2 + s_1 \left( \frac{R_1 + R_2}{2} \right) + s_2 \left( \frac{R_2 + R_3}{2} \right)}{p_1 + p_2 + s_1 + s_2}; \quad (53)$$

$$R_B = \frac{p_3 R_3 + p_4 R_4}{p_3 + p_4}; \quad (54)$$

$$R_C = \frac{p_5 R_4 + p_6 R_1 + s_3 \left( \frac{R_3 + R_4}{2} \right) + s_4 \left( \frac{R_4 + R_1}{2} \right)}{p_5 + p_6 + s_3 + s_4}. \quad (55)$$

Для расчета среднего катающего радиуса калибра следует подставить формулы (53), (54), (55) в формулу (52).

При правильно выбранной нейтральной оси калибр должен иметь одинаковые окружные скорости верхнего и нижнего валков. Нашими исследованиями установлено, что для определения правильного положения нейтральной оси калибра следует использовать следующие уравнения (рис. 6):

$$R_{в.с} = R_{н.с} = R_c;$$

$$v_{в.с} = v_{н.с} = v_c.$$

В этих условиях

$$\left. \begin{aligned} e_b + e_n &= e = h_c \\ e_b = e_n &= 0,5 h_c \end{aligned} \right\}. \quad (56)$$

Момент верхнего валка должен быть равен моменту нижнего валка:

$$M_b = M_n = 0,5 M. \quad (57)$$

На основании уравнений (69) и (70) получаем следующую зависимость:

$$\frac{M_b}{M_n} = \frac{e_n}{e_b} = 1. \quad (58)$$

### Основы калибровки валков непрерывных станов

Калибровка валков непрерывных станов является одной из самых трудных, так как требует точного определения катающих радиусов и скоростей прокатки в клетях.

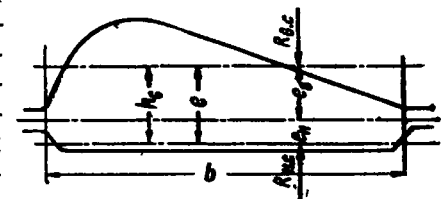


Рис. 6. Схема чернового калибра турбинной лопатки, поясняющая выравнивание моментов прокатки изменением положения нейтральной оси калибра

Первые работы по калибровке непрерывных станов были основаны на допущении постоянства ширины полосы. Позднее удалось рассмотреть очаг деформации с учетом влияния уширения на положение нейтрального сечения.

Из условий постоянства секундного объема прокатываемого металла имеем

$$h_1 b_1 v_1 = h_x b_x v_x = h_p b_p v_p = h_2 b_2 v_2, \quad (59)$$

а после подстановки и преобразований находим

$$v_x = \frac{F_2}{F_x} v_2 = \lambda_x v_2. \quad (60)$$

В формулах (59) и (60) индекс 1 относится к входному сечению, а индекс 2 к выходному. Индекс  $x$  определяет произвольную плоскость в очаге деформации, а индекс  $p$  — нейтральную плоскость. Ширину и вытяжку в очаге деформации можно определить по формулам (9) и (11).

Уравнение (60) можно представить в виде

$$v_x = v_2 \gamma_x^{w-1}. \quad (61)$$

Зависимость (61) выражает скорость металла в очаге деформации с учетом изменения ширины полосы.

Из уравнений (59) и (61) получаем:

$$v_1 = v_p \gamma_p \beta_p = \frac{v_2}{\lambda}, \quad (62)$$

где

$$\beta_p = \gamma_p^{-w}. \quad (63)$$

Формула (62) определяет связь между входной и выходной скоростями и скоростью в нейтральном сечении, так как

$$v_p = v_w \cos \xi, \quad (64)$$

где  $\xi$  — угол нейтрального сечения.

Это уравнение позволяет связать окружную скорость валков со скоростью течения металла. Коэффициент опережения

$$s_x = \frac{v_x}{v_{wx}}. \quad (65)$$

В выходном сечении опережение

$$s = \frac{v_2}{v_w}, \quad (66)$$

где

$$v_w = \frac{\pi D_B n}{60}, \text{ м/сек}; \quad (67)$$

$n$  — число оборотов валков в минуту.

По выведенным формулам получаем опережение металла с учетом уширения

$$h \cos \xi : \left( \frac{D - D \cos \xi + h_2}{h_1} \right)^{w-1} = \frac{v_2}{v_w} = s. \quad (68)$$

В 1961 г. Концевич вывел формулу угла нейтрального сечения с учетом уширения металла. Он принял линейный характер изменения ширины и получил формулу

$$\sin \xi = \frac{\beta}{\beta - 1} \sin \alpha \left[ 1 + \frac{1}{\beta} \sqrt{1 + \frac{\beta^2 + 1}{2} \left( 1 + \frac{1 - \cos \alpha}{f \sin \alpha} \right)} \right], \quad (69)$$

где  $f$  — коэффициент трения.

После незначительных упрощений формула имеет вид:

$$\xi = \frac{\beta \alpha}{\beta - 1} \left[ 1 - \frac{1}{\beta} \sqrt{1 + \frac{\beta^2 - 1}{2} \left( 1 + \frac{\alpha}{2f} \right)} \right]. \quad (70)$$

К формуле Концевич приводит соответствующие номограммы.

По формулам (68) и (69) или (70) можно определить скорости прокатки во всех клетях.

Для непрерывной прокатки справедлива зависимость

$$F_i v_i = F_i \frac{\pi D_{ci} n_i}{60} s_i = \text{const}, \quad (71)$$

где  $F_i$  — выходное сечение полосы в  $i$ -том проходе;

$v_i$  — выходная скорость в  $i$ -том проходе;

$D_{ci}$  — средний катающий диаметр в  $i$ -том проходе;

$n_i$  — число оборотов валков в  $i$ -том проходе;

$s_i$  — опережение в  $i$ -том проходе.

Из формулы (71) следует, что на процесс прокатки можно воздействовать изменением трех величин:  $F_i$ ,  $D_{ci}$  и  $n_i$ .

Упрощая уравнение (71), получаем общее уравнение в следующем виде:

$$F_i R_{ci} n_i = \text{const}. \quad (72)$$

Опережение с учетом уширения определяем по формуле (68) после подстановки угла нейтрального угла из формул (69) или (70).

При прокатке с натяжением повышаем входную скорость в следующую клетку на 1—3%:

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= v_1 + v_1 (0,01 - 0,03) \text{ мм/сек} \\ v_n &= v_{n-1} + v_{n-1} (0,01 - 0,03) \text{ мм/сек} \end{aligned} \right\}. \quad (73)$$

Уравнение (72) при прокатке в калибрах получит следующий вид:

$$F_1 R_{c1} n_1 s_1 = F_2 R_{c2} n_2 s_2 = F_3 R_{c3} n_3 s_3 = F_n R_{cn} n_n s_n = \text{const}, \quad (74)$$

где  $R_c$  — средний катающий радиус калибра, равный

$$\frac{D_c}{2} = \frac{D_t - h_{ic}}{2}.$$

Для определения межклетевого натяжения исходим из коэффициентов вытяжки

$$\lambda_F \approx \lambda_{c2};$$

где

$$\lambda_F = \frac{F_1}{F_2} \quad (75)$$

и

$$\lambda_{c2} = \frac{R_1 n_1 s_1}{R_2 n_2 s_2} \text{ или } \frac{D_1 n_1 s_1}{D_2 n_2 s_2}. \quad (76)$$

Согласно зависимости (75), коэффициенты вытяжки и скорости должны быть равны. В случае разницы между этими коэффициентами величину натяжения или же сжатия можно определить из зависимости

$$\Delta\lambda = \lambda_F - \lambda_{c2}. \quad (77)$$

При получении отрицательного знака по выражению (77) имеется натяжение, а при получении положительного знака — сжатие. Последнее следует устранить соответствующим изменением площади сечения полосы, скорости вращения валков или диаметра валка.

В 1959 г. Е. Базан разработал графоаналитический метод калибровки валков непрерывного заготовочного стана.

В 1960 г. З. Оржеховский опубликовал скоростной метод расчета калибровки валков непрерывного стана при помощи таблиц овалов и квадратов Кирхберга.

В 1958 г. Я. Новосельский произвел широкий анализ прокатки круглых профилей на полунепрерывном стане. Автор правильно рассчитал овальные и круглые калибры и в результате было получено хорошее качество проката без закатов и морщин.

### Давление металла на валки и роль дополнительного трения в калибрах

При прокатке профилей большого сечения наблюдаются значительные давления металла на валки, которые могут вызвать поломку валка. Поэтому калиброванные валки следует проверять на прочность.

В последнее время В. Кушка в сопоставлении с собственными замерами рассмотрел методы разных исследователей Целикова и Головина — Тягунова, Эжелунда, Гелеи, Орована — Паско, Симса и Кука. Эти исследования известны в технической литературе.

Из данных рис. 7—9 следует, что, определяя среднее удельное давление металла на валки при прокатке малых квадратов и

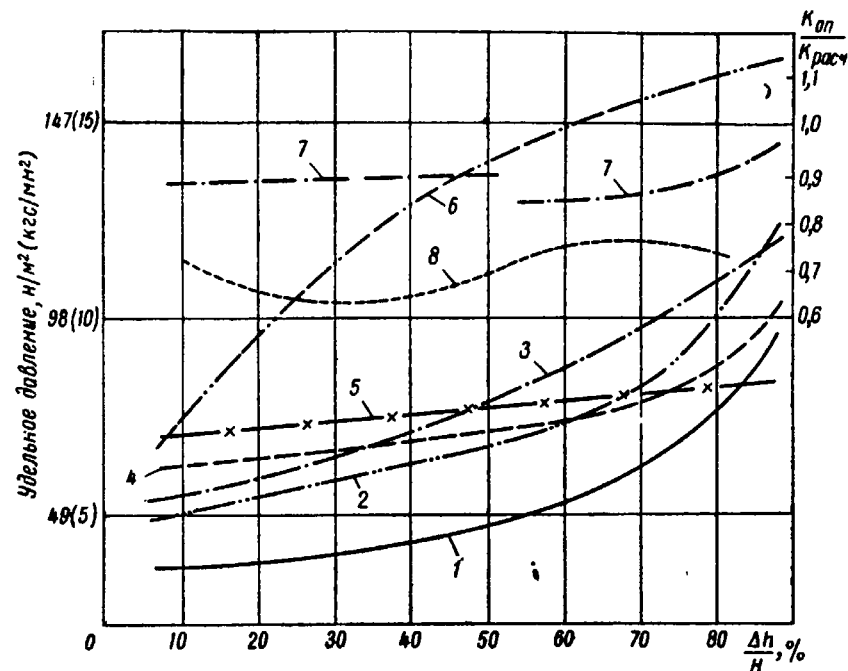


Рис. 7. Сопоставление опытных и расчетных данных удельного давления при прокатке полосы  $40 \times 40$  мм ( $t = 1100^\circ \text{C}$ ,  $v = 0,2$  м/сек,  $\delta_w = 1$ ):  
1 — опытные данные; 2 — по формуле Целикова; 3 — по формуле Головина — Тягунова; 4 — по формуле Орована — Паско; 5 — по формуле Эжелунда; 6 — по формуле Кука — Мак-Крума; 7 — по формуле Гелеи; 8 — отношение  $k_{\text{оп}}/k_{\text{расч}}$

узких полос, необходимо уменьшать рассчитанные значения так, чтобы приблизиться к замеренным в опыте для всего интервала обжатий. Замеренные значения располагаются на рис. 7 и 8 ниже рассчитанных по теоретическим формулам. Наименьшее расхождение значений получается по формулам Целикова и Орована для всего диапазона обжатий. Это подтверждают нанесенные на рис. 7 и 8 значения соотношения  $k_{\text{оп}}/k_{\text{расч}}$ , относящиеся к лучшему теоретическому методу при данной температуре. Расхождения этих соотношений очень значительны и уменьшаются



при прокатке узкой полосы. Для полос  $\delta_w = 5$  наблюдается большая сходимость расчетных значений с замеренными. Наилучшими являются формулы Целикова, Головина—Тягунова и Эке-лунда. До обжатий 50% расчетные значения несколько выше

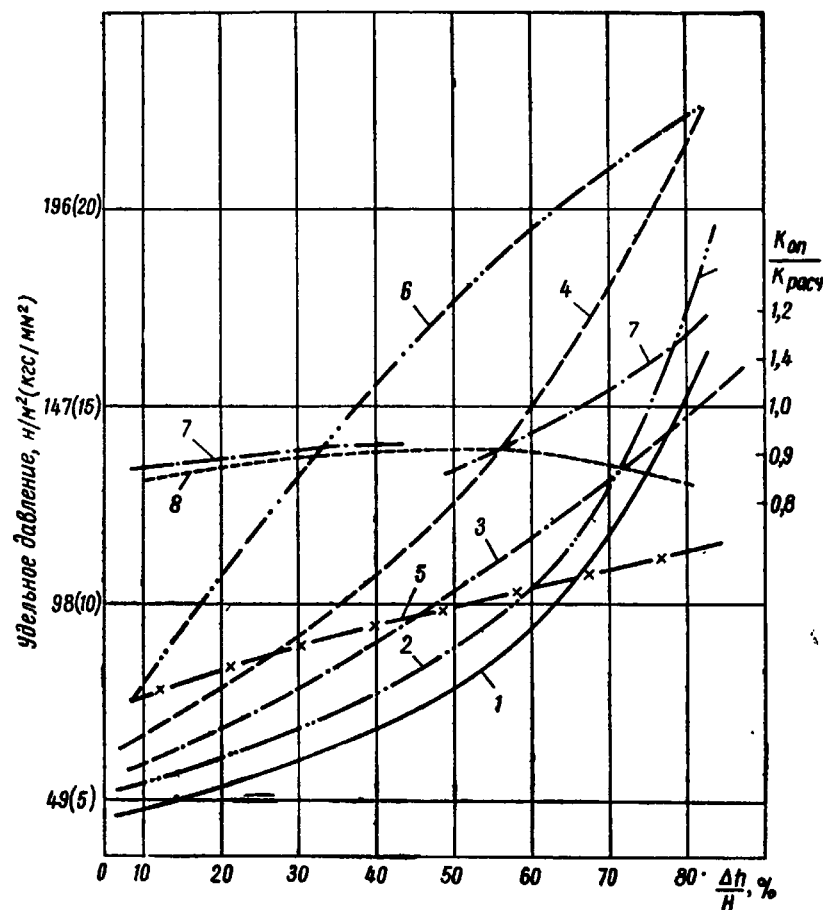


Рис. 8. Сопоставление опытных и расчетных данных удельного давления при прокатке полосы  $40 \times 20$  мм ( $t = 1100^\circ \text{C}$  и  $v = 0,2$  м/сек):

1 — опытные данные; 2 — по формуле Целикова; 3 — по формуле Головина — Тягунова; 4 — по формуле Орована — Паско; 5 — по формуле Эке-лунда; 6 — по формуле Кука — Мак-Крума; 7 — по формуле Гелен; 8 — отношение  $K_{\text{оп}}/K_{\text{расч}}$

замеренных, при больших обжатиях значительно ниже. Это подтверждают нанесенные на рис. 9 соотношения  $k_{\text{оп}}/k_{\text{расч}}$ .

Из наших замеров следует, что при широких полосах получается наилучшая сходимость замеренных и расчетных значений. Для узких полос различия незначительны во всем интервале

обжатий; для квадратов замеренные значения располагаются значительно ниже всех расчетных значений.

Эти результаты следует учитывать, проектируя калибровки для прокатки квадратов, узких и широких полос на гладких валках.

Особенно важным вопросом для калибровщиков при расчетах давления на валки и моментов прокатки является учет влияния

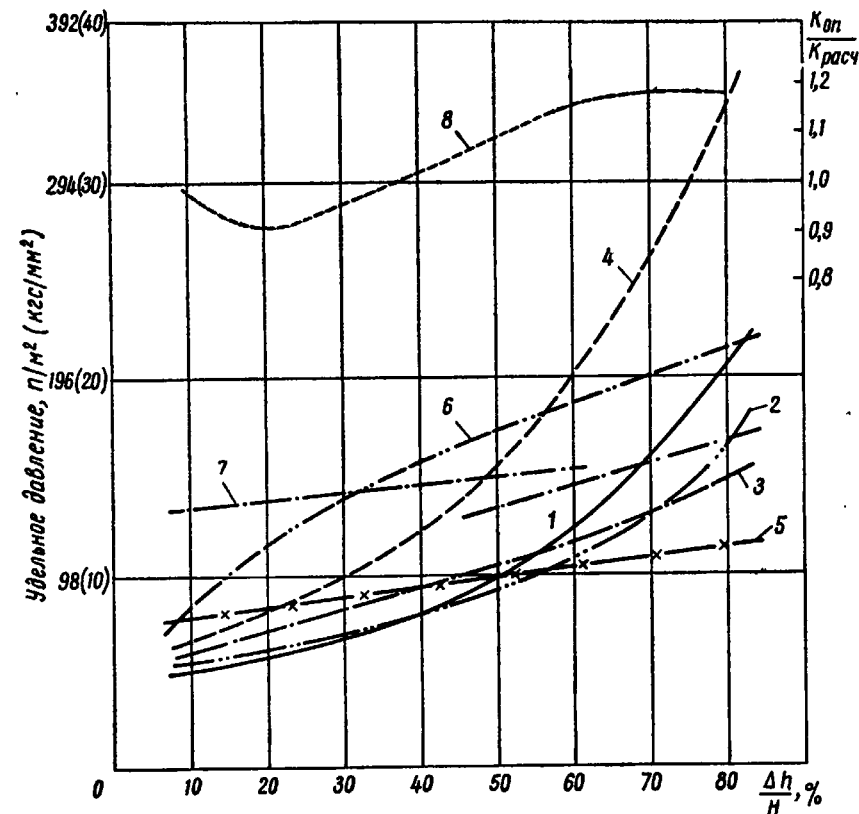


Рис. 9. Сопоставление замеренных и расчетных данных удельного давления при прокатке полосы  $100 \times 20$  мм ( $t = 1100^\circ \text{C}$ ,  $v = 0,2$  м/сек,  $\delta_w = 5$ ):

1 — опытные данные; 2 — по формуле Целикова; 3 — по формуле Головина — Тягунова; 4 — по формуле Орована — Паско; 5 — по формуле Эке-лунда; 6 — по формуле Кука — Мак-Крума; 7 — по формуле Гелен; 8 — отношение  $K_{\text{оп}}/K_{\text{расч}}$

дополнительного трения, вызванного ограничением свободного уширения в калибрах.

В 1960 г. Е. Людыга произвел обширные замеры влияния дополнительного трения в ящичных калибрах. Полосы сечением  $30 \times 30$ ;  $40 \times 40$  мм и  $40 \times 20$  мм прокатывали в закрытых ка-

брах, а сечением  $50 \times 50$  мм — в открытых калибрах при обжатиях до 40%. Температура прокатки составляла 900, 1000 и 1100°С. Для сравнения те же образцы прокатывали в том же калибре после его расточки до получения свободного уширения. Значение коэффициента уширения для квадрата стороной 30 мм  $\beta_{св} = 1,32$ , для остальных калибров  $\beta_{св} = 1,28$ .

Влияние дополнительного трения на боковых стенках калибра на величину давления учитывали коэффициентом повышения полного давления (рис. 10)

$$\alpha' = \frac{P_{огр}}{P_{св}}, \quad (78)$$

где  $P_{огр}$  — давление при ограниченном уширении;  
 $P_{св}$  — то же, при свободном уширении.

Показатель, учитывающий повышение удельного давления вследствие трения на боковых стенках калибра

$$\frac{K_{огр}}{K_{св}}, \quad (79)$$

где  $K_{огр}$  — среднее удельное давление при ограниченном уширении;

$K_{св}$  — то же, при свободном уширении.

Нижним значением показателей  $\alpha'$  и  $\alpha''$  является 1,0 для всех случаев прокатки со свободным уширением. Показатели  $\alpha'$  и  $\alpha''$  достигают максимума при полностью ограниченном уширении. С изменением температуры показатели  $\alpha'$  и  $\alpha''$  изменяются незначительно. С изменением обжатия значения показателей  $\alpha'$  и  $\alpha''$  изменяются по кривым, построенным для предельных точек.

Для использования на практике приведенных графиков, отображающих влияние дополнительного трения на давление, следует определить действительную степень ограничения уширения в ящичном калибре. Область между верхней и нижней кривыми определена пределами коэффициента уширения  $1,02 < \beta < 1,20$ .

Значения показателя для верхней кривой соответствуют условиям полностью ограниченного уширения и более низким температурам прокатки, а для нижней кривой — противоположным условиям. С целью определения промежуточных значений для исследуемых условий прокатки надо определить величину

$$\frac{1}{C} = \frac{\beta_{св}}{(1 + \beta_{св}) - \beta_{огр}}. \quad (80)$$

Коэффициент  $\beta_{св}$  для свободного уширения находят при помощи счетных линеек для формул (6) или (9). Коэффициент  $\beta_{огр}$  при ограниченном уширении можно рассчитать или установить по размерам калибра.

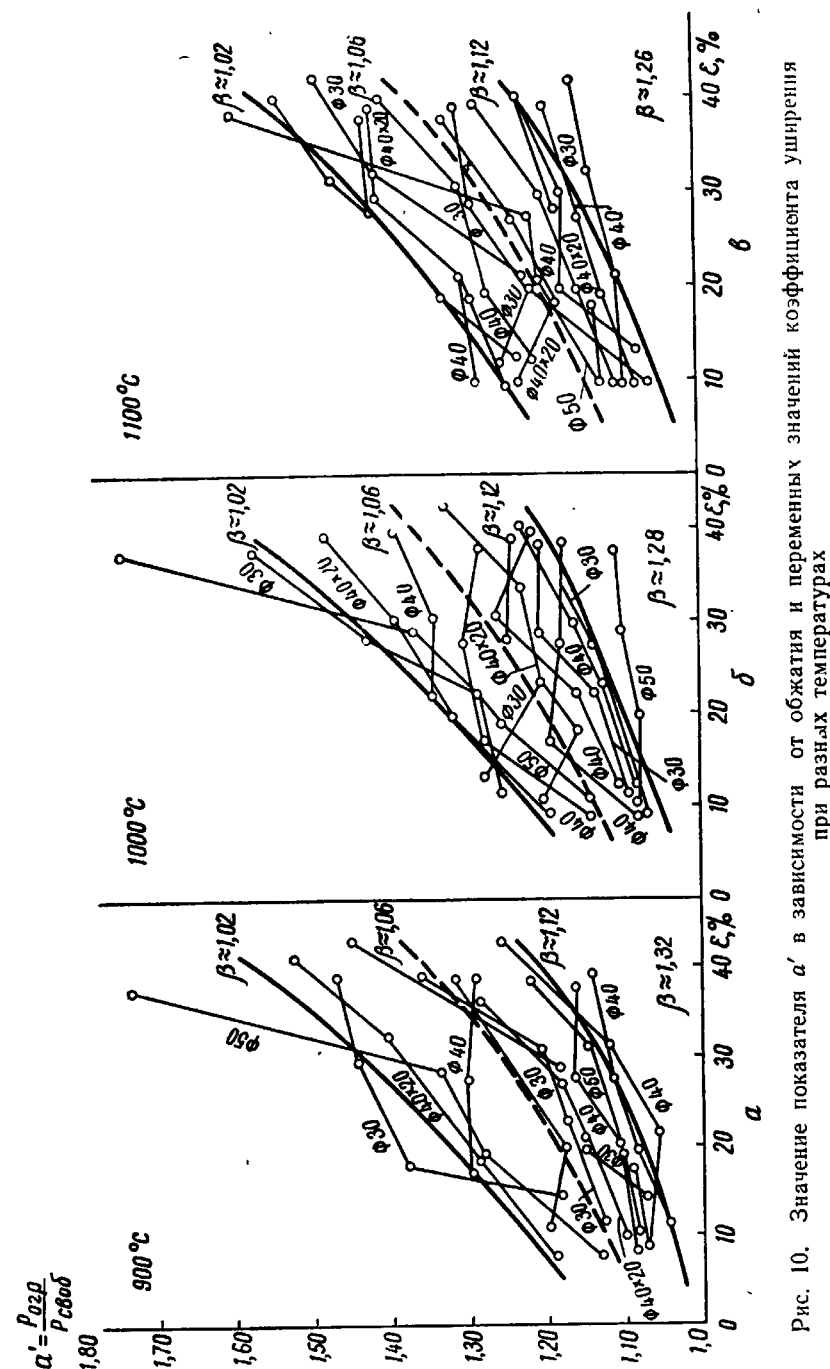


Рис. 10. Значение показателя  $\alpha'$  в зависимости от обжатия и переменных значений коэффициента уширения при разных температурах

Определив поправку  $C$ , следует рассчитать действительную степень ограничения уширения из предельного условия

$$\beta = 1 \frac{1}{C} \text{ и } \lambda = \frac{1}{\gamma} C. \quad (81)$$

Умножая коэффициенты обжатия, вытяжки и уширения, проверяем условие постоянства объема

$$\gamma \beta \lambda C = 1 \cdot C. \quad (82)$$

### Калибровка валков блюмингов

Калибровка блюмингов, особенно современных, на которых прокатывают квадратные слитки массой 6—8 т или плоские слитки массой 16—20 т, является всегда некоторым компромиссом между желанием сократить число проходов и допустимой нагрузкой двигателя. Современное решение этой задачи получено для блюмингов с валками, имеющими среднюю гладкую часть бочки. Старые польские блюминги имеют плоские калибры на конце бочки, и это нужно учитывать в программах обжатий и проходов.

Первые попытки приспособления новых методов калибровки в сочетании с прочностным расчетом для различных типов блюмингов разработали Ц. Мурский в 1949 г. и З. Ягляж в 1951 г. В наших более новых решениях средние коэффициенты вытяжки для мягкой стали приняты в пределах 1,12—1,20. Это примерно соответствует числу проходов 13—19 и средним абсолютным обжатиям 64—78 мм. Допустимые максимальные обжатия рассчитываем по уравнению

$$\Delta h_{\max} = D_c \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right), \quad (83)$$

где  $f$  — коэффициент трения.

Значения  $\Delta h_{\max}$  могут достигать 80—110 мм. Для проверки допустимого абсолютного обжатия в зависимости от мощности двигателя применяют известные формулы.

Лаборатория горячей прокатки Института металлургии железа под руководством С. Балы выполнила на заводах ряд работ по измерению технологических и электрических параметров процесса прокатки.

Эти измерения выполнили на блюмингах трио 750 и дуо 800 с целью определения степени использования оборудования и разработки оптимальной системы обжатий. В результате проведенных исследований была обнаружена возможность увеличения производительности блюминга трио 750; распределение калибров на бочке валка затрудняло применение более значительных обжатий, особенно в начальных проходах. Анализ работы блю-

минга дуо 800, целью которого было установление возможности прокатки более крупных слитков (массой 3,5 т вместо 2,5), показал, что блюминг обладает довольно большим резервом мощности привода. Переход на крупные слитки с точки зрения прочности оборудования является допустимым, однако требует большой осторожности и работы точно по заданным обжатиям.

Подобным образом произвели анализ работы блюминга 1000. На нем прокатывают обычно квадратные слитки массой 4,7—6 т и листовые слитки массой 6 т. Установлено, что для обычных слитков можно увеличить абсолютные обжатия на бочке до 80 мм и в калибрах до 110—120 мм. Соответствующие значения  $\Delta h_{\max}$  для листовых слитков составляют 50 мм для бочки и 80 мм для калибра. Распределив рационально проходы по допустимой нагрузке двигателя и валков, можно сократить число проходов на блюминге до 15—17 для квадратных слитков. Усовершенствованием работы кантователей и настройки валков можно повысить производственную мощность этого блюминга до 1,5 млн. т в год.

Программа прокатки нашего наиболее крупного блюминга 1150 на металлургическом заводе им. Ленина подвергалась несколько раз изменениям с целью повышения производительности. В настоящее время на блюминге прокатывают квадратные слитки массой 8 т и листовые массой 16 т.

Предварительные работы по усовершенствованию прокатки слэбов производил В. Лескевич. В 1956 г. он показал возможность сократить число проходов с 35 до 17 при прокатке листового слитка массой 8,4 т с уменьшением числа кантовок до трех. Разработанный В. Лескевичем метод позволил сократить цикл прокатки на 20%, что в значительной степени повысило производительность стана.

В этой же работе была решена задача по устранению накопления металла в углах сечения раската при прокатке на ребро. Произведенные замеры контура боковых сторон слэба во время прокатки показали исправление вогнутости боковой стенки в начальных проходах. Благодаря этому в конечных проходах получили вертикальную боковую стенку прокатываемого слэба. Увеличение обжатий и сокращение длительности прокатки улучшили также качество блюмов и слэбов. Контрольные механические испытания на растяжение и на ударную вязкость полностью это подтверждают.

В дальнейшем В. Лескевич выполнил подобный анализ для этого же блюминга при прокатке листового слитка массой 15 т по программе, предусматривающей 19 проходов с тремя кантовками. Были произведены замеры неравномерности деформации боковых стенок по методу автора и обнаружено вредное влияние чрезмерных обжатий в первых двух проходах на ребро. Установ-

лено, что максимальное суммарное обжатие за два прохода, допустимое при хорошей калибровке, составляет 90—100 мм. После внедрения этих улучшений производительность блюминга составила около 2,2 млн. т в год.

Бала, Людига и Рембальский произвели в 1962 г. исследование того же блюминга, замеряя многие технологические и энергетические параметры при прокатке различных типов слитков. Была установлена возможная производительность блюминга при работе с минимальной паузой между слитками после автоматизации установки верхнего вала. В этих условиях авторы обнаружили возможность повышения производительности блюминга на 45 %, т. е. на 1 млн. т в год.

### Проблема износа ручьевых валков

Износ валков, особенно ручьевых, причиняет калибровщику много забот. Анализ прокатки, произведенный А. Войтыляком в 1951 и 1952 гг., показал, что открытые части калибра должны предусматривать возможность свободного уширения. Каждое чрезмерное ограничение уширения обязательно вызывает повышенный износ калибра.

Гурецкий в 1954 и 1958 гг. анализировал возможность снижения затрат на эксплуатацию валков улучшением калибровки, причем главным образом его интересовал подбор соответствующих калибров среднего вала на трехвалковом стане.

Спыра и Рытель в 1961 г. при анализе расхода валков на сортовом стане пришли к выводу, что вместо общепринятого показателя расхода валков

$$r = \frac{G}{P} \text{ кг/т,}$$

где  $G$  — масса комплекта новых валков до их применения в производстве, кг;

$P$  — количество проката, полученного на валках данного комплекта, т,

следует применять другой показатель, более соответствующий действительным условиям работы вала. При этом необходимо учитывать массу изношенных валков, непригодных для дальнейшей эксплуатации.

Спыра и Рытель предложили формулу

$$Z = \frac{(G_v - G_{v.и}) + (G_n - G_{n.и}) + \frac{1}{2} (G_c - G_{c.и})}{P} \text{ кг/т,} \quad (85)$$

где  $Z$  — показатель расхода валков, кг/т;  
 $G_v, G_n, G_c$  — масса верхнего, нижнего и среднего валков до прокатки, кг;

$G_{v.и}, G_{n.и}, G_{c.и}$  — то же, после их изъятия из службы, кг;

$P$  — масса проката, полученного на валках данного комплекта, т.

Выражение  $\frac{1}{2} (G_c - G_{c.и})$  принято потому, что, как правило, средний валок вынужден прокатывать в два раза больше металла, чем верхний и нижний валки.

При изучении износа калибра Спыра применил своеобразный метод, фотографируя изношенный калибр с наложенным на не-

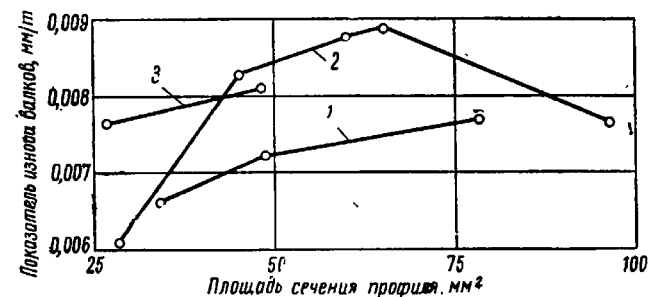


Рис. 11. Зависимость износа валков стана 280 типа Моргана от площади сечения профиля, прокатываемом в разных калибрах:

1 — квадратном; 2 — овальном; 3 — круглом

го шаблоном, по которому обтачивали валки. Величина зазоров, возникших вследствие износа вала, получилась в виде разности двух площадей:

$$f = f_p - f_b,$$

где  $f_b$  — площадь шаблона;

$f_p$  — площадь сечения ручья после износа.

Значения  $f_b$  и  $f_p$  получали, увеличивая фотоснимки и определяя их масштаб.

На основании результатов замера различных типов калибров и условий прокатки были получены ценные для прокатки выводы.

На рис. 11 показан примерный показатель износа валков твердостью 200 HB стана 280 типа Моргана в зависимости от величины площади сечения профиля. Если принять, что износ квадратного калибра равен единице, то для овального и круглого калибров получен коэффициент 1,13 и для круглого 1,24.

Повышенный износ возникает в результате неравномерности обжатий и частных вытяжек в овальных и круглых калибрах. Увеличение соотношения ширины к высоте овала повышает также и износ валков.

Инж. Н. ГЕРЛЯХ

(Германская Демократическая Республика)

### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ БЛЮМИНГА ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

При прокатке специальных сталей на одноклетевом дуо-реверсивном блюминге 700 следует учитывать ряд особенностей, не имеющих большого значения для массового производства стали при прокатке на больших блюмингах. Например, в настоящее время на этом стане прокатывают стали свыше 300 марок.

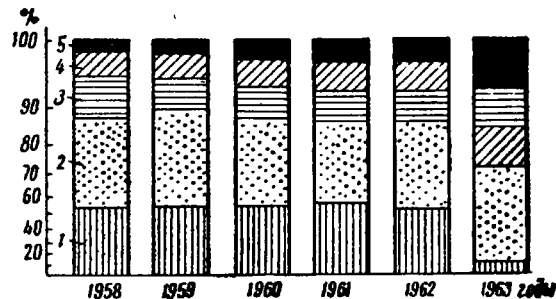


Рис. 1. Изменение сортамента блюминга 700:

1 — нелегированные строительные стали; 2 — легированные строительные стали; 3 — шарикоподшипниковые стали; 4 — стали для кузнечных заготовок; 5 — жаропрочные и нержавеющие стали

Преимущественно прокатывают конструкционные стали, марганцевую сталь, нелегированные и легированные инструментальные стали, нержавеющие и жаропрочные стали, а с недавнего времени также и быстрорежущую сталь. Представление о сортаменте стана дает рис. 1. Большое количество прокатываемых сталей сочетается с обширной программой прокатки. Так, сторона квадратных заготовок колеблется в пределах 70—160 мм. Кроме того, прокатывают слябы шириной 150—250 мм и толщиной 40—100 мм.

Слитки массой 900—1700 кг предварительно нагревают в двух камерных печах до 700—950°С. Дальнейший нагрев осуществляется в методических печах.

Стан оборудован манипулятором с крюковым кантователем с передней и задней сторон. Средняя производительность стана в 1962 г. составляла 29 т/ч. На нее оказывает очень большое влияние прокатываемый сортament; например, при прокатке за-

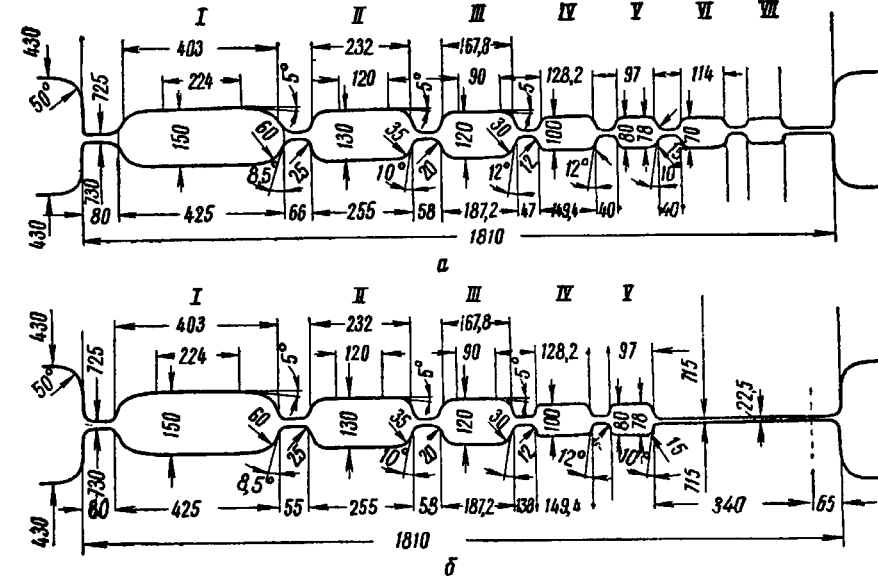


Рис. 2. Калибровка валков блюминга 700

готовки 70 × 70 мм она составляет только 17—19 т/ч. Скорость прокатки колеблется в пределах 1,4—3,5 м/сек. Мощность двигателя стана равна 1725 кВт.

Имеется два различных комплекта валков: первый (рис. 2, а) для прокатки всех заготовок, второй (рис. 2, б) для прокатки слябов и крупных квадратных заготовок (стороной до 110 мм). Калибры имеют довольно большие уклоны (8,5 и 12°) и большие радиусы закруглений ввиду различного уширения при прокатке разных сталей.

После многих исследований удалось значительно повысить обжатия (табл. 1, 2). Шпенле в своей работе предлагает обжатия 10—18%, в отдельных случаях до 20% при уклоне калибров, равном 8—16°. По американским литературным источникам, уклон стенок калибров иногда принимают до 15°.

На блюминге в Аоста (Италия) в первых проходах слитки прокатывают с малыми обжатиями. При прокатке блюмов 200 × 200 мм они находятся в пределах 5,3—8,3%, однако в пос-

ТАБЛИЦА 2. РЕЖИМ ОБЖАТИЙ СЛИТКА 260×260 мм НА БЛЮМИНГЕ 700

№ калиб. ра	№ про- хода	Размеры <i>мм</i>	Обжатие		№ калиб. ра	№ про- хода	Размеры <i>мм</i>	Обжатие	
			<i>мм</i>	%				<i>мм</i>	%
1	1	260×260	15	5,0	2	19	169×159	15	8,1
	2K	245×265				20K	154×164	15	8,9
	3	230×270				21	149×159	15	9,1
	4K	255×233				22	134×164	15	10,1
	5	240×240				23	119×169	15	11,2
	6	220×246				24K	105×173	14	11,0
	7	200×252							
	8K	185×257							
		165×263	20	10,3					
2	9	253×168	10	3,8	3	25	157×110	16	9,2
	10K	243×171	10	4,1		26	142×115	15	9,5
1	11	161×246	10	5,8		27	127×120	15	10,6
	12K	151×249	10	6,2		28K	112×125	15	11,0
						29	115×115	10	8,0
						30K	100×120	15	10,0
						31K	105×105	15	12,6
2	13	234×158	15	6,0	4	32K	96*	9	8,0
	14	214×166	20	8,5	5	33K	87*	9	9,4
	15	194×172	20	9,3	6	34K	80*	7	8,1
	16	174×178	20	10,3	7	35K	75*	5	6,2
	17	164×181	10	5,7	8	36K	70*	5	6,7
	18K	154×184	10	6,1	8	37	70*	—	—

\* Сторона квадрата.

2. Для заготовки  $90 \times 90$  мм проходы 1—14 такие же, как для заготовки  $70 \times 70$  мм.

прокатки и организации работы, так и с точки зрения затрат и производительности. Поэтому перед пуском стана в эксплуатацию была разработана калибровка, для которой заготовки квадратная  $70 \times 70$  мм и плоская были не нужны. С накоплением опыта работы значительно уменьшили число проходов, так что стало возможным прокатывать заготовку  $90 \times 90$  мм из конструкционной стали за 19 проходов, а из инструментальной стали за 17 проходов. В первом случае обжимали блюмы массой 1400 кг, а при прокатке инструментальной стали — массой 1000 кг. При расточке валков принято нижнее давление 5 мм.

Чистовую обработку валков производим накаткой (рифлением) при помощи специального ролика. Насечку не применяли. Испытания на осадку и травление не обнаружили даже у высоколегированных сталей никаких поверхностных пороков, вызванных применением накатки. Калибры № 1 и 2 накатаны по всей ширине, а калибр № 3 обрабатывается роликом, ширина которого составляет примерно 35 мм. Глубина накатки составляет

примерно 1,5 мм. Результаты оказались настолько хорошими, что эти методы обработки применяют также и для валков обжимной клетки среднесортного стана. Для дальнейшего уменьшения износа валков сейчас производят опыты по наплавке боковых поверхностей калибров № 3 и 4. Этот способ, разумеется, не новый, однако имеются некоторые трудности, связанные с механической обработкой, которые, очевидно, преодолимы. Нами используются все возможности для увеличения срока службы валков до перевалки, по крайней мере, в два раза.

В настоящее время охлаждение валков, как оно производится до сих пор, нельзя считать удовлетворительным. На большинстве станов все еще применяют трубы с отверстиями, подающие большее или меньшее количество воды на всю бочку валка. Охлаждение валков является во всех случаях благоприятным для качества поверхности проката, и оно применяется во все большем масштабе, хотя и влечет за собой некоторое увеличение износа валков. Однако следует лучше, чем это делалось до сих пор, учитывать специфические особенности калибров и условий прокатки.

Применение форсунок для разбрызгивания воды в виде тонкого душа даст, вероятно, большую эффективность охлаждения и в то же время будет способствовать охлаждению всего валка. Немногие исследования показывают, что этой задачей стали больше заниматься и находят наиболее приемлемые решения.

Автоматизация работы нажимного устройства на этом стане из-за большого числа режимов обжатий (примерно 60) весьма затруднительна, хотя такое мероприятие привело бы к повышению производительности и лучшему использованию калибровки валков. Автоматизация была бы весьма желательной, если учесть износ валков и необходимость точного соблюдения режима обжатий. Частичная автоматизация позволила оставить для работы двух операторов вместо четырех. Кантующее и перемещающее устройства в любом случае не требуют участия человека.

Следует отметить большую важность хорошего нагрева металла, что имеет значение для получения необходимой равномерной температуры при прокатке. Так как на многих станах имеются известные диспропорции, то обсуждение этих вопросов калибровщиками не является излишним.

*Докт. инж. Р. ВУСАТОВСКИЙ*

(Институт металлургии железа, г. Гливице, ПНР)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

При калибровке валков главное внимание обращают на подбор соответствующих форм отдельных калибров, чтобы получить правильный профиль при возможно минимальной затрате труда и максимальной производительности. Проектирующий калибровку старается подбирать такие промежуточные калибры, которые обеспечивают хорошее заполнение их металлом и получение проката без поверхностных дефектов. Иногда применяют специальные черновые калибры, способствующие удалению окалины, образующейся при нагреве. В некоторых случаях применяют дополнительно чистовые калибры, улучшающие качество поверхности изделия и допуски на его размеры. При прокатке чувствительных к изменению температуры сталей следует избегать систем калибровки, способствующих неравномерному охлаждению сечения.

Эти общие указания исчерпывают в основном правила, которыми руководствуется калибровщик.

Нам представляется, что правильная калибровка должна в большей степени, чем до сих пор, учитывать технологические факторы, что способствует получению проката хорошего качества.

### Калибровка валков блюмингов

Влияние метода калибровки и прежде всего подбора числа и последовательности кантовок на качество заготовок всегда было предметом дискуссии и исследований. Известно, что даже правильно отлитый слиток содержит внутренние дефекты. В слитках кипящей стали имеются подкорковые пузыри. Существует мнение, что в слитке надлежащего качества пояс пузырей должен находиться на глубине около 25 мм от поверхности, второй пояс пузырей находится в донной части слитка; центральные пузыри не интересуют прокатчика. Хороший слиток кипящей стали должен иметь наружный чистый слой равноосных кристаллов и

сегрегацию, повышающуюся по направлению к центру слитка. Сегрегация повышается также по направлению к головной части слитка, изменяя толщину чистой внешней корки металла.

Слиток спокойной стали в основном не имеет газовых пузырей. Плотная корка равноосных кристаллов у него тоньше и менее чистая. Сегрегаты неравномерно распределены в поясе столбчатых и центральных равноосных кристаллов. Головная усадочная раковина переходит иногда в центральную рыхлость. Слитки спокойных сталей, отлитые без надставок, имеют удлиненную усадочную раковину. Структура слитка спокойной стали зависит от химического состава стали. Это изменение проявляется прежде всего в колебаниях толщины внешней плотной корки равноосных кристаллов и размеров области столбчатых кристаллов.

Довольно часто применяемые слитки полуспокойной стали имеют промежуточную структуру. Механически или химически закупоренные стали являются в основном кипящими, однако структура слитков этих сталей не типична для кипящей стали, особенно в головной части.

На практике структуры слитков значительно отличаются от рассмотренных. Прокатный цех, получая металл, может лишь в общих чертах на основании технологической документации разобраться, с каким типом структуры и ее отклонениями ему пришлось иметь дело. В этих условиях возникает вопрос: в какой степени прокатчик может оказывать влияние на устранение или же на усиление содержащихся в слитке дефектов? Этим вопросом в несколько другом направлении впервые занимался Г. Микан [1], а теоретически его значительно развили П. А. Александров [2] и Я. Гурецкий. В широком масштабе практические опыты с положительным результатом были выполнены В. Лескевичем. Г. Микан установил, что критерием перехода от выпукловогнутой к выпуклой форме боковых граней слитка при прокатке на блюминге может служить выражение

$$\frac{h_1}{\sqrt{R\Delta h}} \leq 2,$$

где  $h_1$  — высота раската после прохода;  
 $\Delta h = h_0 - h_1$  — абсолютное обжатие;  
 $R$  — рабочий диаметр вала.

Его исследования показали, что в вогнутой части бокового контура, вблизи оси, и на поверхности выпуклостей существуют растягивающие напряжения.

Теоретические исследования проводились главным образом в СССР и результаты их опубликованы в ряде статей<sup>1</sup> [3—6].

<sup>1</sup> В данной работе мы использовали результаты этих исследований.

Многие прокатные цехи для получения максимальной производительности применяют незначительно отличающиеся друг от друга сечения слитков и блюмов.

Так на блюмингах 1150 применяют слитки массой 8,5—10 т. Если такой блюминг работает для заготовочного стана, то сечения прокатываемых блюмов колеблются в пределах  $280 \times 280$ — $320 \times 320$  мм.

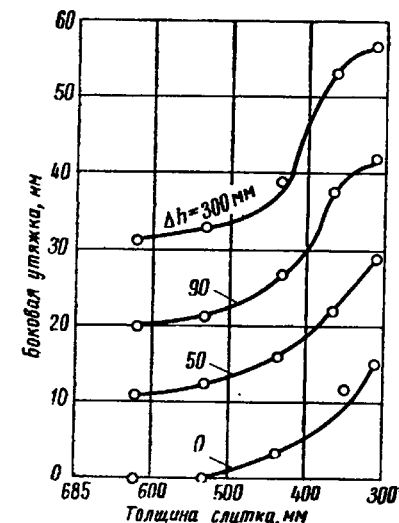
При американской калибровке валков (плоский калибр на середине бочки вала, а ручки по краям) обжатия в последних проходах при прокатке квадратных блюмов колеблются в пределах 40—60 мм. При обжатии 40—60 мм блюма  $280 \times 280$  мм имеем отношение  $\frac{h_1}{l} = 2 \div 1,6$ , а блюма  $320 \times 320$  мм  $\frac{h_1}{l} =$

$= 2,3 \div 1,8$ . При этом отсутствуют условия для хорошей сварки центральной рыхлости слитков спокойной стали, прежде всего таких сталей, химический состав которых затрудняет сварку<sup>1</sup>.

При прокатке слитков кипящей стали в нескольких последних проходах существуют хорошие условия для сварки центральных и внутренних пузырей донной части слитка. Центральные пузыри головной части слитка имеют благоприятные условия для сварки лишь в последних 2—3 проходах.

Если блюминг прокатывает также слябы для непрерывного листового стана, то толщина слябов не выходит за пределы 100—150 мм, а ширина составляет 850—1500 мм. В этом случае вопрос усложняется вследствие неравномерности деформации в ребровом проходе.

Согласно В. Лескевичу (рисунок), влияние предшествующей неравномерной деформации в ребровом калибре усиливает не-



Неравномерность деформации слябов в зависимости от толщины слитка по ходу прокатки при различных величинах предшествующих ребровых обжатий

<sup>1</sup> Автор привел обжатия, которые не типичны для конечного периода прокатки на современных блюмингах. Обычно применяемые обжатия 100—130 мм в конечном периоде прокатки обеспечивают условия для сварки внутренних дефектов. См. А. А. Нефедов. Труды НТО ЧМ (материалы конференции по работе блюмингов отечественных заводов). Днепропетровск, 1956, стр. 151—157; А. А. Нефедов и др., Сталь, 1963, № 5, стр. 441—443, пер.



равномерность деформации при прокатке плашмя. Для осевых частей (расположенных вблизи середины ширины) при обжатии 30 мм получаем для сляба  $150 \times 1500$  мм отношение  $\frac{h_1}{l} = 1,16$  и для сляба  $100 \times 1500$  мм  $\frac{h_1}{l} = 0,78$ .

В этом случае существуют хорошие условия для сварки центральной рыхлости слитка спокойной стали и осевых пузырей головной части слитка кипящей стали.

При неправильной конструкции предшествующего ребрового калибра могут возникнуть условия, способствующие вскрытию внутренних пузырей донной части слитка кипящей стали.

Итак, при прокатке на рассматриваемых блюмингах с американской калибровкой, как правило, существующие условия не способствуют сварке дефектов слитка, расположенных в центральной его части.

Располагая возможностью кантовки с обеих сторон рабочей клетки и не будучи связанным с необходимостью ограничения числа проходов, калибровщик может улучшить качество прокатаваемых заготовок. При этом имеются возможности для сваривания подкорковых пузырей слитка кипящей стали или же для повышения прочности корки равноосных кристаллов спокойной стали. Калибровщик может подбором соответствующих обжатий и кантовок раската создавать благоприятные условия для устранения этих дефектов.

Из результатов всех исследований следует, что на блюминге 1150 невыгодные условия для сварки дефектов получаются в слое толщиной около  $(1,3 \div 1,5) \Delta h$ . Следовательно, при прокатке слитка головной частью вперед в первом проходе обжатие донной части слитка должно составлять 50—70 мм. Тогда следующее обжатие перед кантовкой, составляющее 40—60 мм, будет так же способствовать сварке дефектов в непосредственно обжимаемой части слитка, не вызывая надрывов на выпуклых, свободно уширяющихся его частях. Обжатие в первом проходе после кантовки должно быть на 25—30 мм больше, чем в предыдущем.

Для слитка  $\frac{690 \times 690}{750 \times 750}$  мм спокойной стали уширенного кверху с незначительной транскристаллизацией и прокатываемого донной частью вперед, следовало бы применить выравнивающее обжатие головной части в первом проходе 60 мм, а во втором 70 ÷ 100 мм. После кантовки обжатие головной части следует принять 80 мм.

Следовало бы также обратить внимание на применяемую еще в настоящее время в старых прокатных цехах практику наварки на гладкой части бочки вала высоких выступов. Бесспорно, что

эти выступы улучшают захват металла валками; однако они могут также быть причиной серьезных поверхностных дефектов слябов. Это относится главным образом к слиткам кипящей стали, а также к слиткам спокойных сталей, отлитых в изношенные и плохо лакированные изложницы.

### Калибровка валков черновых клетей при прокатке легированных сталей

Современные блюминги на металлургических заводах легированных сталей представляют собой реверсивные клетки дуо с диаметром валков  $700 \div 1000$  мм.

В старых прокатных цехах, а также в ряде современных прокатных цехов легированных сталей, применяющих слитки малой массы, черновыми клетями являются трехвалковые обжимные клетки. Калибровщик должен учитывать неравномерность деформации по высоте и ширине слитка.

При прокатке легированных сталей нежелательные последствия неравномерности деформации дополнительно усугубляются пониженной пластичностью этих сталей. Присадка легирующих элементов, как правило, понижает свариваемость стали, что в свою очередь затрудняет устранение дефектов слитка.

Таким образом, для применяемых программ прокатки и больших сечений заготовок нет хороших условий сварки осевых дефектов. Неравномерность деформации в начальных проходах при практически применяемых слитках массой 1—1,2 т и неправильной калибровке вызывает часто раздвоение концов слитка.

Повышенное сопротивление легированных сталей пластической деформации способствует неравномерности деформации по ширине. При прокатке на гладкой части бочки валков блюминга дуо в начальных проходах необходимо регулировать изменение уширения кантовками. Обжатия после кантовки следует подбирать с учетом неравномерности деформации по ширине.

При прокатке на блюмингах трио с ограниченным уширением часто кажется, что нет условий для неравномерной деформации металла. Действительно, анализ линий скольжения с учетом дополнительного трения по боковым стенкам калибра показывает, что эта неравномерность значительно уменьшена. Однако пример прокатки прутка быстрорежущей стали в клетях 600, приведенный в работе [7], позволяет утверждать, что этим вопросом нельзя пренебрегать.

Часто встречающиеся калибровки валков с верхним или нижним давлением или же неправильный подбор рабочих диаметров соседних ручьев калибра являются причинами возникновения вторичной вытяжки. Это понятие, введенное Г. Седлачком, обозначает секундную разность окружных скоростей совместно ра-

ботающих валков. Вторичная вытяжка вызывает в прокатываемом металле напряжения, которые становятся причиной возникновения поверхностных дефектов заготовки или готового проката. Считают, что допустимое значение вторичной вытяжки не должно превышать 70—80 мм/сек.

### **Калибровка валков для прокатки готовых профилей**

Если к профилям предъявляются определенные требования по макро- и микроструктуре, то калибровщик может непосредственно влиять на распределение обезуглероживания и карбидов, расположение ликвационной области и величину зерна в стали.

Прокат, предназначенный для изготовления изделий, подверженных усталостным нагрузкам, имеет строго определенную глубину обезуглероженного слоя.

При нагреве металла в обычных нагревательных печах трудно полностью предотвратить обезуглероживание. Поэтому соответствующим подбором калибровки и величин вытяжек следует стремиться уменьшить глубину обезуглероженного слоя до допустимых пределов. Абсолютная толщина обезуглероженного слоя уменьшается пропорционально вытяжке. Это правило является первым условием достижения допустимой толщины обезуглероженного слоя в готовом изделии. Однако соответствующая суммарная вытяжка не гарантирует выполнения предъявляемых стандартами требований. Необходимо избегать таких систем калибровки, которые утоняли бы обезуглероженный слой в одной части сечения проката за счет утолщения его в другой. Для выполнения этого требования необходимо применять систему калибровки, не приводящую к изменению формы при обжатии.

В прутках кипящей стали, предназначенных для изготовления изделий методом холодной высадки, требуется центральное расположение ликвационной зоны. В этом случае система применяемых калибров не имеет большого значения. Важно, однако, чтобы ручки были правильно заполнены и не смещены один относительно другого.

В прокате из почти всех заэвтектоидных и ледебуритных сталей приемочные требования определяют точно допустимый балл карбидов. В ледебуритных сталях это связано со структурой и соответствующим подбором размеров слитка. До сих пор существует мнение, что качество инструмента, изготовленного из кованных слитков этих сталей, лучше инструмента, изготовленного из катаных слитков. Это мнение основывается на возможности довольно свободного подбора условий ковки для обес-

печения максимально однородной деформации по сечению полосы.

На основании анализа условий деформации приходим к выводу, что и при прокатке также можно создать условия деформации, аналогичные существующим при ковке. Необходимо лишь, чтобы в выборе размеров слитков участвовал калибровщик, анализируя предлагаемые ему размеры слитка с точки зрения равномерности деформации. В этом случае разработанная калибровка обеспечит механическое измельчение зерен и получение мягких, рассеянных карбидов в готовом изделии.

При проектировании калибровщик должен учитывать пониженную скорость рекристаллизации стали вследствие значительного количества легирующих элементов и пониженную температуру прокатки.

При прокатке заэвтектоидных сталей можно полагать, что все карбиды перешли в твердый раствор. Вследствие понижения температуры и воздействия обжатий происходит их повторное выделение. Следует отметить, что воздействие обжатий даже без понижения температуры вызывает выделение карбидов из твердого раствора. Выделенные карбиды образуют мелкодисперсионные полосы, выгодные для готового изделия. Поэтому теоретически оптимальным методом прокатки был бы такой, при котором во время деформации выделялось бы большое количество карбидов. Для этого требуется значительное понижение температуры конца прокатки. Это повлекло бы за собой значительный износ калибров и необходимость применения электродвигателей большой мощности в последних клетях. На практике применяют только промежуточные решения, сводящиеся к прокатке с возможно большими обжатиями и замедленным темпом прокатки или к прокатке с нормальными обжатиями, нормальным темпом прокатки и с охлаждением металла перед последними проходами.

Первый способ заключается в применении возможно больших обжатий в промежуточных калибрах вплоть до подготовительного. После чистового калибра необходимо быстрое поверхностное охлаждение полосы, особенно полос диаметром более 25 мм.

При использовании второго метода перед чистовыми калибрами полосу охлаждают до 830—850° С. Следует, однако, помнить, что суммарный коэффициент вытяжки в этих проходах должен быть не меньше 1,3.

При прокатке высокоуглеродистых пружинных легированных сталей, склонных к графитизации, не допускается наличие графита в структуре проката. В этих случаях калибровщик должен учитывать воздействие обжатия, способствующего выделению графита.

В черновых калибрах следует применять возможно большие обжатия и высокий темп прокатки. По мере охлаждения прокатываемых полос следует уменьшать обжатия.

Только такой метод при соблюдении возможно высокой температуры конца прокатки и правильного охлаждения предотвратит появление графита в структуре металла.

Определенные требования по величине действительного зерна стали предъявляют к прокату из конструкционных сталей (изделия подвергаются значительным динамическим нагрузкам) и к прокату из ферритных сталей (изделия предназначены для дальнейшей пластической холодной деформации).

Разработка рациональной технологии прокатки профилей в первом случае весьма затруднительна. Как правило, эти профили имеют иногда очень сложную форму. Известно, что размер зерна готового изделия является функцией обжатия и времени, по истечении которого от момента обжатия происходит рекристаллизация, а затем рост зерна. Чем больше обжатие и меньше время для рекристаллизации, тем мельче получается зерно. Следовательно, в последних проходах надо применять увеличенные обжатия при возможно низкой температуре с последующим ускоренным охлаждением.

Этот метод пока неприменим для фасонных профилей. Поэтому следует применить такую систему калибровки, при которой в последних проходах не было бы течения металла из одной части профиля в другую и можно было бы в предчистовом и чистовом калибрах применить значительные обжатия. Величина обжатия ограничена допусками и износом калибра. При этом следует иметь в виду, что температура прокатки данного профиля должна быть возможно низкой.

Высокие пластические свойства ферритных сталей, а также прокатка из них в основном только простых профилей упрощает задачу калибровщика. Обычно технологической инструкцией устанавливают пределы температуры конца прокатки. Однако соблюдение этой температуры оказывается иногда недостаточным и случается, что по невыясненным причинам определенная партия профилей имеет при испытаниях неудовлетворительные механические свойства. Если бы при калибровке валков был учтен механизм рекристаллизации и роста зерна, то подобные случаи не могли бы происходить.

Известно, что скорость рекристаллизации тем больше, чем больше обжатие и выше температура. Зная течение обоих процессов и величину обжатий в чистовом и предчистовом калибрах, калибровщик должен соответствующим образом устанавливать обжатия в черновых калибрах и пределы температур прокатки. Сотрудничество калибровщика с технологом всегда обеспечивает требуемые свойства готового проката.

## Напряжения в готовом прокате

Проблемой внутренних напряжений в готовых профилях прокатчики занялись относительно недавно. Произведенные различными методами замеры показали, что напряжения достигают значительной величины и в некоторых случаях они лишь немного меньше предела упругости данной стали. Источником этих напряжений является прокатка и главным образом правка после охлаждения. На практике известны случаи разрушения сильно искривленных профилей после нескольких проходов через правильную машину.

Значительные напряжения остаются после прокатки в профилях, состоящих из тонких элементов, если при деформации происходило течение металла из одних частей в другие, особенно при относительно низких температурах конца прокатки. Если температура окончания прокатки достаточно высока и время ее воздействия значительно, то напряжения могут уменьшаться.

В профилях, состоящих из тонких элементов, охлаждающее действие валков и воды вызывает резкое местное понижение температуры. Вследствие этого напряжения в элементах повышаются настолько, что горячая часть профиля не в состоянии выравнять деформацию. На практике наблюдается различие напряжений при разрезке на тавры двутавровых балок, прокатанных на универсальном стане. Изменением настройки валков чистовой клетки в предчистовом и чистовом проходах можно несколько уменьшить стрелу кривизны разрезаемых тавров.

Напряжения, сохраняющиеся в прокате после его правки, частично связаны с течением металла в чистовых проходах. Однако в значительной степени они связаны с расположением частей профиля в чистовом калибре и положением проката на холодильнике.

Зная конструкцию холодильника и положение проката во время охлаждения, калибровщик в значительной степени может уменьшить искривление штанг и величину напряжений после правки. В этом случае охлажденный профиль при правке требует лишь устранения продольной кривизны. Если калибровщик располагает гибочной машиной перед холодильником, то он в состоянии также значительно уменьшить образующуюся при остывании кривизну профиля.

## Литература

1. G. S. Mican. Deformation in Rolling, Iron and Steel Engineer, 1949, v. XXVI, № 2, p. 53—67.
2. П. А. Александров. Противоречия в современном направлении конструирования блюмингов и пути разрешения их. Сб. «Обработка металлов давлением», вып. II. Металлургиздат, 1953.

3 П. И. Полухин, В. К. Воронцов. Применение оптически активных покрытий при изучении процессов обработки металлов давлением. Сб. «Процессы прокатки». Труды Московского института стали и сплавов. Металлургиздат, 1962.

4 С. В. Макаев. Деформированное состояние металла при прокатке. Сб. «Теория прокатки» (материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). Metallurgizdat, 1962.

5 В. Л. Павлов. К вопросу о деформированном состоянии металла при прокатке слитков на блюминге. Сб. «Теория прокатки» (материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). Metallurgizdat, 1962.

6 В. Ф. Потапкин. Опережение при прокатке толстых полос. Труды ВНИИМЕТМАШ, вып. 7. Машгиз, 1963.

7 А. А. Протасов и М. И. Зуев. Калибровка валков для прокатки быстрорежущей стали. Metallurgizdat, 1952.

Проф. докт. инж. Е. БАЗАН, инж. Е. МАДЕИ

(Краковская горно-металлургическая академия, ПНР)

## КАЛИБРОВКА НЕПРЕРЫВНЫХ ЗАГОТОВОЧНЫХ СТАНОВ С ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ

Калибровка непрерывных заготовочных станов требует соблюдения условия постоянства секундных объемов:

$$F_i n_i D_a = C_i, \quad (1)$$

где  $F_i$  — площадь поперечного сечения полосы после  $i$ -того прохода;

$n_i$  — число оборотов валков  $i$ -той клетки;

$D_a$  — активный диаметр валков;

$C_i$  — константа калибровки.

Размеры двух ящичных смежных клеток непрерывного стана связаны между собой в соответствии с номограммой З. Вусатовского (рис. 1), построенной на основе его формулы уширения.

Номограмма позволяет установить зависимость между коэффициентом вытяжки  $\lambda$  и коэффициентом обжатия  $\gamma$  для определенных исходных параметров, характеризуемых величиной  $E$ . Назовем

$$\gamma_f = f_1(\lambda) \quad (2)$$

физическим коэффициентом обжатия, по которому определяются размеры искомого калибра.

Преобразуем выражение (1) так, чтобы найти зависимость между  $\lambda$  и  $\gamma_k$  (кинематический коэффициент обжатия, соответствующий условию непрерывности полосы). Тогда нанесенная на номограмму Вусатовского кривая

$$\gamma_k = f_2(\lambda) \quad (3)$$

в точке пересечения с кривой, соответствующей выражению (2), дает искомые значения  $\lambda_0$  и  $\gamma_0$  (рис. 1, а), которые гарантируют заполнение калибра и соблюдение условия непрерывности (1), что позволяет спроектировать искомый калибр  $F_x$ .

Если учесть натяжение полосы между калибрами, то константа калибровки имеет вид

$$C_x = C\xi = \left[ D_{tx} - \frac{F_x}{B_x} \right] n_x F_x, \quad (4)$$

откуда средняя высота калибра

$$H_x = \frac{F_x}{B_x} = D_{tx} - \xi \frac{k}{\lambda} D_a, \quad (5)$$

где  $D_{tx}$  — идеальный диаметр валков.

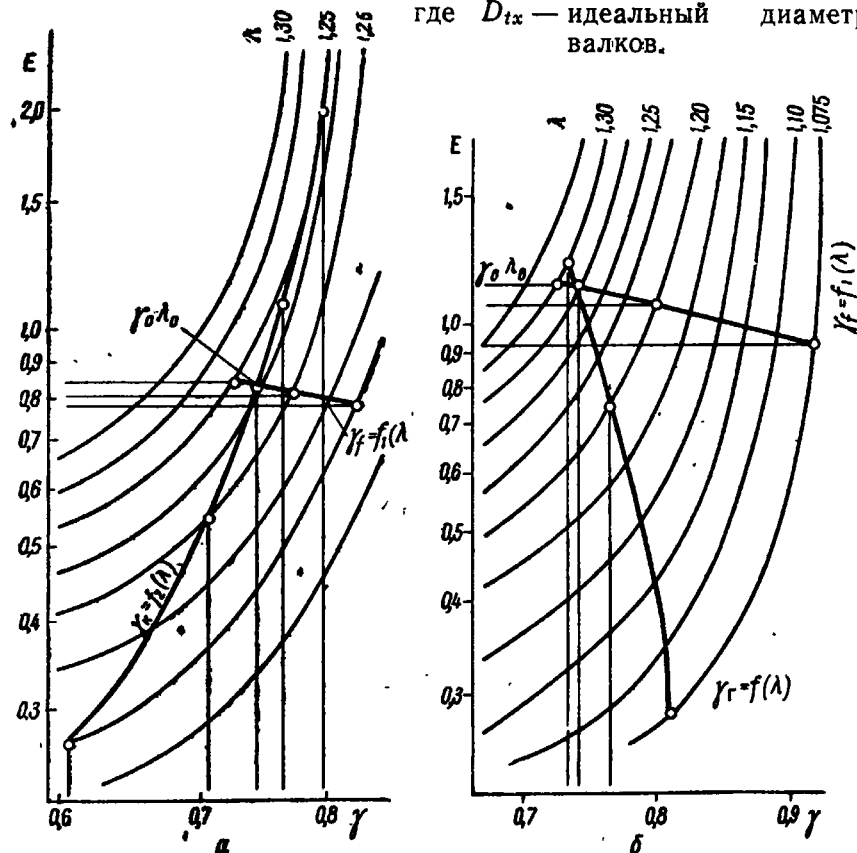


Рис. 1. Номограммы формулы уширения З. Вусатовского

Обозначив передаточное число  $\frac{n}{n_x} = k$  и  $\lambda = \frac{F_x}{F}$ , получаем из уравнения (5) кинематический коэффициент обжатия

$$\gamma_k = \frac{H}{H_x} = \frac{H}{D_{tx} - \xi \frac{k}{\lambda} D_a}. \quad (6)$$

Зная точку пересечения кривой 3 или 6 с кривой 2 (см. рис. 1), получаем искомые размеры калибра:

$$B_x = \frac{F}{H} \lambda_0 \gamma_0; \quad (7)$$

$$H_x = \frac{F\lambda + 0,86r_x^2}{B_x}. \quad (8)$$

Если между клетями полоса кантуется на  $90^\circ$ , то формулой (6) нельзя пользоваться, так как кривая  $\gamma_f = f_1(\lambda)$  по формуле (2) отображает зависимость

$$\gamma_f = \frac{H}{B_x}. \quad (9)$$

В связи с этим выводом  $\gamma_{k1}$  — производный кинематический коэффициент обжатия, который учитывает условие непрерывности полосы.

Окончательный вид производного кинематического коэффициента обжатия

$$\gamma_{k1} = \frac{H}{B_x} = \frac{1}{\gamma_k} \cdot \frac{\lambda F + 0,86r_x^2}{(B\lambda)^2} = f_3(\lambda). \quad (10)$$

Точка пересечения кривых  $\gamma_{k1}$  и  $\gamma_f$ , нанесенных на номограмму, дает искомое решение. Стороны искомого прямоугольника:

$$H_x = \frac{F\gamma_0\lambda_0}{H}; \quad (11)$$

$$B_x = \frac{F\lambda_0 + 0,86r_x^2}{H_x}. \quad (12)$$

Рассмотрим случай, когда искомый калибр  $F_x$  квадратный, т. е. когда  $H_x = B_x = A$ . Вводим  $\gamma_g$  — геометрический коэффициент обжатия, который обеспечивает заполнение квадратного калибра:

$$F_x = \lambda F = A^2 - 0,86r_x^2, \quad (13)$$

откуда

$$\gamma_g = \frac{H}{H_x} = \frac{1}{\lambda B} \sqrt{\lambda F + 0,86r_x^2}. \quad (14)$$

Пересечение кривых  $\gamma_g$  и  $\gamma_f$  (см. рис. 1, б) дает решение, обеспечивающее получение заполненного квадратного калибра. Условие непрерывности полосы будет выполнено, если по формуле (5) подберем соответствующий диаметр

$$D_{tx} = \frac{H}{\gamma_0} + \xi \frac{k}{\lambda_0} D_a. \quad (15)$$

Сторона искомого квадратного калибра

$$A = \frac{F_{\gamma_0 \lambda_0}}{H} = B \lambda_0 \gamma_0. \quad (16)$$

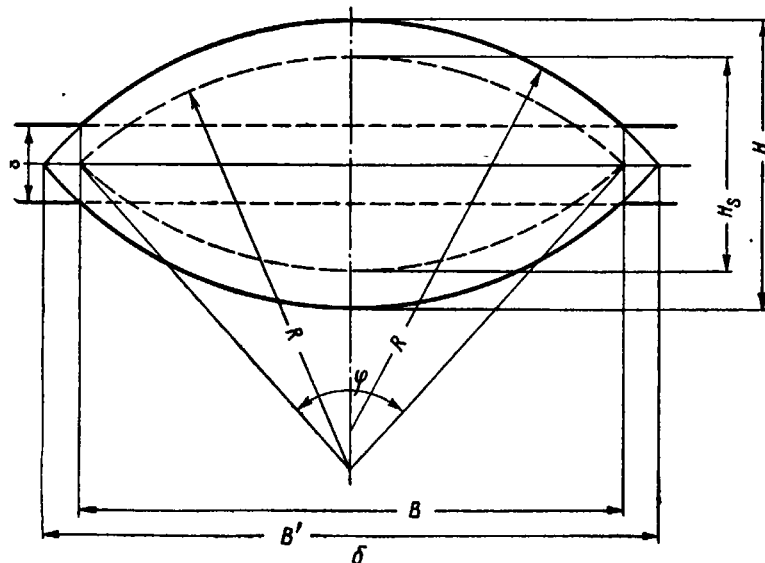
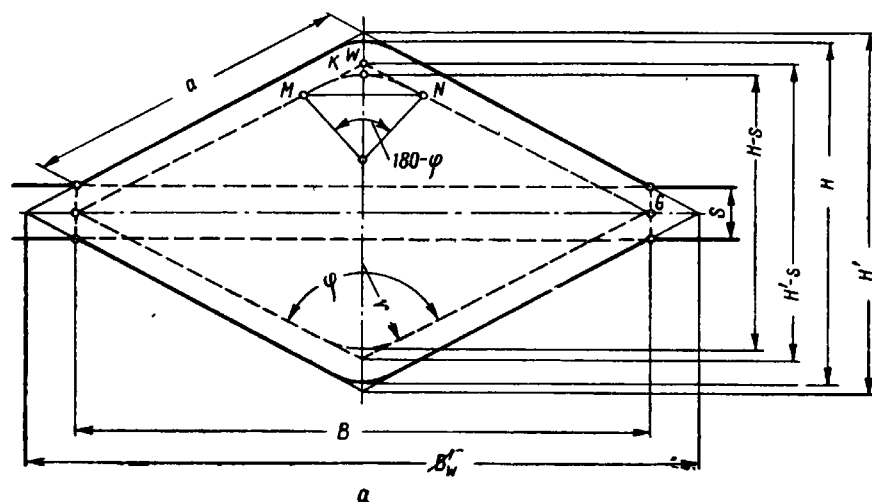


Рис. 2. Параметры ромбического (а) и овального (б) калибров

При использовании этого метода расчета для остальных калибров, применяемых на непрерывных заготовочных станах, требуются новые способы расчета площадей ромбов и овалов. Пло-

щадь ромба можно представить в виде суммы площадей смещенного ромба  $F_{p.c}$  и прямоугольника  $F_{пр}$  (рис. 2, а), т. е.

$$F = F_{p.c} + F_{пр}; \quad (17)$$

$$F_{пр} = Bs; \quad (18)$$

$$F_{p.c} = 2[F_{\Delta IWG} - F_{\Delta MWN} + F_{OMNK}] = \frac{H' - s}{2} B -$$

$$- r^2 \left\{ 2 \frac{\cos^3 \frac{\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}} + \left( 1 - \frac{\varphi}{180} \right) \pi - \sin \varphi \right\}. \quad (19)$$

Площади овала и ромба можно рассчитывать по одной и той же формуле лишь с различными коэффициентами:

$$F_x = B_x s + B_x k (H_x - s) + B_x^2 \Delta. \quad (20)$$

Имея формулу площади овала и ромба, вывели формулы кинематического и геометрического коэффициентов обжатия для вариантов, приведенных на рис. 3—5. Например, при прокатке овала или ромба в квадрате (рис. 3)

$$\gamma_{к1} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{H}{KB} \left\{ \frac{1}{\gamma_k} \cdot \frac{s}{H} [1 - k] \right\} - \frac{\Delta}{k} \gamma_k. \quad (21)$$

Известные до настоящего времени методы, позволяющие определить рабочий диаметр калибра, заключаются в замене контура калибра на равновеликий прямоугольник. В результате получаем средний рабочий диаметр  $D_s$  и среднюю высоту  $h_s$ . Последнюю можно определить по четырем известным методам Врацкого, Головина, Чекмарева, З. Вусатовского. Зная среднюю высоту и средний рабочий диаметр, можно определить опережение по известным формулам и скорость прокатки. Эти способы имеют чисто геометрический характер и дают разные результаты.

Авторы разработали новый метод, учитывающий особенность формы калибра, влияющей на течение металла в нем. Был найден коэффициент  $K$ , показывающий, на какую величину следует увеличить коэффициент трения  $f$ , чтобы при замене любого калибра на прямоугольный были учтены дополнительные сопротивления истечению, вытекающие из формы калибра, и были получены те же величины давления для обоих случаев (для прямоугольного и фасонного калибров). При расчете скорости прокатки будем пользоваться коэффициентом трения, соответствующим не действительному, а увеличенному в  $K$  раз.

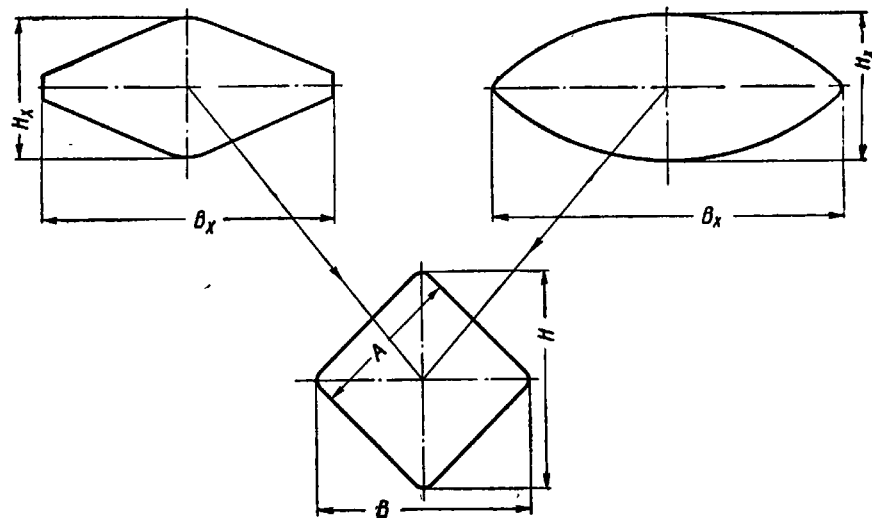


Рис. 3. Калибры системы ромб — квадрат — овал

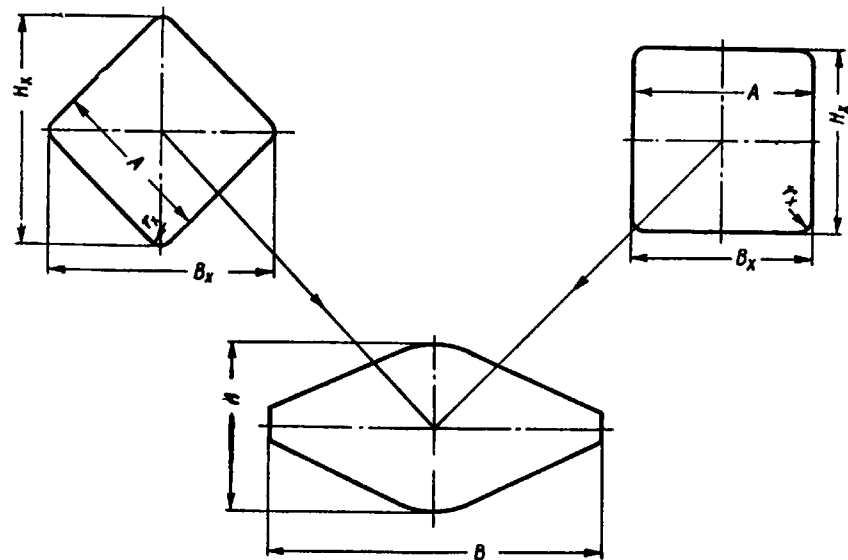


Рис. 4. Калибры системы квадрат — ромб — квадрат

Математическим путем на основании теории обработки давлением авторы вывели формулы давления для фасонных и плоских калибров. Ниже приведены конечные результаты.

Формула давления при осадке металла между плитами овальной формы

$$p_0 = 2\xi \left\{ A \frac{\left[ \frac{b}{2}(h-s) + \frac{bs}{2} \right]^{a+1} - \left( \frac{bs}{2} \right)^{a+1}}{a+1} - \frac{\sigma_{pl} b}{2a} \right\} \text{ н/м}^2, \quad (22)$$

где

$$A = \frac{\sigma_{pl}}{h-s} \left( 1 + \frac{1}{a} \right) \left( \frac{bs}{2} \right)^{-a}; \quad a = \frac{fb}{h-s};$$

$\xi = 0,85$  — коэффициент, корректирующий упрощения при выводе формулы (22).

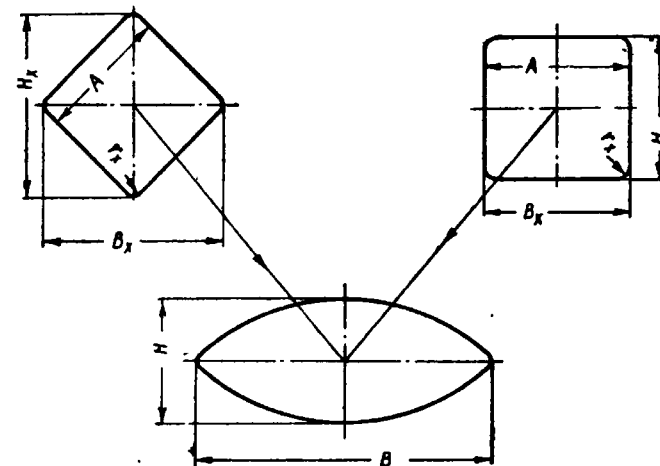


Рис. 5. Калибры системы квадрат — овал — квадрат

Формула давления при осадке между плитами плоской формы:

$$p = \frac{\sigma_{pl} h}{f} \left( e^{\frac{fb}{h}} - 1 \right) \text{ н/м}^2. \quad (23)$$

На основании формул (22) и (23) оказалось возможным получить коэффициент

$$K = \frac{p_0}{p_{пл}} \psi, \quad (24)$$

где  $\psi = 0,85 \div 1,3$  — коэффициент, корректирующий результаты вычисленных давлений до действительных; меньшие значения относятся к образцам меньших размеров, а большие — к большим размерам;

$p_0$  и  $p_n$  — теоретические давления для овального и плоского калибров.

Для сопоставления расчетных результатов наших и ранее указанных авторов было прокатано около 1700 образцов при 900 и 1200° С на валках различных диаметров (147, 197, 297 мм) и при разных скоростях вращения валков (30, 180, 420 об/мин).

Полученные результаты меньше на 2—6% расчетных по Брауну, Вусатовскому и Головину и на 0,5—1% больше замеренных.

Инж. С. КУХАРСКИЙ

(Металлургический завод им. Ленина, Новая Гута, ПНР)

## КАЛИБРОВКА НЕПРЕРЫВНОГО ЗАГOTOVOЧНОГО СТАНА СО СМЕШАНЫМ СОРТАМЕНТОМ

Непрерывные заготовочные станы, построенные за последние годы, отличаются от более старых главным образом последовательным расположением клетей с горизонтальными и вертикальными валками, а также индивидуальным приводом отдельных клетей.

Последовательное размещение с чередованием клетей с горизонтальными и вертикальными валками позволяет отказаться от кантовочной арматуры, необходимой для непрерывных станов, состоящих только из клетей с горизонтальными валками, и, кроме блюмов и круглых заготовок, прокатывать также слябы шириной до 500 мм, применяя в клетях с вертикальными валками ребровые обжатия.

Регулируемый индивидуальный привод клетей упрощает калибровку валков и позволяет распределить обжатия по отдельным клетям более рационально, чем это возможно при системах с групповым приводом клетей.

Непрерывные заготовочные станы устанавливают обычно за блюмингом, что дает возможность осуществить прокатку заготовок с одного нагрева.

Одним из новейших заготовочных непрерывных станов является стан 850/730/530, состоящий из двух групп по шесть клетей каждая. Характеристика стана приведена в табл. 1.

Сортаментом стана являются: заготовки 150 × 150, 120 × 120, 100 × 100, 80 × 80, 75 × 75, 60 × 60 мм, узкие слябы (полосы) 100 × 250 ÷ 130 × 400 мм и заготовки диаметром 75—150 мм. Исходным материалом при прокатке квадратных и круглых заготовок являются блюмы 300 × 300 мм и массой 7,2—8,2 т, а при прокатке полос — слябы 240 × 350 ÷ 300 × 450 мм и массой 7,2—8,5 т.

Перед входом во II клеть прокатываемая заготовка кантуется на 90° с помощью автоматического кантователя с фотореле.



ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА НЕПРЕРЫВНОГО ЗАГОТОВОЧНОГО СТАНА 850/730/530

Группа клеток	№ клетки	Валки	Расстояние между клетями, м	Размеры валков, мм		Максимальная окружная скорость валков, м/сек	Мощность электродвигателя, кВт
				длина бочки	диаметр бочки		
I	I	Горизонтальные	24,8	1200	850	0,55	1340
	II	»	5,5	1200	850	0,405	1340
	III	Вертикальные	5,5	800	730	0,57	1340
	IV	Горизонтальные	5,5	1200	730	0,775	1340
	V	Вертикальные	5,5	800	730	1,085	1340
	VI	Горизонтальные	76,5	1200	730	1,50	1340
II	VII	Вертикальные	5,5	800	530	1,57	1340
	VIII	Горизонтальные	5,5	800	530	1,87	1340
	IX	Вертикальные	5,5	800	530	2,45	1340
	X	Горизонтальные	5,5	800	530	2,92	1340
	XI	Вертикальные	5,5	800	530	3,81	1340
	XII	Горизонтальные	—	800	530	5,2	1380

Поэтому II клеть располагают на расстоянии в 24,8 м от I клетки, чтобы обеспечить свободное размещение раската между ними. В настоящее время созданы заготовочные непрерывные станы, I клеть которых имеет вертикальные валки. При такой системе расположения клеток кантовка заготовки перед II клетью становится излишней, и расстояние между I и II клетями сокращается до 5 м. Благодаря этому сокращается вся линия прокатки.

В следующих четырех клетях первой группы заготовка не подвергается кантовке, так как вертикальные и горизонтальные валки в этих клетях чередуются.

Перед входом в VII клеть с вертикальными валками (I клеть II группы) заготовка подвергается кантовке на 45° также с помощью кантователя с фотореле, и далее до окончания прокатки она не кантуется ввиду чередования вертикальных и горизонтальных валков в остальных клетях II группы.

В случае прокатки полосы прямоугольного сечения кантователь перед II клетью I группы становится излишним и поэтому его специальным механизмом отодвигают в сторону. Потребность в кантователе перед II группой клеток отпадает также при изменении системы калибровки овал — квадрат. В этом случае кантователь также отодвигают в сторону.

Перед кантователем II группы клеток находятся маятниковые ножницы, служащие для обрезки дефектных головных концов прокатываемой заготовки; эти ножницы служат также для

аварийного реза в случае застревания заготовки в одной из клеток II группы.

За последней клетью II группы расположены летучие ножницы для резки выходящего из валков раската на заготовки длиной 6; 9; 12; 5; 7,5 и 10 м.

В шести клетях I группы прокатывают квадратные заготовки 150 × 150 и 120 × 120 мм (в случае необходимости возможна также прокатка квадратных заготовок промежуточных сечений), полосы 100 × 250 ÷ 130 × 400 мм и круглые заготовки диаметром 120—150 мм.

Заготовки 120 × 120 мм предназначены для дальнейшей прокатки во II группе в заготовки 100 × 100, 80 × 80, 75 × 75 и 60 × 60 мм (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. СХЕМА КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК 60×60 мм ИЗ БЛЮМА 300×300 мм

№ клетки	Калибр	Размеры калибра, мм		Коэффициент вытяжки	Рабочий диаметр вала, мм	Абсолютное обжатие, мм	Уширение, мм	Угол захвата	Константа калибровки C·10°	Окружная скорость прокатки, м/сек
		h	b							
I	Ящичный	220	313	1,32	680	80	15	28°	709,4	0,55
II	»	229	232	1,30	665	84	11	29°15'	402	0,405
III	»	158	242	1,39	600	74	11	28°55'	402	0,57
IV	»	162	167	1,41	590	80	15	30°	402	0,775
V	»	108	173	1,44	640	59	13	25°	402	1,085
VI	»	120	120	1,31	625	53	11	23°50'	402	1,5
VII	Ромбический	117	172	1,23	472,5	19,5	12	21°10'	352,1	1,57
VIII	Квадратный	129	133	1,17	467,3	20,3	8,6	23°30'	352,1	1,87
IX	Ромбический	89	132,4	1,36	486,8	19,5	9,1	22°15'	352,1	2,45
X	Квадратный	96	100	1,18	481,4	18,1	10,0	21°45'	352,1	2,92
XI	Ромбический	72	103,3	1,39	496,1	16,7	9,5	21°03'	352,1	3,81
XII	Квадратный	77,5	79	1,25	493,6	18,9	5,4	22°33'	352,1	5,2

Квадратные заготовки 100 × 100 мм получают из VIII клетки, 80 × 80 мм — из X клетки и 60 × 60 мм — из XII клетки.

Заготовки 75 × 75 мм получают в X клетке в калибре, предусмотренном для заготовки 80 × 80 мм, опусканием верхнего вала на 7 мм и опусканием верхнего вала IX клетки на 5,5 мм.

Все профили, выходящие из VI клетки I группы, за исключением заготовок 120 × 120 мм для транзитной прокатки, после выдачи на промежуточный рольганг между I и II группами клеток шлепперами передаются на обводный рольганг и далее направляются к установленным на этой линии гильотинным ножницам для резки на требуемые длины.

В I группе клеток применяют систему ящичных калибров прямоугольник — квадрат, а во II группе, если не прокатывают круглых профилей, — систему ромб — квадрат.

Средний коэффициент вытяжки в I группе клеток при прокатке заготовок  $120 \times 120$  мм составляет  $\lambda_{\text{ср}} = 1,36$ , а во II группе клеток при прокатке заготовок  $60 \times 60$  мм  $\lambda_{\text{ср}} = 1,22$ .

Как видно из схемы калибровки (рис. 1), интенсивность обжатия в I группе клеток относительно высокая. Для сравнения можно указать, что на американском заготовочном непрерывном стане 760/813 в I группе, состоящей из шести клеток, из квадратной заготовки  $230 \times 230$  мм прокатывают наименьший круглый профиль диаметром 115 мм и квадрат  $110 \times 110$  мм. При прокатке круглого профиля диаметром 112 мм, площадь сечения которого меньше площади сечения квадрата  $110 \times 110$  мм,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,31$ . На непрерывном заготовочном стане 750/700 в Дортмунде (ФРГ), где наименьший прокатываемый из заготовки  $270 \times 170$  мм квадрат имеет сечение  $115 \times 115$  мм,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,24$  [1].

При применяемых относительно больших обжатиях в клетях непрерывного заготовочного стана 850/730/530 калибры полностью заполнены металлом, а при прокатке более холодных заготовок (с температурой ниже  $1050^\circ\text{C}$ ) они даже переполнены.

Более удобно, по-видимому, было бы иметь в I группе восемь клеток вместо шести и увеличить размеры исходного блюма с  $300 \times 300$  до  $350 \times 350$  мм. В этом случае в I группе клеток  $\lambda_{\text{ср}} = 1,30$  и при этом уменьшился бы износ валков, а увеличение сечения блюма позволило бы повысить производительность блюминга [2].

Средний темп на непрерывном заготовочном стане 850/730/530 при прокатке квадратной заготовки  $60 \times 60$  мм из блюма массой 7,2 т составляет 61 сек, а при прокатке слитка на блюминге в сечение  $300 \times 300$  мм составляет 78 сек. В случае перехода на блюмы  $350 \times 350$  мм при неизменной массе слитка средний темп прокатки на блюминге сократится с 78 до 67 сек. Темп прокатки на блюминге и в этом случае меньше темпа прокатки на непрерывном заготовочном стане, следовательно, увеличение площади сечения блюмов для заготовочного непрерывного стана с восемью клетями в I группе является вполне возможным и целесообразным.

Возможная часовая производительность непрерывного заготовочного стана 850/730/530 довольно высокая; при максимальной скорости прокатки производительность может достичь 425 т/ч. Однако ввиду более медленного темпа прокатки на блюминге (в среднем 78 сек) действительная производительность составляет 332 т/ч. При ускорении темпа прокатки на блюминге до

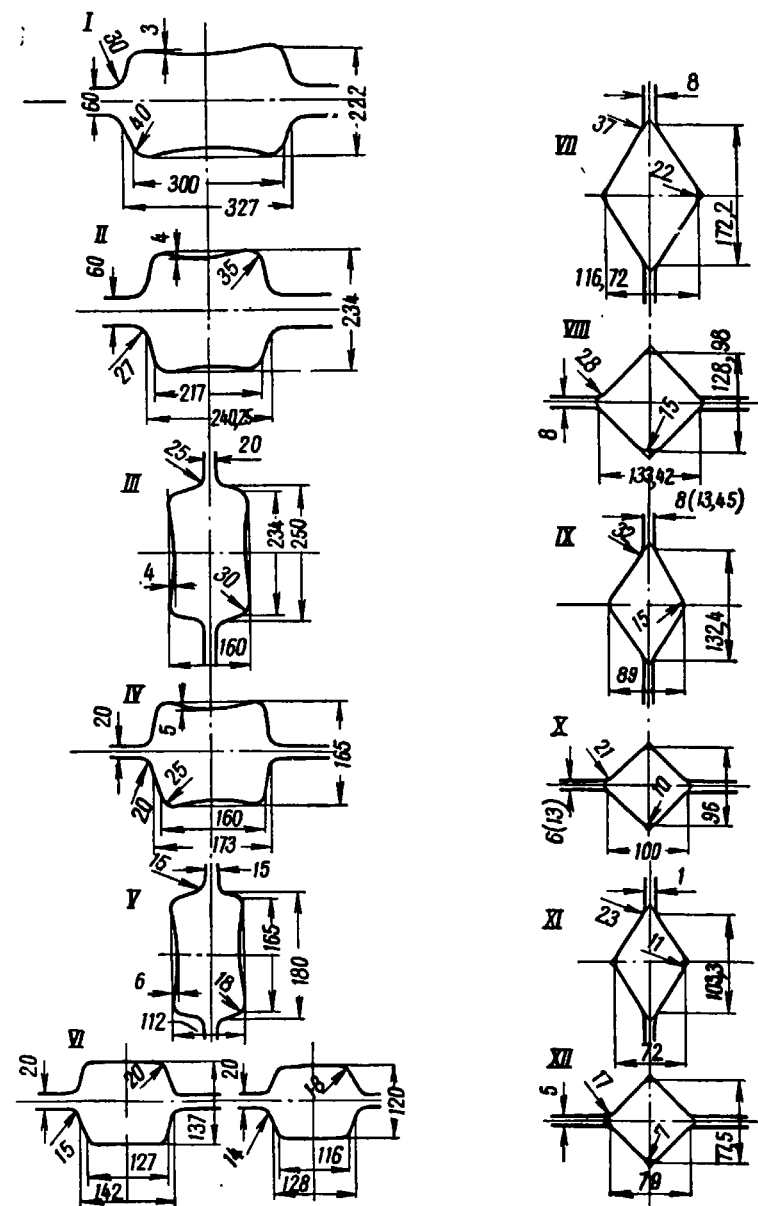


Рис. 1. Калибровка валков непрерывного заготовочного стана 850/730/530 для прокатки квадратных заготовок стороной 120, 137, 75, 80 и 60 мм:

I — XII — номера клеток

68 сек за счет одновременной прокатки двух слитков производительность его составляет 382 т/ч.

Повышение использования производственной мощности непрерывного заготовочного стана 850/730/530 может быть достигнуто также увеличением массы исходного блюма с 7,2 до 8,4 т.

Метод калибровки валков непрерывного заготовочного стана выбирается в зависимости от заданной для стана программы прокатки. Например, на непрерывном заготовочном стане 850/730/530, где предусматривается прокатка в I группе заготовки  $120 \times 120$  мм из блюмов  $300 \times 300$  мм, коэффициент общей вытяжки заранее задан этими размерами.

Абсолютные обжатия в первых четырех клетях рассчитываем исходя из максимально возможных углов захвата с учетом минимально допустимого рабочего диаметра валков после их переточки на 11%. Из определенных таким образом обжатий рассчитываем четыре первых калибра, их площади и коэффициент общей вытяжки для этих клетей. Коэффициент вытяжки в остальных двух калибрах рассчитываем по формуле

$$\lambda_{5-6} = \frac{\lambda_{26}}{\lambda_{24}}$$

и распределяем так, чтобы с учетом уменьшения износа калибра VI клетки обжатие в ней было меньше примерно на 10% обжатия в V клетях.

В табл. 2 схемы калибровки и углы захвата показаны для новых валков с максимально возможными рабочими диаметрами. При минимальных диаметрах рабочих валков углы захвата будут на 1—1,5° больше.

Для обеспечения надежного захвата прокатываемой полосы валки I и II клетей имеют наварку по дну калибров. В остальных клетях наварка или насечка валков не является необходимой, так как захват металла обеспечивается заталкивающим действием предшествующей клетки.

Учитывая большие обжатия и сопровождающие их значительные уширения прокатываемой полосы, ширину дна  $B_k$  в ящичных калибрах приняли равной высоте  $h$  предшествующего калибра. Таким же образом ширина дна ручья I калибра равна ширине блюма. Кроме этого, для предотвращения переполнения калибра металлом при прокатке более холодной полосы калибры I—V имеют выпуклое дно. Ширину ручья у разъема калибра рассчитали с учетом уширения по формуле С. И. Губкина

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

Радиус закругления по дну ручья для I и II калибров приняли равным 0,5 глубины ручья, а в остальных калибрах 0,35.

Радиус закругления буртов приняли для I калибра равным 0,35 глубины ручья, а для остальных калибров 0,30.

Относительно калибровки валков II группы клетей, состоящей из 6 клетей, следует заметить, что систему калибровки определяет сортамент проката. Как видно из рис. 1, в VII клетях предусмотрена прокатка заготовок  $100 \times 100$  мм, в X клетях  $80 \times 80$  и  $75 \times 75$  мм и в XII  $60 \times 60$  мм. Так как исходный квадрат  $120 \times 120$  мм после IV клетки и квадраты в трех клетях II группы имеют заранее определенные размеры, остается лишь рассчитать промежуточные ромбические калибры между этими квадратами.

Определение размеров ромбических калибров произведено по методу Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова [3]. Площадь промежуточного ромба

$$F = A \cdot a,$$

где  $A$  — сторона входящего в ромб квадрата;

$a$  — сторона квадрата, полученного из ромба.

Высота ромба

$$h = 1,35a - \frac{A-a}{2A} \left[ \sqrt{R(A-a)} - \frac{A-a}{2f} \right],$$

где  $R = \frac{1}{2} \left( D - \frac{F}{b} \right)$  — вычислили на основании предварительно принятой ширины ромба  $b$ , составляющей 1,07 диагонали квадрата, входящего в ромб.

Определив высоту ромба  $h$ , действительную ширину находим по формуле

$$b = \frac{2F}{h}.$$

Радиус закругления по дну ромбического ручья принимаем равным радиусу закругления ребра квадрата, входящего в ромб. Радиус закругления ромба у разъема калибра принимаем равным 0,2 ширины ромба.

Затем в ромбе проверяют уширение входящего в него квадрата и уширение в квадрате, в который входит данный ромб. В случае отклонений размеры подвергаются корректировке.

Константу калибровки вычисляют отдельно для каждой группы клетей исходя из максимальных скоростей вращения валков последних клетей каждой группы. Так как с уменьшением сечения прокатываемой полосы опережение возрастает, то при равенстве констант в клетях между ними обеспечивается некоторое незначительное натяжение.

Для I клетки, не связанной с остальными непрерывностью прокатки, принята большая константа калибровки  $C$ , чем для

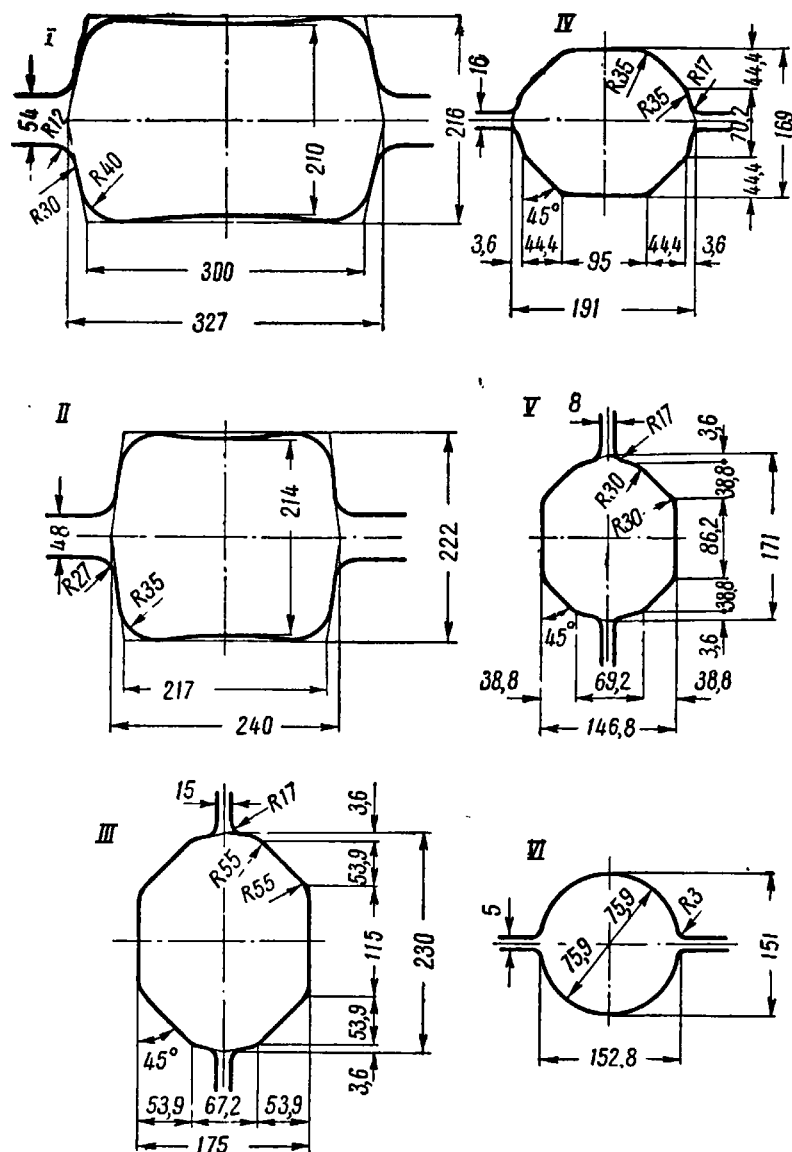


Рис. 2. Калибровка валков для прокатки на непрерывном заготовочном стане 850/730/530 круглого профиля диаметром 150 мм из бляма 300 × 300 мм:

I — VI — номера клетей

остальных клетей I группы, чтобы обеспечить необходимый темп прокатки.

На непрерывном стане с индивидуальным приводом очень легко во время прокатки исправить возможные отклонения от константы регулировкой скоростей вращения валков отдельных клетей или же изменением настройки валков. На непрерывных станах с групповым приводом регулировка скорости вращения валков в каждой клетке невозможна. Регулирование константы изменением настройки валков также весьма ограничено, так

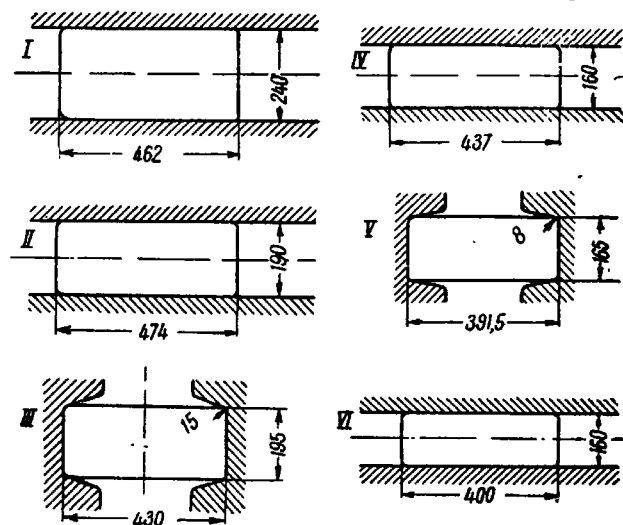


Рис. 3. Калибровка полосы 130 × 400 мм при прокатке из слэбов 300 × 450 мм:

I — VI — номера клетей

как изменение сечения прокатываемой полосы повлечет за собой в соседних клетях, с одной стороны, натяжение, а с другой — нежелательный подпор.

Поэтому при калибровке валков непрерывного стана с групповым приводом следует учитывать опережение между клетями.

Следует также учитывать колебания температуры бляма; как известно, при снижении температуры прокатываемой полосы опережение увеличивается. Опережение повышается также за счет увеличения трения в калибрах вследствие их износа. Кроме того, как известно, опережение зависит также от многих других факторов, например от диаметра валков, обжатия по высоте химического состава прокатываемого металла. Все эти факторы и особенно такие переменные, как температура прокатываемой полосы и трение в калибрах, вызывают колебания опережения между отдельными клетями, вследствие чего часто возникают

нарушения константы непрерывной прокатки. Обычно опережение на непрерывных заготовочных станах колеблется в пределах 3—5%, в некоторых случаях эти колебания достигают 12%.

При калибровке валков непрерывного заготовочного стана с индивидуальным приводом во избежание опасного подпора между клетями следует в расчетах предусматривать натяжение между клетями в пределах 1—2%.

На рис. 2 приведены калибры для прокатки круглой заготовки диаметром 150 мм, а на рис. 3 — полосы сечением 130×400 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Королев. Зарубежные прокатные станы. Машгиз, 1958, стр. 115—124.
2. С. И. Губкин. Теория обработки металлов давлением. Metallurgizdat, 1947, стр. 273.
3. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков. Metallurgizdat, 1953, стр. 226—227.

Инж. В. ВАШИЧЕК

(Кунчицкий металлургический комбинат, ЧССР)

### КАЛИБРОВКА НЕПРЕРЫВНОГО ЗАГотовОЧНОГО СТАНА С РАЗНООБРАЗНОЙ ПРОКАТКИ

Непрерывный заготовочный стан Кунчицкого комбината им. К. Готвальда состоит из 12 клеток, расположенных в трех группах: две клетки в I группе, пять во II и пять в III. Клетки II, IV, VI, IX и XI имеют вертикальное расположение валков, остальные — горизонтальное.

В клетях I группы прокатывают заготовки 150×150, 180×180, 150×170, 160×180, 180×190 и диаметром 170 мм.

В клетях II группы прокатывают заготовки 120×140, 90×110, 90×130, 85×180, 85×220, 90×225 и диаметром 140 мм.

В клетях III группы прокатывают заготовки 60×60, 80×80 и 90×110 мм.

Исходным сечением являются блюмы 200×220 мм.

Эта программа прокатки 17 профилеразмеров заготовки выполняется на одном комплекте валков. Перестройка клеток и регулировка чисел оборотов двигателей при переходе на новый профиль продолжаются не более 8—15 мин. В противном случае считают, что стан является «негибким».

Калибровка валков составлена так, чтобы выходное сечение заготовок предыдущей группы являлось входным сечением для последующей. Это позволяет хорошо использовать стан. Широкий сортамент вызывает неравномерную нагрузку прокатных клеток и двигателей, так как невозможно равномерно распределить обжатия для всех профилеразмеров, и уменьшает выходное сечение исходного блюма. Например, при настройке стана на один размер с выходным сечением заготовки 60×60 мм после III группы выходное сечение из блюминга может быть значительно больше 220×220 мм. По указанным причинам желательно по возможности сузить сортамент стана.

В таблице представлены калибровочные данные для прокатки заготовок 60×60 мм.

ПРОКАТКА ЗАГОТОВОК 60×60 мм  
НА НЕПРЕРЫВНОМ ЗАГОТОВОЧНОМ СТАНЕ ИЗ БЛОМА 220×220 мм

Группа клетей	Клеть	Калибр	Размеры мм		Коэффициент вытяжки	Диаметр валков, мм	Обжатие, мм	Уширение, мм	Угол захвата град.	Скорость про- катки, м/сек
			Н	В						
I	Обжимная I II	Квадратный . . . . .	220	220	—	—	—	—	—	—
		Прямоугольный . . . .	170	230	1,24	660	50	10	25,5	0,62
		Плоский квадратный . .	180	180	1,21	660	50	10	25,5	0,762
II	I	Прямоугольный . . . .	135	190	1,27	650	45	10	24	0,749
	II	» . . . . .	135	210	—	650	—	—	—	—
	III	Гладкая бочка . . . . .	100	198	1,29	650	35	8	20,5	0,995
	IV	Прямоугольный . . . .	107	155	1,19	650	43	7	23,5	1,205
	V	Гладкая бочка . . . . .	85	160	1,22	650	22	5	16	1,5
III	I	Прямоугольный . . . .	100	97	1,4	480	60	12	32	1,09
	II	» . . . . .	107	70	1,3	480	27	7	20,5	1,495
	III	Гладкая бочка . . . . .	71	80	1,32	480	36	10	24	2,01
	IV	Прямоугольный . . . .	78	56	1,3	480	24	7	19	2,66
	V	Плоский квадрат . . . .	60	60	1,21	480	18	4	17	3,3

Заготовку 60×60 мм прокатывают в ящичном калибре III группы. Из последней клетки III группы заготовка выходит плашмя. От диагональной прокатки заготовки отказались, учитывая заданную для III клетки программу и особенности резки заготовок ножницами при выходе из стана. Заготовку 160×85 мм II группы задают в I клеть III группы «на ребро». Это связано с конструкцией стана, так как II и III группы имеют каждая по три клетки с горизонтальными валками и только по две клетки с вертикальными валками. При задаче заготовки 160×85 мм в I клеть III группы плашмя клетки с вертикальными валками и их двигатели получили бы слишком большую нагрузку; это также значительно увеличивало бы углы захвата.

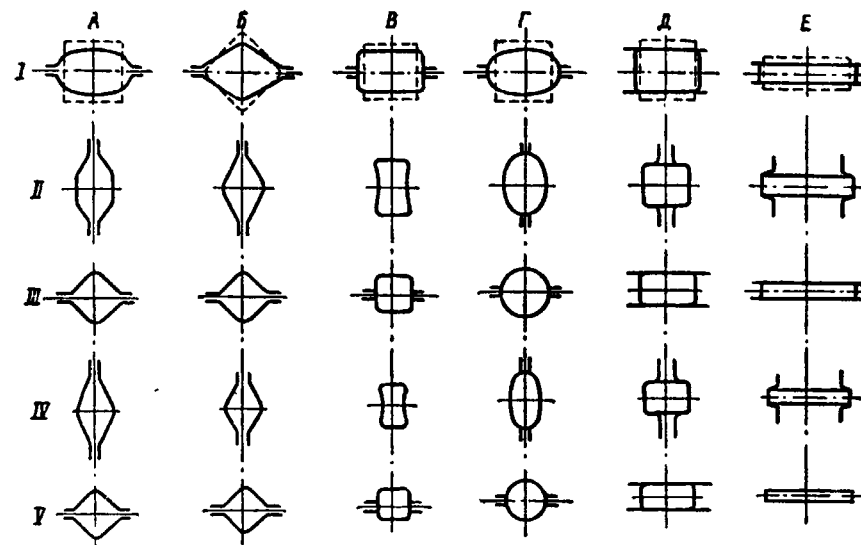
Применение плоской калибровки упрощает конструкцию стана. Можно использовать унифицированные вводные и выводные проводники, которые не нужно менять в процессе прокатки всего сортамента. Стан становится гибким в работе; регулировка его для прокатки по широкой программе облегчается.

Калибровки, применяемые на непрерывных заготовочных станах, общеизвестны. Однако следует заранее учесть все их преимущества и недостатки, которые могут обнаружиться в процессе прокатки. Используемые нами калибровки составлены с учетом широкого сортамента и стремления сконцентрировать

прокатку на одном комплекте валков, что является большим преимуществом для производства.

Для черновой группы из пяти клетей на валках располагают несколько рядов калибровки A—E (рисунок).

Калибровка ряда A представляет систему диагональных калибров для прокатки квадратных заготовок с первым пластывым калибром. Ряд B представляет диагональную калибровку для всех (пяти) клетей. При этом заготовка вводится в I клеть. Для прокатки прямоугольных и квадратных заготовок используют ряд В. Этот ряд позволяет работать при аварии на одной



Схемы калибровки валков черновой группы клетей непрерывного стана:  
I — V — номера клетей

из клетей. Для прокатки круглых заготовок используют ряд Г, где прокатывают яйцевидные овалы, что дает возможность устранить закаты в открытых местах калибра. При прокатке круглых заготовок для производства труб нужно во избежание поверхностных пороков работать с минимальным натяжением. Для прокатки полосы применяли ряд Д, который полностью отвечает требуемым условиям. Ряд Е служит для прокатки слябов, однако слябы до настоящего времени не прокатывали.

Не рекомендуется в клетях заготовочных станков с горизонтальными валками применять кантовочные проводки. Кантовка металла должна производиться работающими вхолостую кан-

тующими валками, так как в этом случае значительно улучшается поверхность прокатываемых заготовок<sup>1</sup>.

Если на непрерывных заготовочных станах нужно прокатать круглые заготовки для производства труб или заготовки из легированной стали повышенного качества, то следует применять станы с горизонтальными и вертикальными валками или станы с последовательным расположением клетей и свободным расположением раската между ними; в последнем случае кантовка производится автоматическим кантующим устройством.

Такие станы стоят дешевле, так как сооружение обжимных клетей с вертикальными валками стоит дорого. При этом устраняется также натяжение, что является основным требованием при прокатке круглых заготовок для производства труб. Последние должны иметь безукоризненную поверхность проката. На непрерывных заготовочных станах со свободным размещением раската между клетями проще перейти к прокатке другого профилеразмера.

При сооружении любых видов непрерывных заготовочных станов следует обращать внимание на то, чтобы калибровки были простыми, но в то же время обеспечивали надежную прокатку. Комплект валков должен позволять прокатывать весь сортамент и предусматривать быстрый переход с одного профилеразмера на другой.

<sup>1</sup> Кантующие валки впервые внедрены на Магнитогорском металлургическом комбинате по предложению инж. С. В. Меракина. *Перев.*

*Инж. Ж. РУУ*

(Французское научно-исследовательское общество металлургов)

## РАСЧЕТ УШИРЕНИЯ И СЕКУНДНОГО ОБЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Вопросами калибровки валков я занимаюсь в течение всей своей заводской деятельности, начиная с 1923 г. В 1939 г. мною была опубликована номограмма и формула для определения уширения.

Прилагаемые к докладу графики представляют итоги дальнейшей работы и дают более точные результаты, позволяющие их использовать для расчетов уширения и секундного объема металла.

Уширение металла лучше всего рассчитывать методом последовательных приближений. Первый расчет на основе выбора предполагаемого уширения дает результат, содержащий некоторую ошибку. Корректируя выбранное уширение, делаем новый расчет и получаем результат, содержащий меньшую ошибку. Снова корректируя уширение, после третьего расчета получаем действительную величину уширения. Расчетные величины следует определять с большим количеством знаков после запятой. Совершенствование калибровки всегда желательно, однако реализация этого на практике связана с определенными затратами. Поэтому инженер-прокатчик должен располагать вычислительной машиной, позволяющей улучшить расчетную работу.

Примерами задач, при решении которых с успехом может быть использована вычислительная техника, являются например, определение минимального конечного сечения и максимального начального сечения при данном числе проходов; выбор оптимальной формы калибров и минимального зазора, гарантирующих получение проката с наименьшим количеством рисков; возможность получения катанки малого сечения на валках увеличенного диаметра с целью повышения производительности и др.

### Расчет уширения при горячей прокатке

Различают следующие случаи прокатки:

- а) квадратная полоса прокатывается плашмя в прямоугольном, овальном выпуклом или овальном плоском калибрах;
- б) квадратная полоса обжимается по диагонали в ромбическом калибре;
- в) прямоугольная полоса прокатывается плашмя в прямоугольном, овальном выпуклом или овальном плоском калибре;
- г) прямоугольная полоса обжимается на ребро в ребровом овальном или круглом калибре;
- д) ромбическая полоса обжимается по диагонали в квадратных или ромбических калибрах;
- е) овальная выпуклая или сплюснутая полоса прокатывается на ребро в квадратных, ребровых овальных, выпуклых овальных, круглых или чистовых шестигранных калибрах;
- ж) полоса, вышедшая из овального ребрового или овального выпуклого, а также круглого калибра, прокатывается в овальном или плоском калибре; полоса прокатывается плашмя в плоском калибре.

При расчете уширения  $\Delta l$  поступаем следующим образом.

Определяем задаваемую толщину

$$E = \frac{S}{l},$$

где  $S$  — начальное сечение;

$l$  — начальная его ширина.

Закругления уменьшают сечение, что необходимо учитывать.

Затем задаем размеры сечения, выходящего из калибра. Рассчитываем выходящую толщину

$$e = \frac{s}{L},$$

где  $L$  — ширина сечения после прокатки.

Необходимо отметить, что окончательные величины будут найдены расчетом по методу последовательного приближения.

Разность  $p = E - e$  есть среднее расчетное обжатие. Средний диаметр калибров  $D_f$ , который назовем расчетным диаметром, определяем как разность расстояния между осями валков  $D_a$  и значением  $e$ :

$$D_f = D_a - e.$$

Уширение  $\Delta l$  определяем в зависимости от следующих трех коэффициентов:

$$\varphi = \frac{p}{E}; \quad \delta = \frac{D_f}{E}; \quad \lambda = \frac{l}{E}.$$

Итак

$$\Delta l = p [f_1(\varphi) f_2(\delta) f_3(\lambda) k].$$

Значение коэффициента  $f_1(\varphi) \cdot f_2(\delta) \cdot f_3(\lambda) \cdot k$  может изменяться в очень широких пределах (0,15—1,9).

Графики функций  $f_1(\varphi)$ ,  $f_2(\delta)$  и  $f_3(\lambda)$  приведены на рис. 1—4. Кривые  $f_1(\varphi)$  и  $f_3(\lambda)$  охватывают все случаи прокатки. Кривые для  $f_2(\delta)$  приведены с учетом влияния формы калибра в разных случаях прокатки.

Некоторые из этих кривых дают отрицательные значения уширения при очень малых значениях  $\delta$ ; это известно при про-

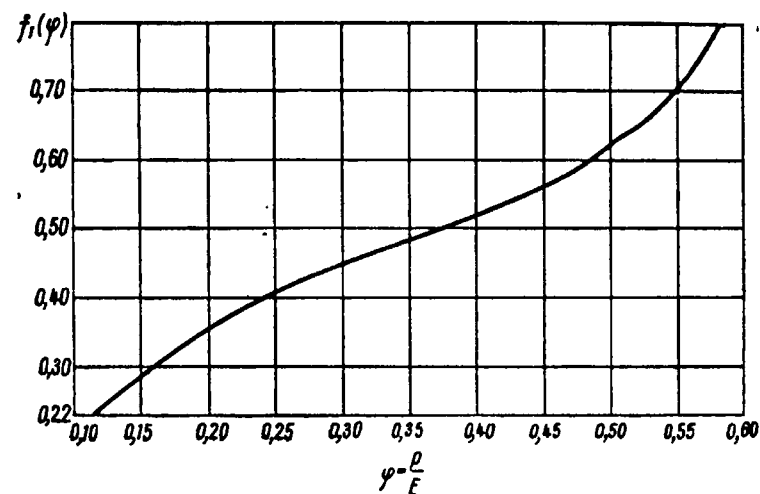


Рис. 1. Кривая  $f_1(\varphi)$  к расчету уширения

катке кругов большого диаметра. Значения  $f_2(\delta) = 0$  (см. рис. 3, кривая 5) отвечают результату, полученному при исследовании. Сужение овала при прокатке круга диаметром 400 мм на стане 850 составило 10 мм.

Основная трудность может быть при расчете выходящего сечения при прокатке круга или ребрового овала в плоском калибре. В этом случае приведенная ниже эмпирическая формула дает хорошие результаты для расчета радиуса  $r$  выпуклости боковых граней полосы, выходящей из калибра, в зависимости от радиуса  $R$  закругления входящего сечения:

$$r = 0,293R + 0,58 \frac{\text{Действительная входящая толщина}}{\text{Расчетная входящая толщина } E}.$$

Для определения радиуса выпуклости боковой поверхности



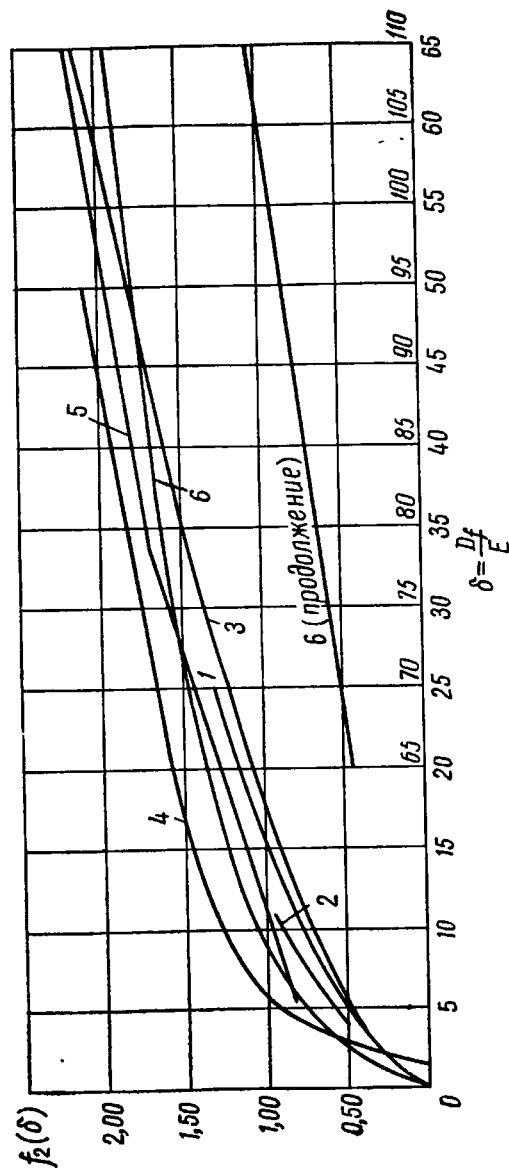


Рис. 2. Кривые  $f_2(\delta)$  к расчету уширения при прокатке полос:

1 — квадратной в ромбическом калибре (для  $\delta < 25$ ), по формуле  $f_2(\delta) = \frac{3,347 + 0,0076 \delta}{1,39464}$ ;

2 — квадратной в плоском овальном калибре; 3 — квадратной в выпуклом овальном калибре; 4 — выпуклой овальной в круглом калибре; 5 — выпуклой овальной в выпуклом овальном калибре; 6 — квадратной в плоском калибре

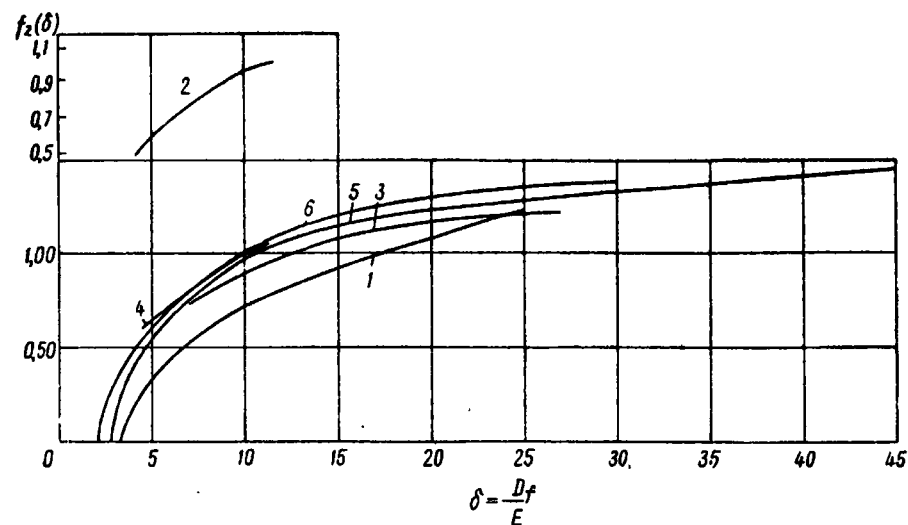


Рис. 3. Кривые  $f_2(\delta)$  к расчету уширения при прокатке полос:

1 — ромбической 2 квадратной в ромбическом калибре; 2 — плоской овальной в квадратном калибре; 3 — выпуклой овальной в квадратном калибре; 4 — плоской овальной в круглом или выпуклом овальном калибре; 5 — выпуклой овальной в круглом или выпуклом овальном калибре; 6 — прямоугольной в выпуклом овальном калибре

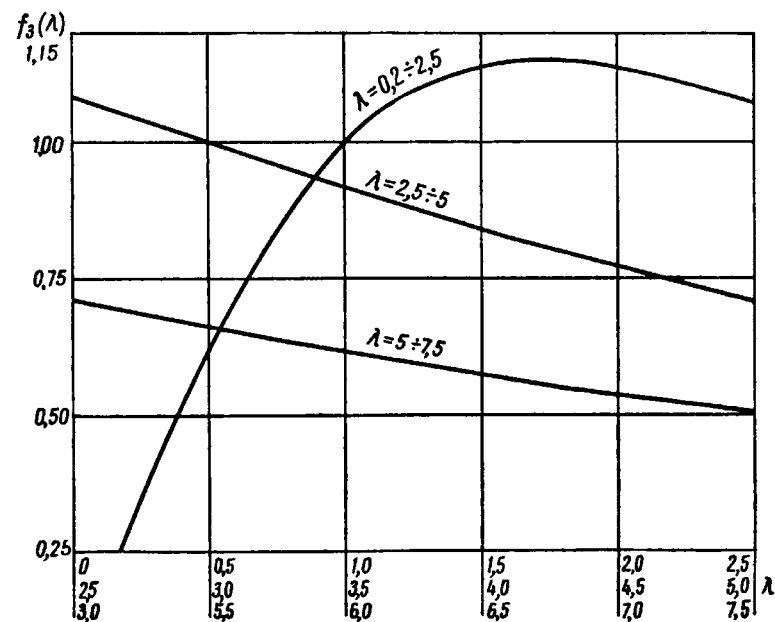


Рис. 4. Кривые  $f_3(\lambda)$  к расчету уширения и начального диаметра

полосы  $r$ , полученной при прокатке квадратного профиля на гладкой бочке, следует пользоваться формулой

$$r = h \left[ 0,076 + 2,02 \left( \frac{h}{E} \right)^2 \frac{0,1111}{\lg(0,18 + \sqrt{\delta_1 \varphi_1})} \right],$$

где  $h$  — толщина полосы после прохода;

$$\delta_1 = \frac{D_a - h}{E}; \quad \varphi_1 = \frac{E - h}{E}.$$

Зная  $r$ , можно рассчитать стрелу соответствующей выпуклости, а также площадь сегментов круга. При расчете сечений сегментов круга, составляющих выпуклости, целесообразно применить приближенные формулы, а также использовать кривую поправок<sup>1</sup>.

### Выбор значений $\kappa$

Приведенные расчеты дают результаты, в которых учитывается изменение уширения и не возникает опасность переполнения калибров. Причинами изменения уширения могут быть случайная прокатка при низкой температуре, прокатка в очень изношенных калибрах, наконец, прокатка специальных сталей, обнаруживающих меньшую или большую склонность к уширению. При нормальных температурах прокатки можно принять  $\kappa = 1,25 \div 1,30$  для мягких и углеродистых спокойных сталей;  $\kappa = 1,30 \div 1,40$  для конструкционных хромистых, никелевых с добавками хрома, коррозионностойких, хромомолибденовых и подшипниковых сталей;  $\kappa = 1,55 \div 1,60$  для сталей, содержащих 4%  $S_i$ , и сталей, содержащих более 20%  $S_g$ . Было бы очень желательно дальнейшее исследование коэффициента  $\kappa$ .

При отсутствии конкретных данных можно принять  $\kappa = 1,4$ . В этом случае получим результат, пригодный для прокатки большинства сталей.

При прокатке катанки с большой скоростью в непрерывных станах, где раскат проходит расстояние между соседними клетями за время менее одной секунды и получает достаточно большую вытяжку, необходимо принять для коэффициента  $\kappa$  меньшее значение.

В случае прокатки с очень малой скоростью (порядка 1—0,1 м/сек) коэффициент  $\kappa$  можно умножить соответственно

<sup>1</sup> Поправочный коэффициент  $m$  при расчете площади сегмента по формуле  $S_c = m S_p = m \frac{4f}{3} \sqrt{0,388f^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2}$  (где  $f$  — стрела сегмента,  $c$  — хорда) изменяется в пределах 0,9999—1,001. Поэтому кривая поправок не приводится. *Перев.*

на  $1,02 \div 1,10$ . Меньшее значение соответствует случаям прокатки при высоких температурах.

При проектировании калибров необходимо, во-первых, принимать такое обжатие, чтобы угол захвата в калибре был меньше  $21^\circ$  (максимально до  $23^\circ 30'$  в непрерывных станах при малых скоростях прокатки). При относительно больших скоростях прокатки необходимо принимать углы захвата меньше  $21^\circ$ ,

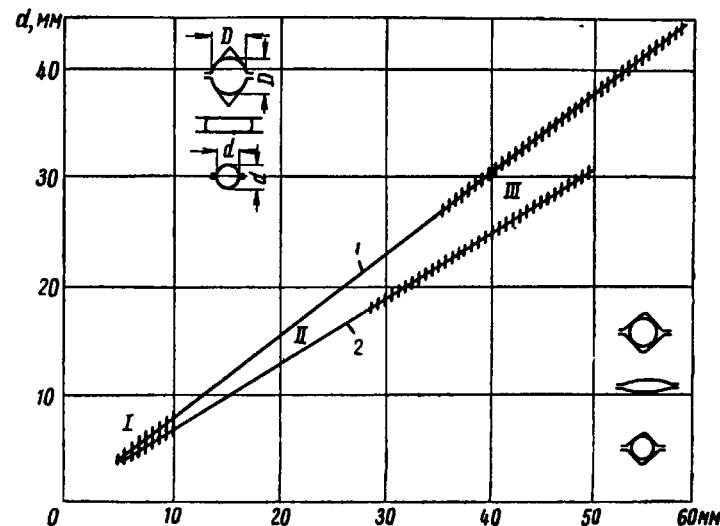


Рис. 5. График, показывающий различие в вытяжках полос при прокатке:

I — по системе ребровой овал — полоса — круг; II — квадрат (круг); III — овал — квадрат (круг); I — область исследований на стане 260; II — то же, на стане 340; III — то же, на стане 380

особенно при прокатке овальных полос в овальных ребровых калибрах.

При угле захвата  $20^\circ$  и скорости 8 м/сек прокатка проходила нормально на новых вальках; в дальнейшем повышенный износ калибров заставил нас уменьшить угол захвата до  $16^\circ$ . При скорости прокатки 6,5 м/сек рекомендуется угол захвата не больше  $18^\circ 30'$ . При прокатке овальных полос в квадратных калибрах углы захвата необходимо увеличить на  $2^\circ$ . При скорости 12 м/сек не допускается прокатка при угле захвата больше  $15^\circ$  в калибрах системы овал — квадрат.

Необходимо также ограничить отношение ширины к толщине овала (или полосы), задаваемого на ребро в ребровой овальной или квадратной калибр. Чтобы избежать асимметричного уширения, отношение это должно быть меньше 3,2 при прокатке в ребровом овальном калибре и меньше 3,3—3,4 при

прокатке в квадратном калибре. Это отношение можно также выразить как частное от деления площади на квадрат толщины овала или полосы.

При выборе системы калибров необходимо помнить, что система выпуклый овал — квадрат дает наибольшую вытяжку; система овал — выпуклый ребровой овал дает меньшую вытяжку; система полоса — ребровой овал дает наименьшую вытяжку. Эта последняя система калибровки является, вероятно, наиболее рациональной. Ее применение упрощает валковую арматуру и исключает заклинивание металла при входе в калибр. На рис. 5 можно видеть различные вытяжки в системах овал — квадрат и полоса — ребровой овал.

### Расчет секундного объема прокатываемого металла

Назовем начальным диаметр  $D_p$ , который соответствует скорости выхода полосы из валков с учетом опережения. Последнее можно определить керновым методом. Замеренные между керновыми отпечатками на остывшей полосе расстояния необходимо для случая горячей прокатки умножить на коэффициент теплового расширения, равный приблизительно 1,01. Количество металла, проходящего между валками за 1 сек, равно

$$V = \frac{\pi D_p N S}{60},$$

где  $N$  — число оборотов валков в минуту.

Чтобы можно было точно установить числа оборотов валков отдельных клеток непрерывного стана с индивидуальными двигателями исходя из постоянства объема прокатываемого металла, необходимо уметь рассчитать  $D_p$  для каждого случая прокатки.

Для определения  $D_p$  прокатали 77 образцов в условиях свободной прокатки на нагретых валках.

Условия прокатки охватывают случаи с отношением  $\delta = \frac{D_f'}{E} = \frac{D_a - e'}{E}$  (где  $e' = \frac{H + h + 2e}{4}$ , а  $H$  и  $h$  — максимальная толщина задаваемого сечения и минимальная толщина выходящего сечения в месте, где металл перестает контактировать с калибром), изменяющимся в пределах 3,54—47,95. Значение  $\lambda$  изменяется в пределах 0,324—1,703; наконец, скорость деформации при прокатке изменяется в пределах 15,05—187,3 сек<sup>-1</sup>.

Анализ результатов прокатки не позволил отдельно выявить влияние скорости деформации, качества валков, температуры прокатки в интервале 1000—1100°С и марки стали. Тем не менее

последние факторы учтены в общем, так как в расчетах использованы размеры сечений до прохода и после него.

Если известны размеры выходящего из калибра сечения, определенного замером или расчетом, достаточно знать геометрию калибра, чтобы рассчитать  $D_p$  с достаточной точностью.

Проведенные исследования охватывают следующие случаи формоизменения:

прокатка образцов квадратного или прямоугольного сечения в плоском калибре (4 образца);

прокатка образцов квадратного сечения в ромбических калибрах или образцов ромбического сечения в квадратных калибрах (6 образцов);

прокатка образцов квадратного сечения в овальных калибрах (15 образцов);

прокатка образцов овального выпуклого сечения в овальных калибрах (15 образцов);

прокатка образцов плоского или закругленного овального сечения в квадратных калибрах (11 образцов);

прокатка образцов овального сечения в овальных выпуклых или округленных калибрах (25 образцов);

прокатка образцов прямоугольного сечения в круглом калибре при обжатии 22%.

Приведем результаты, чтобы обратить внимание на важность расчета  $D_p$ . Из общего числа прокатанных образцов в 27 случаях замеренное  $D_p$  было больше расстояния между осями валков на величину до 5,6%. В этом крайнем случае прокатывался образец овального выпуклого сечения в овальном калибре при  $\delta = 25$  и обжатии 47,2%, что соответствует уменьшению сечения на 32%.

Для 13 и 27 образцов значение  $\delta$  изменялось в пределах 7,75—47 и обжатие в пределах 14—39,6%, т. е. уменьшение сечения составляло 12,3—28,3%.

### Расчет начального диаметра $D_p$

Сечения горячих образцов до прохода  $S$  и после него  $s$  определены методом взвешивания и проверены расчетом. Расчетные (средние) толщины  $E$  и  $e$  горячих образцов до прохода и после него получены делением  $S$  и  $s$  на действительные ширины, определенные замером обводки с учетом поправки на усадку металла. Также замерены с учетом поправок на усадку максимальная высота образца  $H$  перед проходом и минимальная высота  $h$  того же прутка после прохода в месте, где прокатываемый металл перестает касаться калибра. Для расчета  $D_p$

определяем следующие величины: скорректированная теоретическая толщина образца перед проходом

$$e' = \frac{H + h + 2e}{4};$$

скорректированный теоретический диаметр калибра

$$D'_f = D_a - e';$$

скорректированное обжатие

$$p' = E - e';$$

относительная ширина образца перед пропуском

$$\lambda = \frac{e}{E};$$

скорректированный относительный диаметр

$$\delta = \frac{D'_f}{E};$$

коэффициент

$$x = \frac{3h}{H}.$$

Тогда

$$D_p = D'_f + p' [f_3(\lambda) f_5(\delta) f_4(x)].$$

Функция  $f_3(\lambda)$  та же, что и при расчете уширения (см. рис. 5):

$$f_3(\lambda) = \frac{4\lambda}{3 + \lambda^2}.$$

Функция (рис. 6)

$$f_5(\delta) = \frac{4,6\delta + 5}{\delta + 25,33}.$$

Функция

$$f_4(x) = \frac{1}{3} (0,832x^3 + 0,632x + 3,462 - 0,104x^4 - 1,822x^2).$$

График функции  $f_4(x)$  является симметричным при  $x = 2$  (рис. 7).

При прокатке в плоском калибре  $h = H$ ;  $x = 3$  и  $f_4(x) = 1$ .

Следует подчеркнуть, что при прокатке готового круглого профиля измерение  $h$  затруднительно, так как место прекращения касания металла с калибром часто неопределенно. Хорошие результаты получены при расчете  $D_p$  для готового круглого калибра при пользовании упрощенной формулой

$$D_p = D_f + p [f_3(\lambda) f_2(\delta)],$$

где  $e'$  заменено на  $e$ ;  $D'_f$  заменено на  $D_f$ ;  $p'$  заменено на  $p$ .

$\delta$  принимается как при расчете уширения, но выбирается по специальной кривой  $f_5(\delta)$  на графике для расчета опережения (см. рис. 6). В результате, приведенном выше, установлена

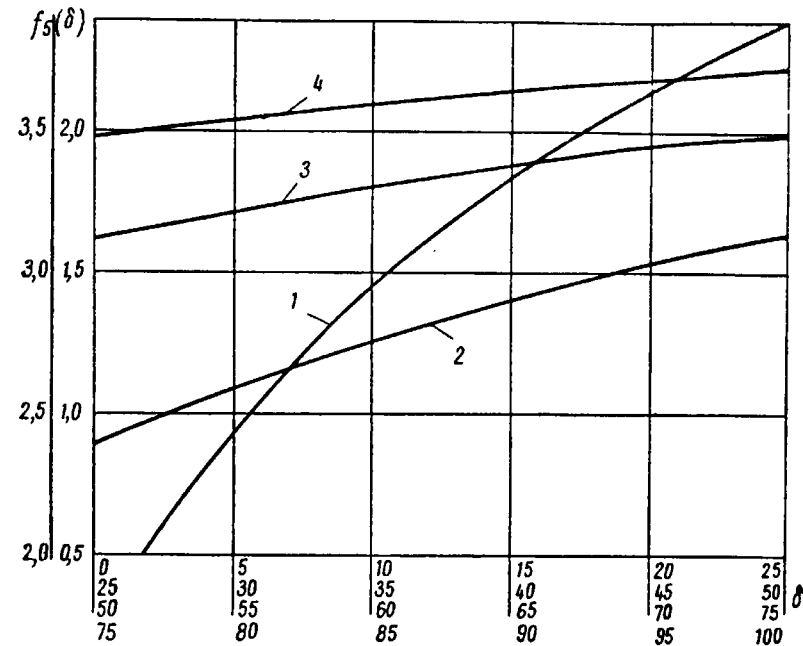


Рис. 6. Кривые  $f_5(\delta) = \frac{4,6\delta + 5}{\delta + 25,33}$  для расчета начального диаметра и опережения:

$$1 - \delta = 1,87 \div 25, f_5(\delta) = 0,5 \div 2,3843; 2 - \delta = 25 \div 50, f_5(\delta) = 2,3843 \div 3,1196; 3 - \delta = 50 \div 75, f_5(\delta) = 3,1196 \div 3,4885; 4 - \delta = 75 \div 100, f_5(\delta) = 3,4885 \div 3,7102$$

величина опережения в пределах 1,28—8,4% величины  $D_p$  или  $D_f$ . Нам не удалось связать эти значения с величинами соответствующих вытяжек.

### Примеры расчета уширения

Допустим, что прутки определенного квадратного сечения (рис. 8, а) должен быть прокатан с оптимальной вытяжкой в известном овальном калибре (рис. 8, б) и чтобы действительное обжатие не превышало половины высоты квадрата.

Исходя из ширины овального калибра можно определить максимальную ширину задаваемого прутка, прокатка которого не вызовет образования морщин. Необходимо также определить толщину овала.

Принимаем квадрат с углом при вершине  $95^\circ$  и следующими размерами в горячем состоянии: диаметр вписанного круга (сторона квадрата) равен 14,96 мм, зазор между валками равен 3 мм, высота калибра по диагонали равна 18,153 мм, ши-

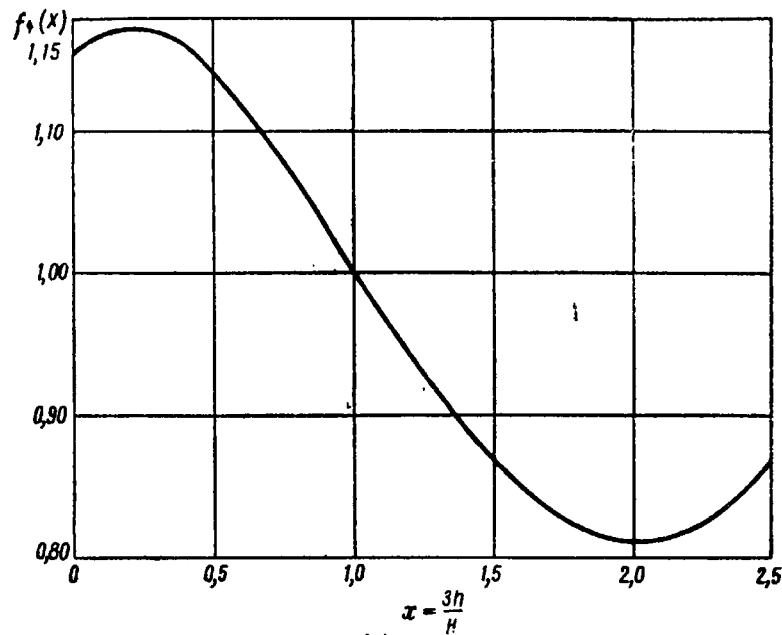


Рис. 7. График функции  $f_4(x)$  в зависимости от  $x = \frac{3h}{H}$  к расчету начального диаметра и опережения

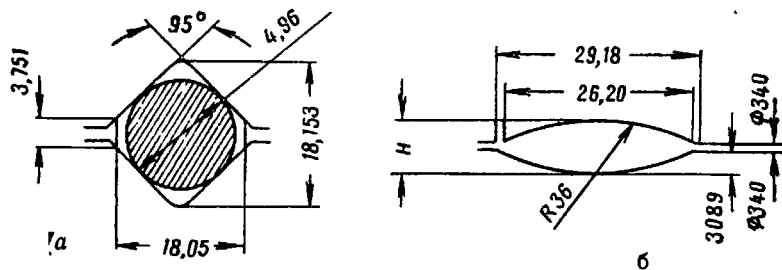


Рис. 8. Размеры двух калибров системы квадрат — овал

рина калибра равна 18,05 мм, минимальная толщина выходящего сечения в месте, где металл перестает контактировать с калибром,  $h = 3,731$  мм.

На основе этих данных рассчитываем сечение квадрата, равное 213,8328 мм<sup>2</sup>.

Расчет площади квадратного калибра (рис. 9, а) производим по формулам:

$$S = \frac{d^2}{\sin \alpha} - \left[ \frac{2}{\operatorname{tg} \alpha} - \left( \frac{\pi}{180} - \alpha \right) \right] r^2 - \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left( \frac{\alpha}{\cos \frac{\alpha}{2}} - L \right)^2;$$

$$H = \frac{d}{\sin \alpha} - r \left( \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 2 \right);$$

$$L_p = \frac{d}{\cos \frac{\alpha}{2}} - \eta \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad h = \frac{d}{\sin \frac{\alpha}{2}} - L \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$b = \frac{1}{2} L_p \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

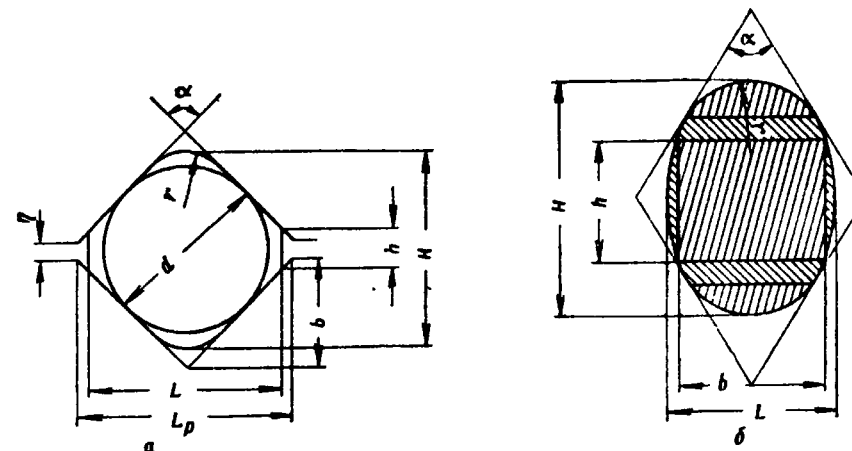


Рис. 9. Схемы к расчету площади квадратного (а) и ребрового овального (б) калибров

Расчет площади ребрового овального калибра (рис. 9, б) выполняем по формулам:

площадь двух выпуклых сегментов равна

$$r^2 \left[ \frac{\pi}{180} (180 - \alpha) - \sin \alpha \right];$$

площадь двух трапеций равна

$$\frac{b^2 - 4r^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}};$$

площадь прямоугольника  $b \times b$ , где

$$h = H + \frac{2r}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 2r - \frac{b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}};$$

площадь двух боковых сегментов равна

$$\frac{2}{3} h (L - b).$$

Общая площадь калибра равна сумме составляющих.

Ограничим заполнение овала шириной 26,2 мм. Из принятого условия, что максимальное обжатие в овальном калибре равно половине высоты квадрата, получаем обжатие, равное  $\frac{14,96}{2} = 7,48$  мм, и толщину овала  $H = 7,48$  мм. Отсюда высота подъема валков составляет 1,302 мм, а расстояние между осями валков 341,302 мм. Сечение овала составляет 153,476 мм<sup>2</sup>.

Определяем уширение. Расчетная (средняя) толщина задаваемого квадрата  $E = 14,293636$  мм.

Расчетная (средняя) толщина овала  $e = 5,857863$  мм.

Определяем

$$D_f = D_a - e = 341,302 - 5,858 = 335,444 \text{ мм};$$

$$\varphi = \frac{P}{E} = 0,590176845;$$

$$S = \frac{D_f}{E} = 23,46806649;$$

$$\lambda = \frac{l}{E} = 1,046619628.$$

По графикам (см. рис. 1—3) находим коэффициенты  $f_1(\varphi)$ ,  $f_2(\delta)$  и  $f_3(\lambda)$ . Для выбора  $f_2(\delta)$  используем кривую 3 (см. рис. 2), соответствующую случаю прокатки квадрата в выпуклом овальном калибре.

Принимаем  $k = 1,4$ . Тогда уширение

$$\Delta l = p \cdot f(\varphi) \cdot f(\delta) \cdot f(\lambda) \cdot k = 8,435773 \cdot 0,799253525 \cdot 2,12791046 \cdot 1,022236066 \cdot 1,4 = 11,702 \text{ мм}.$$

Результат этот сравниваем с заданным уширением 11,24 мм. Разница составляет 0,462 мм.

Необходимо, следовательно, повторить расчет, задаваясь меньшим обжатием. Принимаем, что толщина овала составляет 7,70 мм вместо 7,48 мм. Находим сечение нового овала, равное

\* Такая точность расчетов только делает их громоздкими и не имеет смысла. *Перев.*

159,240 мм<sup>2</sup>. Получаем размеры овала  $26,2 \times 7,70$  мм вместо  $26,2 \times 7,48$  мм и расчетную толщину  $e = 6,077863$  мм. Расчетное обжатие равно 8,215773 мм.

Новое значение

$$\varphi = \frac{8,215773}{14,293636} = 0,57478538.$$

Соответственно  $f_1(\varphi)$  составляет 0,759069043.

Определяем уширение

$$\Delta l = 8,215773 \cdot 0,759069043 \cdot 1,212791046 \cdot 1,022236066 \cdot 1,4 = 10,824 \text{ мм}.$$

Сравниваем этот результат с заданным уширением 11,24 мм. Разница равна 0,416 мм.

Располагая результатами этих расчетов, можно интерполяцией определить с большой точностью толщину, которую должен иметь овал:

$$0,462 + 0,416 = 0,878 \text{ мм}; \quad 7,70 - 7,48 = 0,22 \text{ мм};$$

$$\frac{0,22 \cdot 0,416}{0,878} = 0,104236, \text{ или после округления } 0,104 \text{ мм}.$$

Итак, следует принять овал толщиной

$$7,70 - 0,104 = 7,596 \text{ мм}.$$

Найденное уширение  $\Delta l = 11,225$  мм. Заданное уширение составляет 11,24 мм и, следовательно, недостает еще 0,015 мм.

Интерполируем:  $0,416 - 0,015 = 0,401$  мм;

$$\frac{0,104 \cdot 0,015}{0,401} = 0,00389, \text{ или после округления } 0,004 \text{ мм. Окончательно}$$

толщина овала равна  $7,596 - 0,004 = 7,592$  мм. Принимаем овал размерами  $26,2 \times 7,592$  мм;  $S = 156,41$  мм<sup>2</sup>. Округляем полученные размеры ширины овала до 7,59 или 7,60 мм.

Если мы хотим получить большую вытяжку, то необходимо выбрать другой овальный калибр, с большей шириной. Методом последовательных приближений найдем размеры калибра, обеспечивающего максимальную вытяжку.

Мгр. инж. К. РЫТЕЛЬ

(Институт металлургии железа, Гливице, ПНР)

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ

Принимаем следующие условные обозначения:

$F$ — площадь поперечного сечения профиля;	$\gamma$ — коэффициент обжатия;
$b_m$ — максимальная ширина профиля;	$\psi$ — угол развала ромба;
$h_m$ — максимальная высота профиля;	$s$ — зазор валков;
$h_s$ — средняя высота профиля;	$d$ — коэффициент погрешности, равный $\beta_{\text{действ}}/\beta_{\text{расч}}$ ;
$\delta$ — коэффициент формы, равный $b/h_s$ ;	$\omega$ — показатель степени формулы уширения;
$m$ — коэффициент заполнения прямоугольника;	$\omega_g$ — показатель степени формулы уширения при значительных обжатиях;
$\theta$ — соотношение коэффициентов формы, равное $\delta_p/\delta_0$ ;	$\epsilon_w$ — коэффициент валков, равный $h/D$ ;
$\lambda$ — коэффициент вытяжки;	$N$ — показатель степени формулы для изменения формы,
$\beta$ — » уширения;	равный $\frac{1+\omega}{1-\omega}$ .

Примечание. Индексы, применяемые в условных обозначениях, следующие:

$m$  — максимальный;  $s$  — средний;  $o$  — начальный;  $p$  — после кантовки;  $pp$  — после прохода.

### Метод калибровки

При калибровке валков применяют различные способы количественной оценки деформации. Некоторые калибровщики пользуются абсолютным обжатием по высоте (толщине) и уширением, другие — относительным обжатием и уширением, третьи — коэффициентами и т. д.

Многочисленность этих способов указывает, что наиболее оптимальное решение еще не найдено и что каждый из применяемых способов имеет свои недостатки.

Общим недостатком всех этих способов является то, что все они позволяют без затруднений выполнить только часть расче-

тов, остальные вычисления, также интересующие калибровщиков, относительно затруднены.

Стремясь устранить эти недостатки, автор предложил новый метод калибровки с использованием коэффициента формы  $\delta$  и площади сечения  $F$ . Был принят графический способ, позволяющий поместить на небольшой площади значительное количество данных и во многих случаях облегчающий выполнение расчетов.

График построен в логарифмической системе координат. На оси ординат нанесены логарифмы  $F$ , а на оси абсцисс — логарифмы  $\delta$ .

Принято, что

$$F = h_s b_m; \delta = \frac{b_m}{h_s}.$$

В логарифмической системе графики уравнений, определяющих  $F$  и  $\delta$ , являются прямыми линиями. Это позволяет дополнить логарифмическую систему координат  $F$ — $\delta$  сеткой прямых  $b_m$ — $h_s$ , каждая линия которой отвечает определенному значению  $b_m$  или  $h_s$ .

Таким образом, существуют две связанные между собой системы координат  $F$ — $\delta$  и  $b_m$ — $h_s$ . Каждому профилю соответствует в этих системах одна точка. Располагая двумя произвольными величинами из четырех ( $F$ ,  $\delta$ ,  $b$  и  $h_s$ ), можно в построенную систему вписать точку, соответствующую определенному профилю, и без каких-либо дополнительных вычислений получить по диаграмме две отсутствующие величины.

Связь между средней и максимальной высотами вытекает из принятого метода замены профиля равновеликим прямоугольником. Согласно этому методу, площадь  $F$  и ширина  $b$  равновеликого прямоугольника такие же, как у профиля<sup>1</sup>. Этот метод вызывает необходимость учитывать коэффициент  $m = \frac{h_s}{h_m}$ .

Если до кантовки было  $\delta_0$ , а после кантовки на  $90^\circ$  имеем  $\delta_p$ , то между этими величинами существует следующая связь:

$$\delta_p = \frac{b_{mp}}{h_{sp}} = \frac{h_{mo}}{b_s} = \frac{h_s}{mb_0 m} = \frac{1}{\delta_0 m^2}.$$

Если известно  $m$ , то можем «провести кантовку» и соответственно откорректировать величину  $\delta_0$ ; для этой же величины  $F$  (так как кантовка не меняет площади сечения) находим точку  $\delta_p = \frac{1}{\delta_0 m^2}$ , после чего передвигаем ее «вверх» (в сторону больших значений  $\delta$ ) на отрезок, пропорциональный  $\log m^2$ .

<sup>1</sup> Метод предложен А. Ф. Головиным, см. «Прокатка», ч. II, III, ОНТИ, 1934.





однозначно определяет соответствующие величины  $\delta$  и  $m$ , а также размерные соотношения профиля.

Если принять величину  $F$  (например, рассчитанную по калибровочному графику), то имеем уже все данные для того, чтобы вычертить форму профиля. Диаграмма (рис. 2) дает также указания, как подобрать  $m$  в зависимости не только от типа профиля, но также и от его вида (желательно ли, например, иметь более плоский овал или же более выпуклый, какой угол развала ромба применить и т. д.). Диаграмма создает также в некоторой степени условия для проверки возможности прокатки двух профилей в одном и том же калибре изменением величины  $S$ .

При известном способе подбора  $m$  становится возможным выполнение любых операций на калибровочной диаграмме типа, изображенной на рис. 1, при условии, что известны кривые деформации  $\beta$  и  $\gamma$ .

Согласно изложенному выше, кривые деформации можно рассчитать на основании любой формулы уширения. Однако известные по литературе формулы весьма многочисленны и поэтому целесообразно выбрать лучшую из них.

Выполненное Концевичем сопоставление формул уширения путем статистического приведения значений погрешностей, вытекающих из этих формул, указывает, что наименьшие погрешности дают формулы С. Экелунда, Б. П. Бахтинова, А. П. Чекмарева, М. И. Злотникова и З. Вусатовского. Дальнейший анализ позволяет выбрать наиболее подходящую из них. Анализ заключается в исследовании функции  $\beta = f(\gamma)$ .

Формулы уширения, представленные графически в системе  $\gamma - \beta$ , имеют вид кривых. В системе  $\beta - \gamma$  построена кривая  $\lambda = 1$ ;  $\beta = \frac{1}{\gamma}$ . Эта кривая разделяет систему на две области: влево от кривой (рис. 3—7) находится область  $\lambda > 1$ , а вправо — область  $\lambda < 1$ .

Исследование заключается в проверке, проходят ли графики формул через область  $\lambda < 1$ , пересекают ли ось и существует ли максимум в области  $0 < \gamma < 1$ ? Такой анализ относительно трудоемок; приведем его результаты. На рис. 3 показан график для формулы Экелунда. На оси абсцисс отложены не величины  $c = f(\beta)$ , а величины  $\beta ac = f(\beta)$ . Как следует из диаграммы, существуют такие кривые, которые проходят через область  $\lambda < 1$ . Следовательно, для определенных значений  $\varepsilon_w$ ,  $\delta$  и  $f$  по формуле получается такое большое уширение, что длина полосы должна обязательно подвергаться сокращению. Часть кривых имеет максимум в области  $0 < \gamma < 1$ . Для условий, представляемых этими кривыми, повышение обжатия выше экстремального значения вызывает понижение уширения. Таким образом, формула

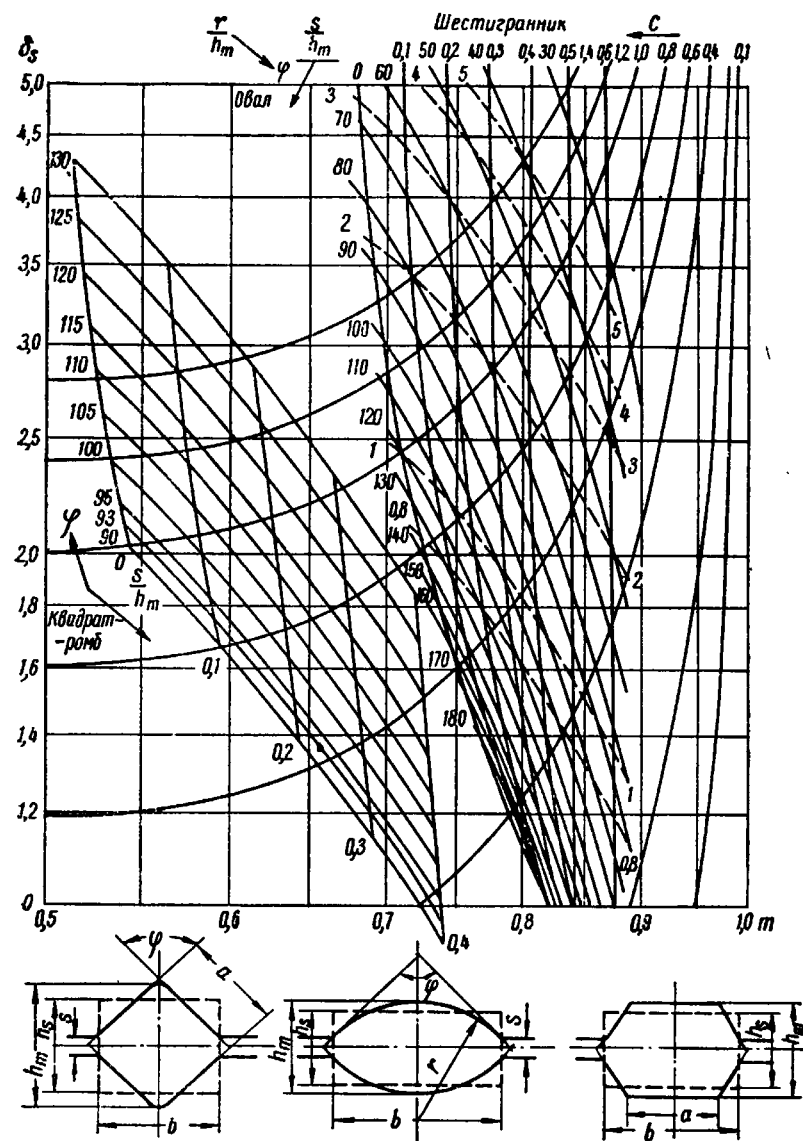


Рис. 2. Графики зависимости  $\delta_s - f(m)$  для квадратных, ромбических, овальных, шестиугольных и прямоугольных калибров



В основном для всех формул чем больше  $\delta$  и  $\varepsilon_w$ , тем меньше  $\beta$  (кривые проходят в области пониженных значений  $\beta$ ). Единственным исключением является формула Экелунда, где при значительных обжатиях (малых  $\gamma$ ) наблюдается пересечение кривых 2 и 3. Заслуживает внимания тот факт, что кривые для

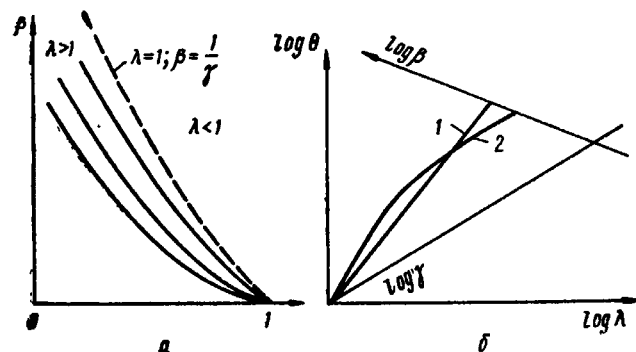


Рис. 7. График формулы уширения 3. Вусатовского в координатах:

$a - \beta - \gamma$ ;  $b - \lg \theta - \lg \lambda$  (связанных с системой  $\lg \beta - \lg \gamma$ );  
1 — расчетная кривая; 2 — действительная кривая

всех формул, за исключением формулы 3. Вусатовского, вначале (для больших  $\gamma$ ) имеют качественно одинаковый вид: сначала (выходя из точки  $\gamma = \beta = \lambda = 1$ ) кривые отклоняются в сторону

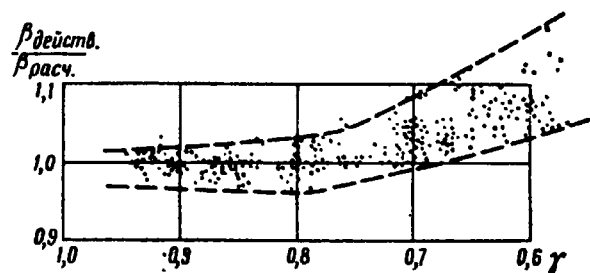


Рис. 8. Результаты исследований уширения при прокатке стали (по данным 3. Вусатовского и Кривульта)

высоких значений  $\beta$ . Кривые А. П. Чекмарева проходят, таким образом, по всей области, представленной на рис. 9. Остальные кривые С. Экелунда, Б. П. Бахтинова и М. И. Злотникова в определенном месте имеют точку перегиба и отклоняются в сторону меньших величин  $\beta$ . Кривые С. Экелунда для меньших значений  $\beta$  отклоняются сильнее, чем для больших (что вызывает взаимное пересечение).

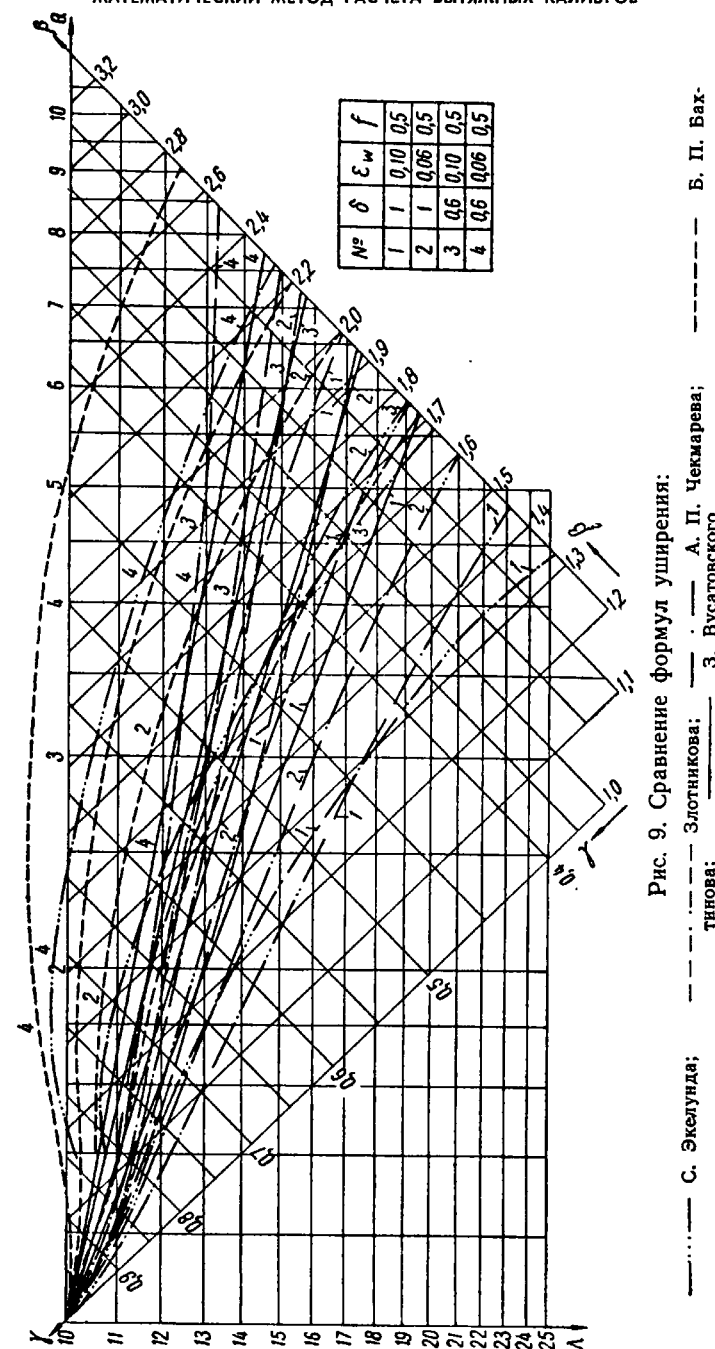


Рис. 9. Сравнение формул уширения:

— С. Экелунда;

--- Злотникова;

— А. П. Чекмарева;

--- Б. П. Бахтинова;

— 3. Вусатовского

Наименьшие значения дает формула Злотникова. Формула 3. Вусатовского дает в общем несколько большие значения, затем следуют (в порядке повышения значений) формулы Чекмарева и Бахтинова. Формула Экелунда охватывает всю область, не давая однако таких больших значений, как формула Бахтинова.

Графики формулы 3. Вусатовского в принятой системе являются прямыми линиями. Следует заметить, что для принятых значений  $\delta = 1$  и  $\varepsilon_w = 0,1$ , а также  $f = 0,5$  как формула Экелунда, так и в большей степени формула Бахтинова дают графики, проходящие через область  $\lambda < 1$ .

Из анализа формулы 3. Вусатовского следует, что форма кривой в логарифмической системе  $\lambda - \theta$  в большей степени согласуется с действительностью. Формулы Экелунда и Бахтинова для часто встречаемых значений  $\delta$  и  $\varepsilon_w$  выходят за пределы области  $\lambda > 1$ . Формула Злотникова дает слишком узкий предел значений (кривые слишком сосредоточены по отношению к кривым других формул).

Кроме того, формулы Экелунда и Бахтинова по своей структуре непригодны для дальнейших математических превращений и расчетов. Формулы Чекмарева и Злотникова также мало пригодны для превращений; первая ввиду того, что  $\gamma$  содержится также и в показателе степени, а вторая вследствие неудобного сочетания  $2\varepsilon_w - 1 + \gamma$ . Учитывая эти трудности, в дальнейшем рассмотрим формулу 3. Вусатовского, несмотря на ее несовершенство.

Таким образом, изложенное выше позволяет представить калибровку в логарифмической системе  $F - \delta$  и использовать формулы уширения при расчетах, производимых в этой системе.

На рис. 10 и 11 приведены диаграммы для типичных, часто применяемых систем калибровки (квадрат — овал; овал — круг; квадрат — ромб; квадрат — овал — круг; овал — овал; ромб — ромб), ящичных калибров и для калибровки полосового железа.

При проектировании калибровки для полосового железа использованы так называемые «кривые естественного уширения»; это графики формоизменения полосового железа, прокатываемого из квадратной заготовки в валках постоянного диаметра.

Принята предпосылка, что суммарное уширение для определенного суммарного обжатия при изменении числа проходов изменяется незначительно и этим изменением практически можно пренебречь. Такие кривые можно построить на основании опытов; в нашем случае эти кривые были рассчитаны по формуле 3. Вусатовского при  $\gamma = 0,7$  и приведены на рис. 12. Следует обратить внимание, что значение  $\delta$  для некоторых профилей (квад-

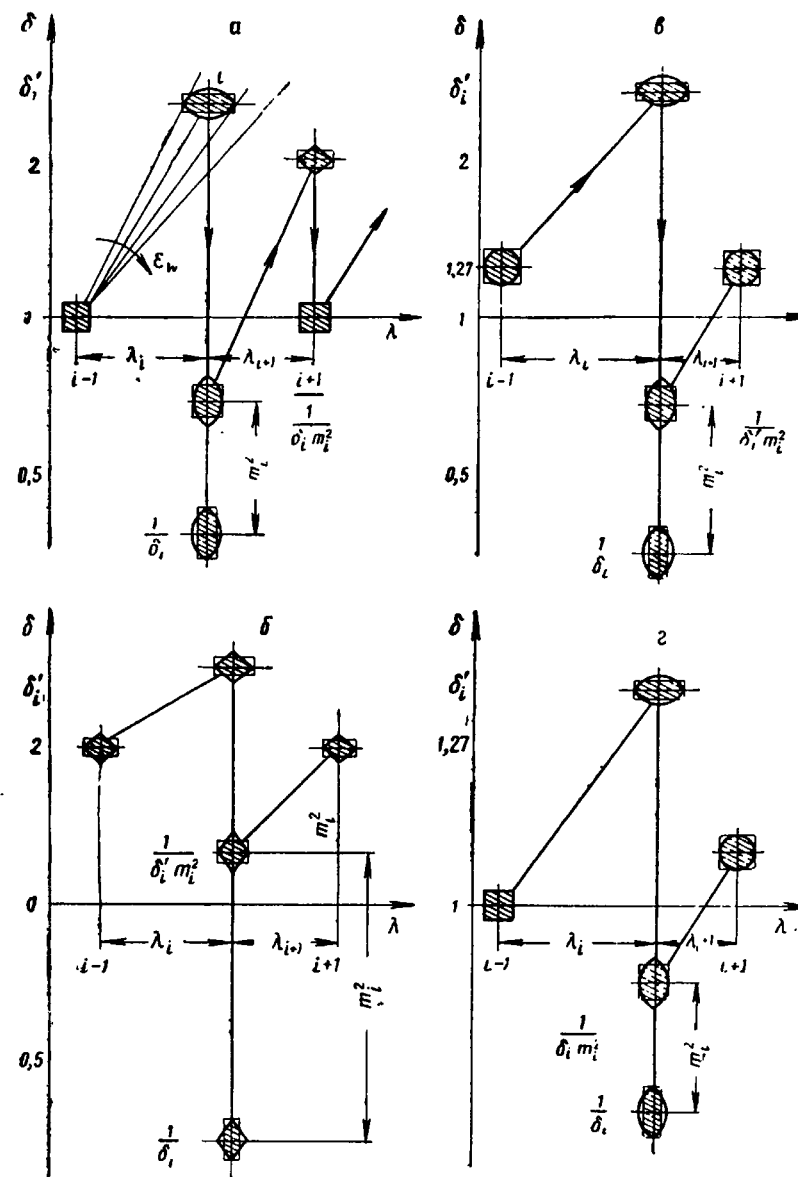


Рис. 10. Графики смежных калибров разных систем:  
а — квадрат — овал — квадрат; б — квадрат — ромб — квадрат;  
в — овал — круг — овал; г — квадрат — овал — круг

рат — круг) определили в относительно узких пределах, но для других профилей их можно подбирать в широких пределах.

Если имеем два данных профиля (входной и выходной) и проектируем другие промежуточные профили, то для одного промежуточного сечения существует только одно решение, т. е.

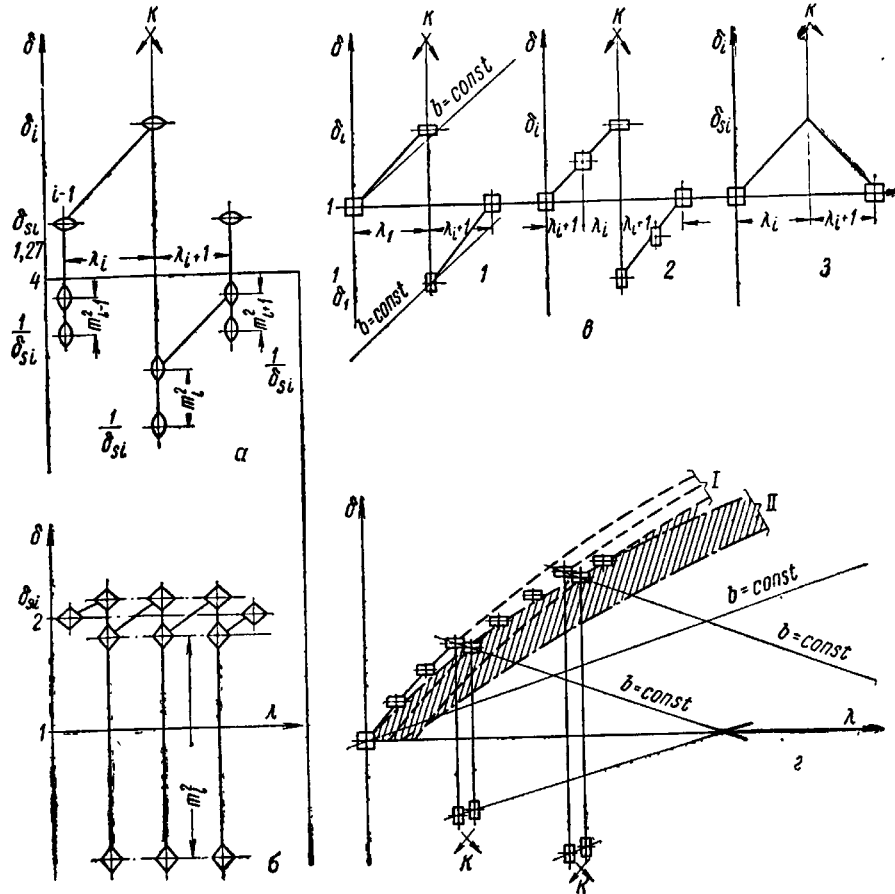


Рис. 11. Графики, характеризующие прокатку профилей:

а — по системе овал — овал; б — по системе ромб — ромб; в — в ящичных калибрах; г — квадрат за два прохода; д — квадрат за четыре прохода; е — схема расположения линий кантования (К); ж — по системе квадрат — прямоугольник из данного квадрата в логарифмических координатах  $\delta - \lambda$ ; з — кривая свободного уширения; и — область прокатки прямоугольников из данного квадрата

это сечение является строго определенным. Однако для большего количества проходов существует некоторая свобода выбора промежуточных сечений.

На основании закона постоянства объема формулу уширения

$$\beta_i = \gamma_i^{-w_i}$$

можно преобразовать следующим образом:

$$\theta_i = \lambda_i^{\frac{1+w_i}{1-w_i}} = \lambda_i H_i.$$

Формула уширения позволяет рассчитать размеры искомого профиля на основании размеров определенного данного профиля.

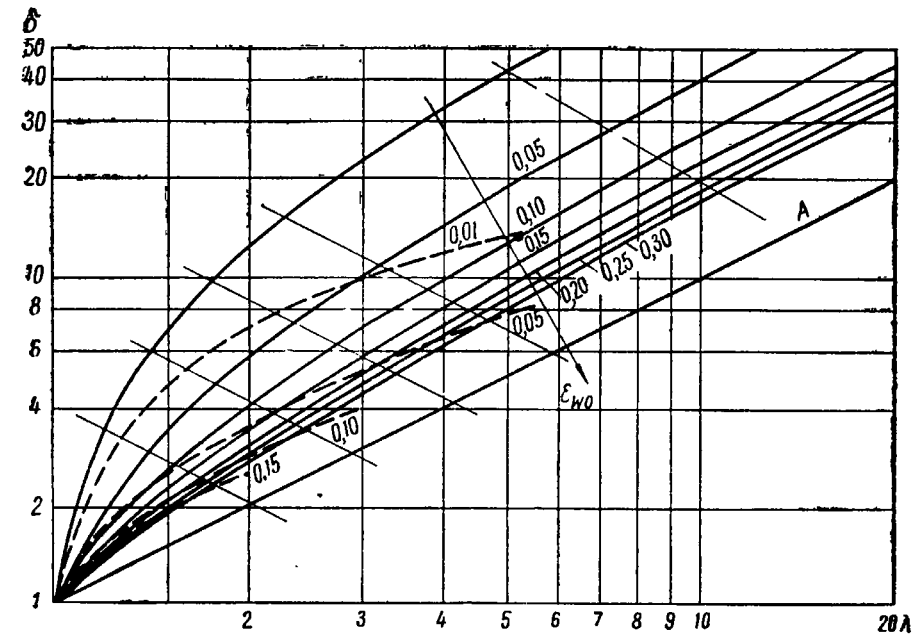


Рис. 12. Зависимость  $\delta$  от  $\lambda$  и  $\epsilon$  при прокатке полосы из квадрата на гладкой бочке за несколько проходов.  
А — прироста уширения не наблюдается

Для следующего прохода

$$\theta_{i+1} = \lambda_{i+1}^{H_{i+1}}.$$

Между  $\theta_i$  и  $\theta_{i+1}$  существует зависимость, так как эти обе величины содержат  $\delta_i$ :

$$\theta = \frac{\delta_{ppi}}{\delta_{oi}}; \quad \theta_{i+1} = \frac{\delta_{ppi+1}}{\delta_{oi+1}}.$$

Если после  $i$ -того прохода нет кантовки, то

$$\delta_{ppi} = \delta_{oi+1}.$$

В случае кантовки существует следующая зависимость:

$$\delta_{oi+1} = \frac{1}{\delta_{ppi} m_i^2},$$

связывающая два прохода. После подстановки получаем

$$\lambda_{i+1} = (\delta_{oi} \delta_{ppi+1} m_i^{2\lambda_i H_i})^{\frac{1}{H_{i+1}}}.$$

Это уравнение можно решить, применяя формулу для  $w$ . Пользуясь формулой З. Вусатовского, после соответствующих подстановок получаем зависимость

$$w_{i+1} = w_i \left( \delta_{oi}^{-1,444} m_i^{-1,444} \lambda_i^{\frac{1+0,444w_i}{w_i-1}} \right).$$

Итак, мы получили формулу для  $\lambda_{i+1}$  как функцию  $\delta_{oi}$ ,  $\delta_{ppi+1}$ ,  $m_i$ ,  $w_i$  и  $\lambda_i$  для системы, состоящей из двух проходов. Это уравнение довольно трудно решить и поэтому рекомендуется применять графические методы. Кроме того, существуют диаграммы, разработанные на основании этой формулы, позволяющие рассчитать  $\lambda_{i+1}$  для определенной системы калибровки. Формулу можно использовать при вычислениях, выполняемых цифровыми машинами, где трудоемкость расчетов не является проблемой. Формула, связывающая ряд проходов, имеет вид:

$$\delta_n = \delta_0^{(-1)^n} \cdot \lambda_i^{w_i(-1)^{n-1}} \cdot m_i^{2(-1)^{n-1}} \prod_0^n.$$

Эта формула не имеет практического применения вследствие ее сложности. Однако она указывает, что этот метод калибровки может быть представлен как графически, так и аналитически.

С момента, когда мы установили величины каждого второго сечения в определенном ряде калибров, а также схему проходов, калибровка сводится к выполнению определенных расчетов.

Промежуточные сечения следует подбирать так, чтобы они имели оптимальные формы для требуемой готовой продукции прокатного цеха. Следует также стремиться к более равномерному распределению вытяжки, учитывая различные типы калибров. Здесь играет роль также влияние схемы расположения прокатного стана, необходимость группировки проходов по клетям, сортамент продукции и т. п. К сожалению, эти факторы не удалось пока математически учесть в формулах.

### Литература

1. Материалы по теории прокатки, т. IV, Металлургиздат, 1948, стр. 140—142.
2. Б. П. Бахтинов. Сталь, 1950, № 6, стр. 527.
3. А. П. Чекарев. Уширение при прокатке. Труды Днепропетровского металлургического института, вып. 12, Металлургиздат, 1948.
4. М. И. Злотников. Металлург, 1934, № 6, стр. 102—109.
5. Материалы по теории прокатки, т. V. Металлургиздат, 1960, стр. 458—466, 481—484.

Инж. Э. НОРЛИНД

(Фирма «Моргардсхаммар», Швеция)

## ШВЕДСКИЕ МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Когда 30 лет назад автор начал работать в прокатном цехе, качество проволоки для клапанных пружин было неудовлетворительным из-за рисок, вызванных местными односторонними переполнениями как в овальных, так и в квадратных вытяжных калибрах. Прокатный стан был оснащен роликовыми подшипниками и обычными кулачковыми муфтами и поэтому причиной пороков считали осевые перемещения, вызванные муфтами. Однако контроль, произведенный на токарном станке при помощи миниметра с зубчатой передачей, приложенного к обточенному ручью, показал, что он не перпендикулярен к оси вала и имеет отклонение на несколько десятых долей миллиметра. После устранения этого значительно снизилось количество рисок на готовой проволоке.

В дальнейшем еще несколько раз наблюдали валки с косоврезанными ручьями. Замерили вытяжной квадрат, приведенный на рис. 1. Результаты замеров представлены в виде кривых, показывающих неравенство сторон квадрата. Косоврезанный калибр не позволял правильно настроить валки. Обнаружение косоврезанных калибров на стане затруднительно. Следует применять контроль расточки калибров при помощи миниметра, позволяющего установить действительную «косину» калибра. В прокатных цехах на это обычно не обращают внимания, приписывая дефекты на прокатке осевому сдвигу валков, неправильной установке линеек или осевым перемещениям валков, вызванным муфтами.

Проволочный прокатный стан состоит из двух черновых клеток 450, снабженных роликовыми подшипниками, и группы из семи клеток 220 с роликовыми подшипниками и приводом при помощи системы Кремера. Для передачи квадратов применили обводки, а овалы передавали вручную. Квадратные заготовки  $87 \times 87$  мм и массой 60 кг прокатывали в двух ящичных калиб-

рах, затем в «толстом» и «тонком» овалах и далее в калибрах системы квадрат — овал. Предчистовой овал за время прохода осаживали на 0,2 мм для компенсации пружины клетки от значительного падения температуры до 750—700°С на задних концах полосы.

Получение проволоки без царапин составляло известное затруднение. Во избежание лампасов следовало увеличить радиу-

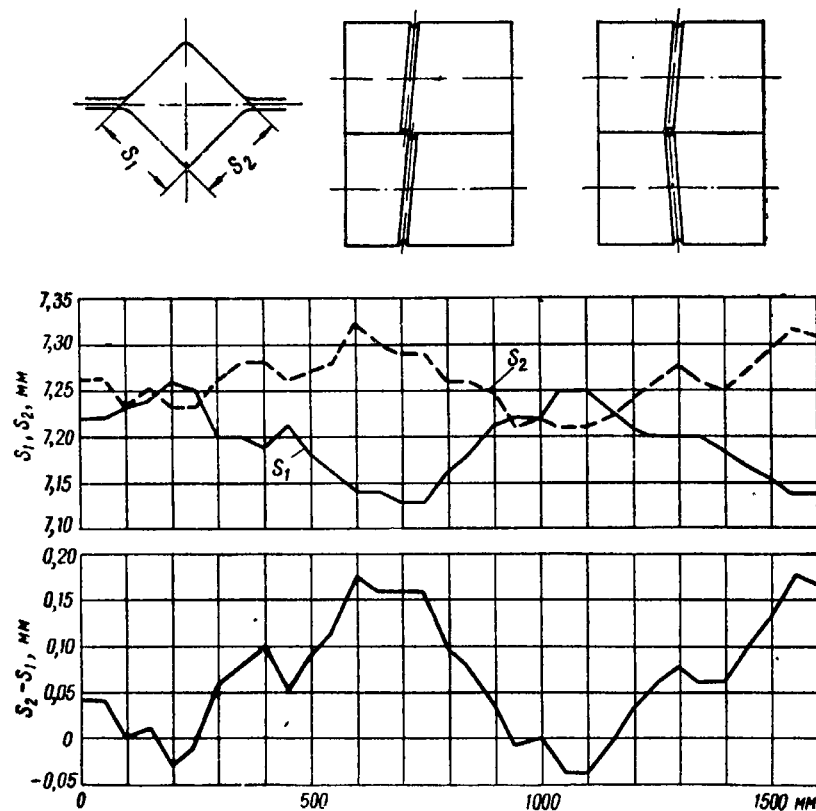


Рис. 1. Косой врез ручьев и разность сторон квадрата

сы вытяжных овалов. Появление морщин можно предупредить более частой сменой калибров. Для получения проката без поверхностных дефектов необходимо было повысить конечную температуру прокатки.

Шведские проволочные и сортовые прокатные станы для легированных сталей, построенные или реконструируемые в последнем двадцатилетии, с производительностью 10000—100000 т в год предусматривают прокатку кругов диаметром 5 ÷

÷ 100 мм и соответствующие квадраты, шестигранники, восьмигранники и полосы шириной до 200—250 мм.

Учитывая разнообразие марок сталей, стремились к разработке калибровки, позволяющей без специальной перевалки валков прокатывать автоматные, углеродистые, коррозионно-

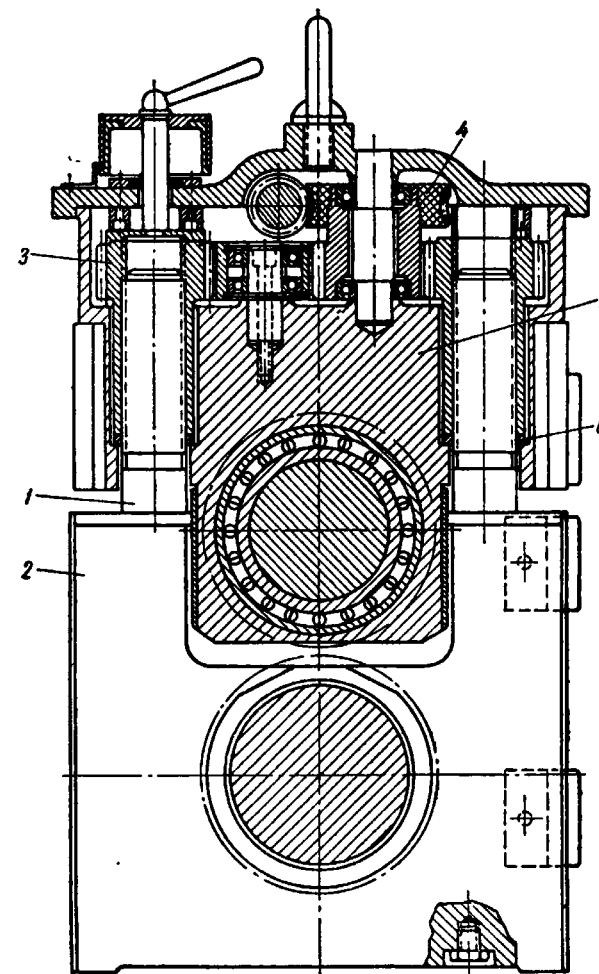


Рис. 2. Шведская прецизионная клетка ненапряженного типа (Моргардсхаммар)

стойкие (нержавеющие), инструментальные, быстрорежущие и жаростойкие стали.

Возможность прокатки по одной калибровке сталей разных марок с различным уширением и обжатием объясняется специальной конструкцией рабочих клеток (рис. 2) стана. Нажим-

ные винты клетей имеют точную установку, давление воспринимают роликовые подшипники и передают на винты. Жесткость клетки и малый прогиб коротких валков позволяют иметь весьма малую деформацию (пружину) ее при прокатке. Регулирование зазора между валками производится установочным механизмом, состоящим из неподвижных винтов 1, выполненных как одно целое с подушками 2, и нажимных гаек 3, вращение которых осуществляется с помощью комбинированного редуктора 4 вручную. Усилие прокатки, воспринимаемое верхними подушками 5, передается на нажимные гайки через опорные кольца 6.

Исследование пружинения валков прокатных клетей различной конструкции (табл. 1), произведенное Валквистом и Геди-

ТАБЛИЦА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУЖИНЕНИЯ КЛЕТЕЙ  
РАЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Давление прокатки кн (тс)	Общая «пружина» клетки, мм		
	устаревшей с пласт- массовыми подшипни- ками ( $D = 300$ мм, $L = 550$ мм)	устаревшей <sup>1</sup> с ролико- выми подшипниками ( $D = 281$ мм, $L = 300$ мм)	новой <sup>1</sup> с роликовыми подшипниками ( $D = 282$ мм, $L = 314$ мм)
25 2,5	0,27	0,20	0,14
50 5,0	0,40	0,28	0,175
75 7,5	0,51	0,35	0,19
100 10	0,60	0,41	0,215
150 15	0,76	0,52	0,24
200 20	0,90	0,62	0,27

<sup>1</sup> Пружина по опытам Валквиста и Гедина.

ным, показало, что если в определенном проходе давление валков при прокатке углеродистой стали составляет, например, 98 кН (10 тс), то при прокатке легированной стали оно будет составлять около 196 кН (20 тс). На клетки обычной конструкции, оснащенной роликовыми подшипниками, разница в прогибах составляет 0,21 мм, а для новой конструкции 0,055 мм и нет необходимости в ее компенсации изменением настройки валков.

Шведские станы имеют черновые клетки трио со скоростью прокатки 1,8—3,6 м/сек. С определенного сечения металл по обводке передается в следующую клетку. Дальнейшая прокатка ведется в обводках. На мелкосортных и проволочных станах диаметры валков и число их оборотов подбирают так, чтобы прирост петли не происходил или был очень небольшим. Примеры расположения шведских станов и схемы прокатки на них показаны на рис. 3—5.

Для получения надежного захвата при прокатке автоматной и высоколегированной стали необходимы небольшие окружные скорости черновых клетей, которые нежелательны для обычных углеродистых сталей. Калибровка должна также учитывать возможные колебания уширения, вызванные различными температурами прокатки.

После освоения прокатки с применением обводных аппаратов на прокатных станах трио и переменное дуо как в вытяжных

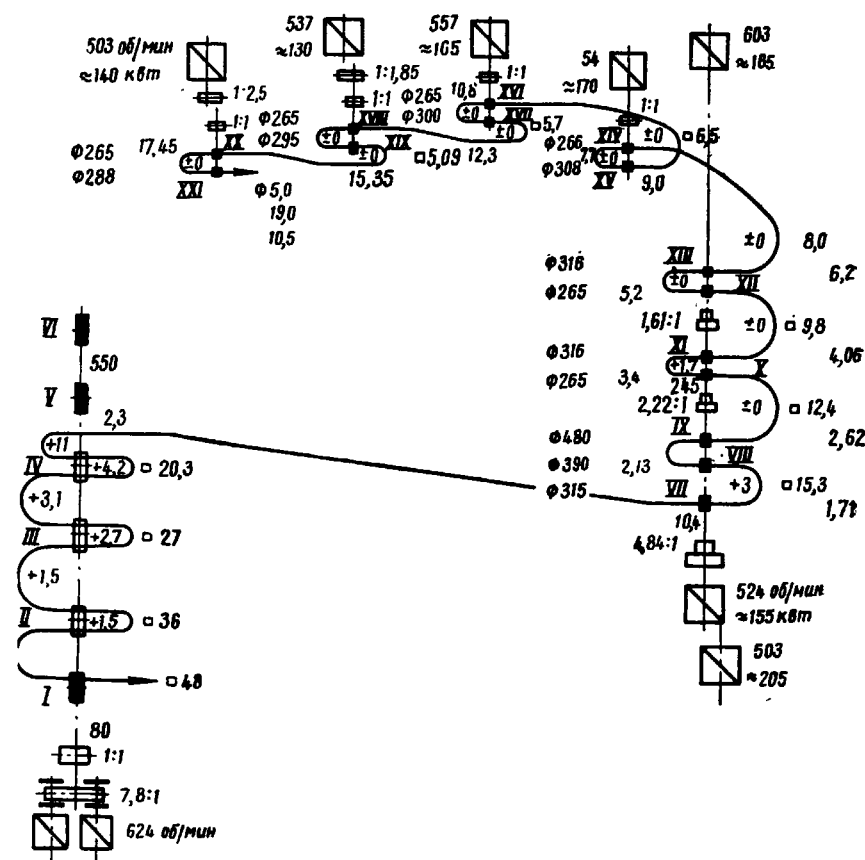


Рис. 3. Расположение комбинированного сортопроволочного стана и схема прокатки катанки диаметром 5 мм (здесь и на последующих рисунках указаны диаметры валков, скорости прокатки, сечения полосы и величина петли)

овалах, так и предчистовых была создана полностью автоматизированная прокатка мелких профилей и катанки из твердых сталей. Однако прокатка в черновых обжимных клетях не является еще совершенной.





бенно твердых сплавов выравнивание поверхности можно осуществить прокаткой в ящичных калибрах.

Черновая прокатка в ящичных калибрах с применением кантовочных досок представлена на рис. 7. Полученные квадраты передают в следующую клет, где вручную в диагональных калибрах прокатывают до необходимого размера и передают в универсальную систему калибров для получения готового профиля.

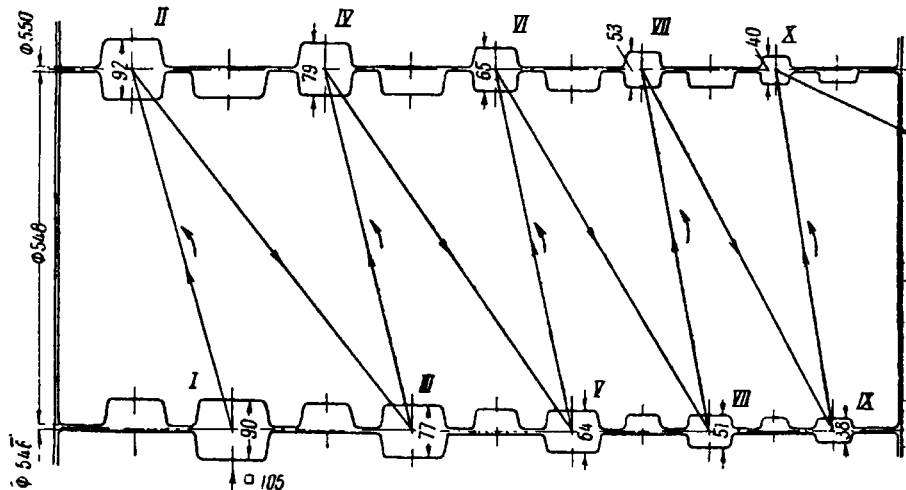


Рис. 7. Черновые валки с прямоугольными калибрами

Применение ручного труда — это мера предосторожности для сталей, имеющих склонность к изгибу, вызывающему затруднения при автоматической черновой прокатке в ящичных калибрах.

В последнее время применяют качающуюся прокатную клет. Это клет трио, в которой давление прокатки воспринимается подшипниками. Установка клетки в осевом и вертикальном направлениях осуществляется при помощи направляющих станин. Масса клетки, равная 22 т, уравновешена. Подъем и опускание клетки осуществляются от двигателя при помощи передачи в течение 1,7 сек.

За четыре прохода блюмы  $115 \times 115 \times 1080$  мм прокатывают в заготовки  $78 \times 78$  мм. Ролики рольганга имеют напротив калибров вырезы, соответствующие профилю раската, а пневматические рычаги передвигают полосу к следующей линии вырезов на роликах рольганга. Из квадрата стороной 78 мм прокаткой через два овала получают квадрат стороной 50 мм, овал и квадрат стороной 34 мм, после чего раскат передают к ножницам для обрезки концов, а затем на мелкосортный стан.

Процесс прокатки управляется двумя фотоэлементами. Когда конец раската проходит мимо фотоэлемента, установленного позади клетки, наступает реверс роликов рольганга, подъем или опускание клетки, кантовка проката и его введение в следующий калибр. Нормальную работу клетки нарушает окалина и неравномерный нагрев металла, в результате чего происходит искривление раската в первых проходах.

Такой метод прокатки имеет преимущества по сравнению с автоматической прокаткой в ящичных калибрах, где искривленный раскат может застрять в линейках, откуда лишь со значительными трудностями можно его освободить. По сравнению с реверсивной клетью дуо качающаяся клет трио обладает тем достоинством, что имеется достаточно места для размещения вводных и выводных проводок и можно применять трехфазные электродвигатели для прокатки предпочтительно с двумя скоростями (1,8 и 3,6 м/сек). По сравнению с клетью трио с качающимися столами здесь прокат получается более ровный. Можно также установить шлепперы, кантователи и другие вспомогательные устройства.

Очевидно, применение качающейся клетки трио позволит осуществить механизацию и автоматизацию процесса прокатки на рельсобалочных и среднесортных станах.

### Прокатка крупного и среднего сорта

Черновая прокатка крупного и среднего сорта осуществляется в первой клет в обычных диагональных калибрах с двумя проходами для удаления окалины (рис. 8). Затем заготовку передают к последним клетям среднесортной линии. При прокатке на этой линии получается столько окалины, что перед предчистовым овалом также следует применить два прохода для удаления ее (рис. 9, 10). Предчистовые овалы должны иметь яйцевидную форму. Для очень больших размеров кругов применяют также калибры, показанные на рис. 11.

### Вытяжная система калибровки

При прокатке с обводными аппаратами на шведских станах, прокатывающих легированные стали, применяют преимущественно калибровку системы квадрат — овал. Однако в отдельных случаях для уменьшения обжатия овал заменяют ромбом, а квадрат кругом.

Применение системы овал — круг для новых станков с особенно высокими требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности проката, является дискуссионным. Столь высокие требо-



ности проката повысили до такой степени, что нет необходимости в контроле его.

Прокатка при помощи обводных аппаратов начинается с овала после квадрата стороной 48 мм (рис. 12). Чтобы длина прутка была достаточна для передачи из I во II клетку, требуется заготовка массой 120 кг. При заготовках меньшей массы (до 70 кг) прокатка с обводными аппаратами может быть начата лишь после квадрата стороной 36 мм.

Если масса заготовки составляет не менее 200 кг, то можно начать прокатку в обводках с овала перед квадратом стороной

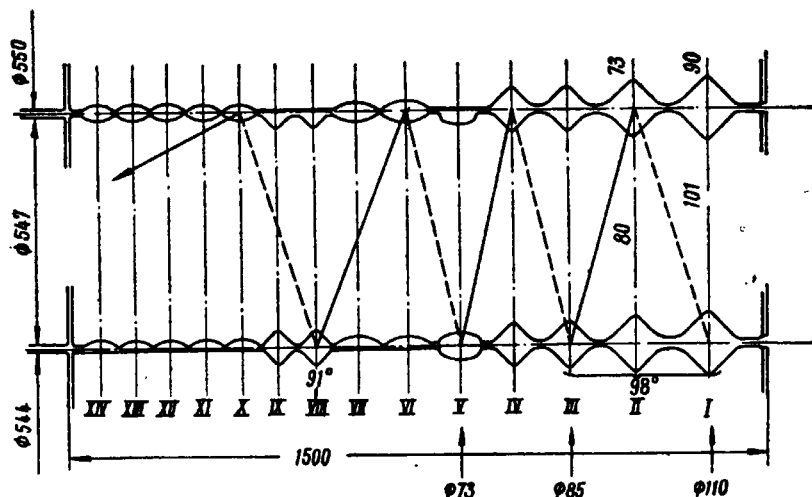


Рис. 12. Валки с вытяжной системой калибровки

45 мм, но тогда для предотвращения возможности возникновения риска на обводном аппарате следует установить направляющие ролики. Прокатка с обводным аппаратом должна, как правило, начинаться возможно раньше во избежание значительного перепада температуры. Кроме того, необходимо стремиться к прокатке с возможно большими скоростями в черновых клетях. Однако при прокатке катанки диаметром 5—5,9 мм это невозможно, так как прирост петли при переходе на мелкосортный стан получается слишком большим.

Прирост петли и разница температур при прокатке заготовки 110 × 110 мм массой 194 кг из стали с содержанием 0,60% С в круглый профиль диаметром 5,5 мм показаны на рис. 13. Различия температур переднего и заднего концов, составляющее на VIII клетке 75° С, уже после пяти проходов (клетка XII) снизилось до 30° С, а в последнем проходе (клетка XXII) при скорости 19,4 м/сек — до 20° С. С повышением скорости конца прокатки

уменьшается прирост петли после промежуточной линии и тем самым уменьшается различие температуры концов прутка.

На рис. 14 показаны продолжительность и температура конца прутка при прокатке профиля диаметром 7 мм из заготовки массой 150 кг нержавеющей стали, содержащей 18% Сг и 12%

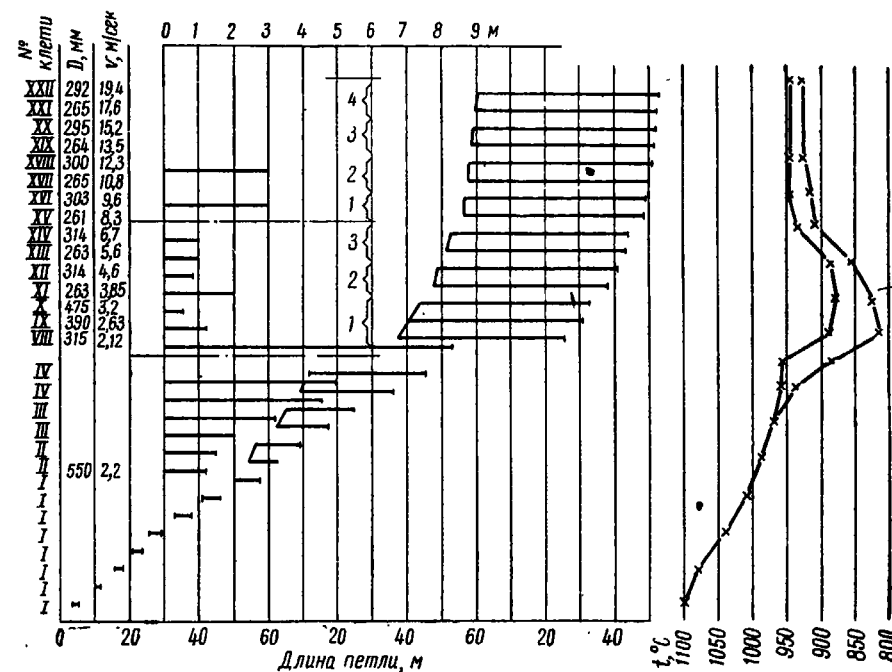


Рис. 13. Прирост петли и температура прокатки катанки диаметром 5,5 мм

(Ni + Mo), с конечной скоростью прокатки 19,1 м/сек. Температура чистового прохода составляет около 1000° С. В последних клетках наблюдается не падение, а прирост температуры от тепла деформации.

До сих пор для получения квадратов промежуточных размеров применяли одну или две системы калибров, не используемых для прокатки катанки диаметром 5 и 5,5 мм. Лучшие условия прокатки можно получить, если последний квадрат заменить круглым сечением. Последний вытяжной овал заменяют вытяжным ромбом. Изменением угла вершины калибра можно регулировать обжатие.

При прокатке профилей диаметром 12—28 мм XIII клетка, в которой прокатывают предчистовой овал, имеет привод от одного электродвигателя, а чистовая — от другого, так что предчистовой

овал всегда остается в обводке и не подвергается выбросу. Петля колеблется в пределах 150—200 мм и не требуется применения автоматического регулирования. Таким образом можно прокатывать даже очень твердые легированные стали. Существует, однако, опасность, что острый передний конец прутка может повредить обводку, так как расстояние до нее составляет около 1 м.

Профили диаметром до 34 мм прокатывают так, что предчистовой овал из III клетки направляют обводным аппаратом меж-

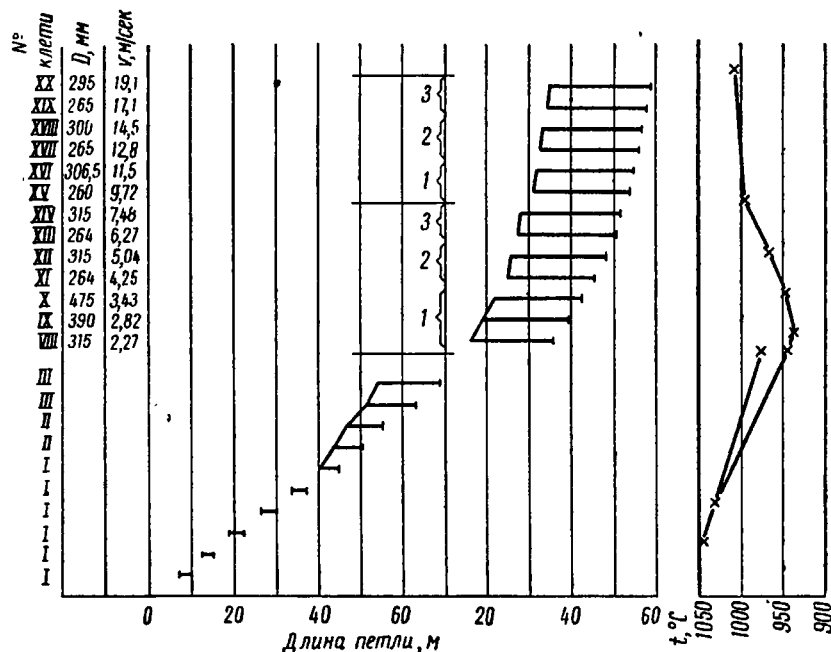


Рис. 14. Прирост петли и температура прокатки круглого профиля диаметром 7 мм

ду раздвинутыми валками IV клетки к роликам, задающим в XIV клетку. Передний конец полосы кантуется вальцовщиком.

Среднесортная линия трио используется как вытяжная для прокатки мелкого сорта. Полученный в ней овал или квадрат направляют на мелкосортный стан. Оба сечения одинаково пригодны, однако, поскольку поверхность овала больше поверхности квадрата этого же сечения, последний охлаждается меньше.

Перенос проходов со среднесортного стана с валками диаметром 470—550 мм на мелкосортный стан с валками диаметром 290—420 мм вызывает изменения обжатия и уширения, что в свою очередь приводит к изменению размеров калибров. В свя-

зи с этим приведенные на рис. 15 кривые, показывающие размеры смежных квадратов, которые следует подбирать для твердых и мягких сталей, могут служить лишь для ориентировочного выбора.

Таким образом, для получения изделий без рисок и с учетом выбора выгодного интервала времени до смены калибров наши методы калибровки валков направлены на изыскание оптимальных обжатий в каждом проходе и наиболее рациональных соотношений между толщиной и шириной овалов.

Произведенная стандартизация квадратных и овальных калибров представлена в табл. 2 и 3. Один и тот же режущий инст-

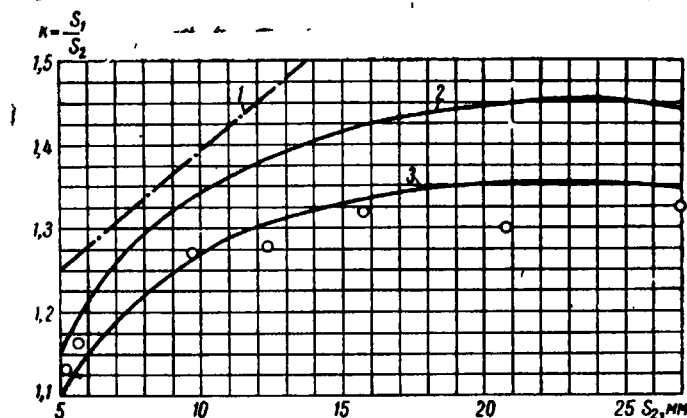


Рис. 15. График для выбора смежных квадратов при прокатке мягких (1), средних (2) и твердых (3) сталей

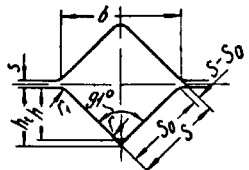
румент можно использовать для изготовления чистовых калибров и вытяжных овалов. Стандартизованы углы развала: 55, 60, 65...110°. Так как овалы с одинаковыми углами развала имеют ту же форму, можно легко рассчитать сечение, например  $0,0557 \cdot D^2$  для угла развала 75° при зазоре между валками, равном нулю. По соотношению диаметра и угла развала можно установить, является ли данный овал толстым или тонким относительно других овалов.

При прокатке легированных сталей радиус вытяжного овала должен быть минимальным, чтобы калибр мог вырабатываться до момента появления рисок вследствие закатов. Ни в коем случае калибр не должен быть переполнен. Это следует особенно соблюдать при прокатке в обводках крупных квадратов, так как усилия, вызываемые изгибом квадратов в обводке, стремятся переместить его на одну или другую сторону овального калибра. В некоторых случаях применяют также овалы с выпусками по касательной к дуге овала (рис. 16). До сих пор их применяли

ТАБЛИЦА 2. СТАНДАРТНЫЕ РАЗМЕРЫ КВАДРАТОВ, мм

$S = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5;$   
 $3,0; 3,5; 4,0; 5,0;$

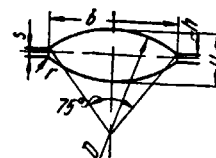
$S - S_0 \quad 0,71; 1,07; 1,43; 1,78;$   
 $2,14; 2,50; 2,85; 3,57;$



Номер стандартного квадрата	$S_0$	$b$	$h$	$h_t$	$r$	$r_1$	Площадь при $s = 0$
21	2,50	3,56	1,55	1,75	0,5	0,5	5,8
22	2,75	3,92	1,73	1,93	0,5	0,5	7,1
23	3,00	4,28	1,90	2,10	0,5	0,5	8,6
24	3,25	4,64	2,08	2,28	0,5	0,5	10,1
25	3,50	4,99	2,05	2,45	1,0	0,5	11,4
26	3,75	5,35	2,23	2,63	1,0	0,5	13,2
27	4,00	5,71	2,40	2,80	1,0	0,5	15,1
28	4,25	6,06	2,58	2,98	1,0	0,5	17,2
29	4,50	6,42	2,75	3,15	1,0	0,5	19,4
210	4,75	6,78	2,73	3,33	1,5	0,5	20,6
211	5,00	7,13	2,91	3,51	1,5	0,5	23,1
212	5,25	7,49	3,08	3,68	1,5	0,5	25,6
213	5,50	7,85	3,26	3,86	1,5	0,5	28,3
214	5,75	8,20	3,43	4,03	1,5	0,5	31,1
215	6,00	8,56	3,61	4,21	1,5	0,5	34,1
216	6,25	8,92	3,78	4,38	1,5	0,5	37,1
217	6,50	9,27	3,96	4,56	1,5	0,5	40,3
218	7,00	9,99	4,11	4,91	2,0	1,0	45,6
219	7,50	10,70	4,46	5,26	2,0	1,0	52,8
220	8,00	11,41	4,81	5,61	2,0	1,0	60,6
221	8,50	12,13	5,16	5,96	2,0	1,0	68,8
222	9,00	12,84	5,51	6,31	2,0	1,0	77,6
223	9,50	13,55	5,86	6,66	2,0	1,0	86,8
224	10,00	14,27	5,80	7,01	3,0	1,5	92,3
225	10,50	14,98	6,15	7,36	3,0	1,5	102,5
226	11,00	15,69	6,50	7,71	3,0	1,5	113,3
227	11,50	16,40	6,85	8,06	3,0	1,5	124,5
228	12,00	17,12	7,20	8,41	3,0	1,5	136,3
229	12,50	17,83	7,55	8,76	3,0	1,5	148,5
230	13,00	18,54	7,90	9,11	3,0	1,5	161,3
231	13,50	19,26	8,25	9,46	3,0	1,5	174,5
232	14,00	19,97	8,60	9,81	3,0	1,5	188,3
233	14,50	20,68	8,95	10,16	3,0	1,5	202,5
234	15,00	21,40	9,30	10,51	3,0	1,5	217,3
235	15,50	22,11	9,65	10,86	3,0	1,5	232,5
236	16,00	22,82	10,01	11,22	3,0	1,5	248,3
237	16,50	23,54	10,36	11,57	3,0	1,5	264,5
238	17,00	24,25	10,71	11,92	3,0	1,5	281,3
239	17,50	24,96	11,06	12,27	3,0	1,5	298,5
240	18,00	25,68	11,41	12,62	3,0	1,5	316,3

ТАБЛИЦА 3. СТАНДАРТНЫЕ РАЗМЕРЫ ОВАЛОВ, мм

$b = 0,608 D$   
 $h = 0,103 D$   
 $F_0 = 0,0857 D^2$



Номер стандартного овала	$D$	$b$	$h$	$H$ ( $s = 0$ )	$r$	Площадь $мм^2$ при $s = 0$
12,13/75	12,13	7,38	1,25	2,50	1,0	12,6
14,17/75	14,17	8,62	1,46	2,92	1,0	17,2
16,19/75	16,19	9,84	1,67	3,34	1,0	22,5
18,72/75	18,72	11,38	1,93	3,86	1,0	30,0
20,24/75	20,24	12,31	2,08	4,16	1,0	35,1
22,26/75	22,26	13,53	2,29	4,58	1,0	42,5
25,30/75	25,30	15,38	2,61	5,22	1,0	54,9
28,34/75	28,34	17,23	2,92	5,84	1,0	68,8
30,36/75	30,36	18,46	3,13	6,26	1,0	79,0
32,38/75	32,38	19,69	3,34	6,68	1,0	89,9
35,42/75	35,42	21,54	3,65	7,30	1,0	107,5
38,46/75	38,46	23,38	3,96	7,92	1,0	126,8
40,48/75	40,48	24,61	4,17	8,34	1,0	140,4
45,54/75	45,54	27,69	4,69	9,38	1,0	177,7
50,60/75	50,60	30,76	5,21	10,42	1,0	219,4
55,66/75	55,66	33,84	5,73	11,46	1,0	265,5
60,72/75	60,72	36,92	6,25	12,50	1,0	316,0
65,78/75	65,78	39,99	6,78	13,56	1,0	370,8
70,84/75	70,84	43,07	7,30	14,60	1,0	430,1
75,90/75	75,90	46,15	7,82	15,64	1,0	493,7
80,96/75	80,96	49,22	8,34	16,68	1,0	561,7
86,02/75	86,02	52,30	8,86	17,72	1,0	634,1
91,08/75	91,08	55,38	9,38	18,76	1,0	710,9
96,14/75	96,14	58,45	9,90	19,80	1,0	792,1
101,20/75	101,20	61,53	10,42	20,84	1,0	877,7
106,26/75	106,26	64,61	10,94	21,88	1,0	967,7
111,32/75	111,32	67,68	11,47	22,94	1,0	1062,0
116,38/75	116,38	70,76	11,99	23,98	1,0	1160,8
121,44/75	121,44	73,84	12,51	25,02	1,0	1263,9
126,50/75	126,50	76,91	13,03	26,06	1,0	1371,4
131,56/75	131,56	79,99	13,55	27,10	1,0	1483,3
136,62/75	136,62	83,06	14,07	28,14	1,0	1599,6
141,68/75	141,68	86,14	14,59	29,18	1,0	1720,3
146,74/75	146,74	89,22	15,11	30,22	1,0	1845,4
151,80/75	151,80	92,29	15,64	31,28	1,0	1974,8
156,86/75	156,86	95,37	16,16	32,32	1,0	2108,7
161,92/75	161,92	98,45	16,68	33,36	1,0	2246,9
166,98/75	166,98	101,52	17,20	34,40	1,0	2389,5
172,04/75	172,04	104,60	17,72	35,44	1,0	2536,5
177,10/75	177,10	107,68	18,24	36,48	1,0	2687,9

только на среднесортных станах, однако следует на них обратить больше внимания, так как при прокатке профилей малых размеров получается большое уширение.

Следует также рассмотреть сплюснутый и двухрадиусный овалы, представленные на рис. 17. Меньшие радиусы смещены к местам наибольшего износа. Не исключено, что в некоторых случаях применение такой формы даст лучшие результаты. Однако эта форма не пригодна для прокатного стана с широкой программой.

Обычно вытачивают квадратные калибры с довольно малым углом у вершины, равным  $91^\circ$ . Если этот угол сделать равным  $93^\circ$ , то боковые стенки калибра не держали бы так хорошо полосу и поэтому следовало бы уменьшить обжатие. Боковые стенки квадрата при прокатке на овальном калибре должны быть перпендику-

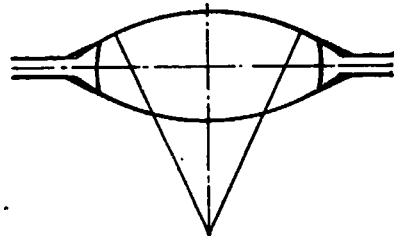


Рис. 16. Овал с прямыми выпуклостями

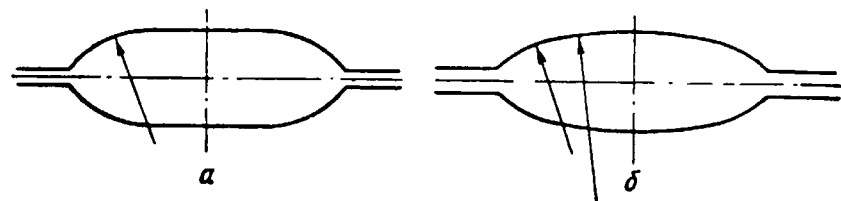


Рис. 17. Сплюснутый (а) и двухрадиусный (б) овал

лярны к горизонтальной плоскости, но незначительный их наклон не может быть причиной возникновения дефектов при прокатке.

Мы анализировали возможность выбора угла у вершин  $90^\circ$  и формы дна калибра, которая соответствовала бы форме металла в зазоре валков (см. рис. 18). Если применяют прокатные клетки с небольшой пружиной, то можно получить хорошие результаты. Увеличивается радиус скругления вершины калибра, вследствие чего износ следующего овального калибра становится более равномерным; вместе с этим овал легче заполняет дно квадратного калибра.

Большое значение для правильной работы калибров имеют проводки. Для вытяжных овалов обычно применяют роликовые проводки с цилиндрическими роликами, в то время как вводные проводки должны иметь форму данного овала. Такая проводка

хорошо работает, если овал хорошо заполнен. Для предчистовых овалов как щеки, так и ролики должны иметь форму овала.

Мы избегаем применения для чистовых овалов роликов с угловым ручьем из-за быстрого их износа и потому, что небольшие пороки поверхности роликов вызывают большие дефекты на прокате, чем при применении ручьев овальной формы. Применение роликов из твердых сплавов и большая поверхность кон-

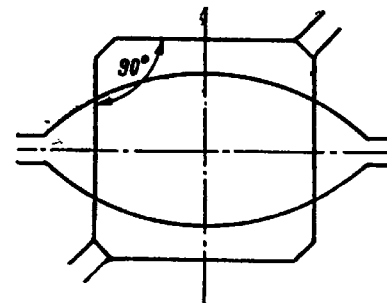


Рис. 18. Прокатка квадрата с симметричными углами

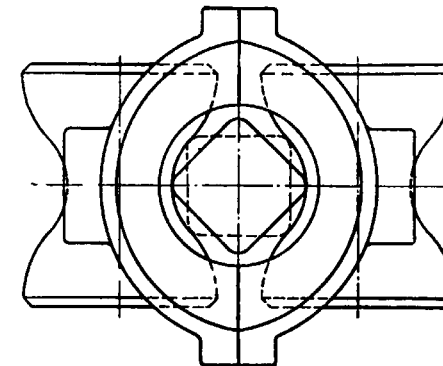


Рис. 19. Схема роликовой проводки

такта раската и ролика с овальным ручьем способствуют увеличению скорости вращения, в результате чего уменьшается налипание металла на ролики. У роликов из белого чугуна при скоростях до  $25 \text{ м/сек}$  не обнаружено склонности к налипанию. Проводки для больших квадратов выполняем преимущественно роликовыми в соответствии с формой калибра, как это показано на рис. 19. Квадрат довольно хорошо центрируется относительно середины калибра независимо от того, задается ли он плашмя или на ребро. Целесообразно испытать применение такой формы роликов для меньших размеров квадратов.

При прокатке круглых профилей применяют один предчистовой овал для довольно широкого диапазона размеров, например для профилей диаметров  $120\text{--}135 \text{ мм}$  (рис. 20).

При прокатке квадратов с острыми углами ромбические сечения ведут себя в обводках так же, как и соответствующие им овалы, что впрочем наблюдается в случае прокатки плоских профилей, шести- и восьмигранников. На рис. 5 показана схема прокатки шестигранника  $35 \text{ мм}$  на среднесортном стане.

Следует отметить, что к катаным изделиям в настоящее время предъявляют более высокие требования по точности, допускам и качеству поверхности, чем, например, 10 лет назад.

Однако в настоящее время существуют большие возможности создания значительно лучших прокатных станов, которые отвечают этим требованиям.

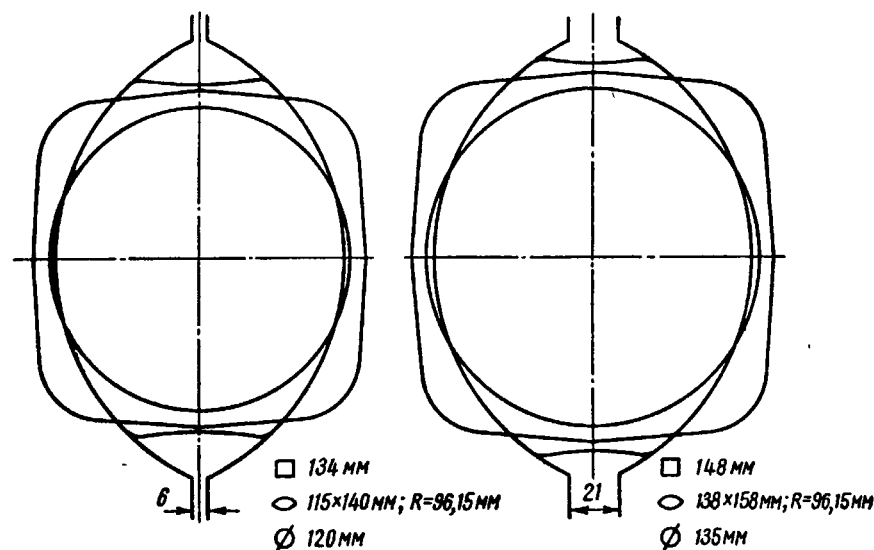


Рис. 20. Схема применения одних и тех же калибров для прокатки круглых профилей диаметром 120—135 мм

Инж. Г. ХАНЗЕЛЬ

(Металлургический завод «Бельдон», ПНР)

## КАЛИБРОВКА ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Рассмотренные в докладе Э. Норлинда методы калибровки имеют особую ценность, если сравнить их с прежними методами, применяемыми у нас.

Сопоставив оба метода (шведский и применявшийся у нас до настоящего времени на заводе Бельдон), можно установить преимущество одного из них и сделать правильные выводы.

Для характеристики технологии и калибровки валков завода Бельдон рассмотрим кратко калибровку для прокатки катанки диаметром 7 мм на одном из наших станов. Стан состоит из черновой клетки трио 420 и чистовой группы 280 из шести клеток (пять клеток двойное дуо, одна клетка дуо).

Прокатная линия приводится асинхронным двигателем с числом оборотов, регулируемым лишь в небольшом диапазоне. Уменьшение числа оборотов в черновой клетке достигается с помощью ременной передачи. Средняя скорость прокатки в черновой клетке составляет 1,7 м/сек, в чистовой группе клеток 5,1 м/сек.

Сортамент стана состоит из профилей, различных по размерам и по маркам стали (углеродистые, подшипниковые, быстрорежущие нержавеющей, кислотостойкие и жаропрочные стали). Кроме того, на этом стане прокатывают еще реостатную проволоку и некоторые цветные металлы.

Исходные заготовки имеют размеры 80 × 80 мм и массу 40—60 кг. Для высококачественных сталей применяют заготовки со стороной квадрата 50—60 мм и массой 15—25 кг. В черновой клетке прокатка производится по системе калибровки квадрат — пирамида. Заготовки 80 × 80 мм в зависимости от качества стали прокатывают за четыре прохода в квадратных калибрах до сечения 56 × 56 мм или за шесть проходов до сечения 49 × 49 мм. Далее по системе калибровки ромб — квадрат — ромб получают через промежуточное сечение 34 × 34 мм пирамиду 56 × 17 мм.



Заготовки высококачественной стали со стороной квадрата 50—60 мм прокатывают за 2—4 прохода в квадратных калибрах до сечения  $49 \times 49$  мм; затем в последующих трех проходах получают сильно сплюснутую пирамиду.

Основное различие между черновой прокаткой заготовок из углеродистой и высоколегированной стали состоит в получении разных промежуточных квадратов:  $56 \times 56$  мм для углеродистых сталей и квадрат  $48 \times 48$  мм для высоколегированных.

Калибровка чистовой группы клетей осуществляется по системе квадрат — пирамида и квадрат — овал — квадрат для всех сталей.

Пирамида передается из черновой клетки в I клетку чистовой группы и прокатывается за четыре прохода по системе квадрат — пирамида — квадрат в пирамиду  $34 \times 9$  мм. Следующие калибры выполнены по системе квадрат — овал — квадрат. Проволоку получают на чистовой линии за 11 проходов.

Во всех проходах прокатка производится вручную с выпуском раската. Раскат  $56 \times 56$  мм (или  $59 \times 59$  мм) прокатывают до сечения  $12,5 \times 12,5$  мм по системе квадрат — пирамида — квадрат, далее до диаметра 7 мм по системе квадрат — овал — квадрат.

Анализируя методы калибровки, применяемые на заводе Бельдон и на шведских прокатных станах, можно заметить большую разницу в величинах обжатий. Коэффициенты вытяжки на шведских станах значительно меньше, чем на заводе Бельдон. В шведских системах калибровки коэффициенты вытяжки колеблются в пределах 1,22—1,35, а на заводе Бельдон в пределах 1,30—1,60.

Относительно большие значения коэффициентов вытяжки объясняются применением пирамидальных калибров, в которых происходит очень большое обжатие. Отношение ширины к высоте этих калибров составляет 3,0; 3,3 и 3,75.

Применяемые в шведских системах вытяжные овалы сообщают металлу меньшую вытяжку.

В журнале «Berg- und Hüttenmännische Monatsheft» представлена последовательность проходов при прокатке проволоки диаметром 6 мм по шведской системе калибровки. От сечения  $34,5 \times 34,5$  до сечения  $6,15 \times 6,15$  мм прокатка происходит за 17 проходов.

На заводе Бельдон те же размеры полосы получают за 13 проходов. Если сравнить калибровки, то окажется, что при шведском методе в отдельных проходах не полностью используются возможные обжатия, поэтому коэффициенты вытяжки меньше.

При шведском методе калибровки, очевидно, пошли на компромисс между широкой механизацией и автоматизацией про-

цесса прокатки и величинами обжатия. Систему калибровки пришлось привести в соответствие с требованиями автоматизации процесса прокатки и качества проката. Применение системы квадрат — овал — квадрат при соответствующем уменьшении отношения ширины к высоте овалов обеспечивает прокатку как углеродистых сталей, так и легированных по одной и той же системе калибровки; кроме того, устраняется опасность образования закатов и лампасов. Для обеспечения нормального процесса прокатки (лучших условий захвата) уменьшили коэффициенты вытяжки. Это привело к увеличению числа проходов, а вместе с тем и числа клетей.

Применение пирамидальных калибров для черновой прокатки может вследствие высоких коэффициентов вытяжки (1,4—1,7) ухудшить качество проката. Большие вытяжки приводят к увеличению износа калибров, что также влияет отрицательно на качество поверхности проката. Кроме того, при вводе пирамидальных профилей в квадратные калибры могут образоваться лампасы даже при сравнительно небольшом износе калибра.

Значительно лучшие результаты могут быть достигнуты, если для предчистового калибра применить овальный калибр, а для чистового — ребровой овальный. В этом случае также подтверждается правило, что для получения лучшего качества поверхности следует уменьшить обжатие.

В черновых станах следует применять ящичные калибры только в тех случаях, если имеются проводки скольжения. Ящичный калибр с валковой арматурой на передней и задней сторонах клетки не обеспечивает достаточно хорошего качества проката, особенно для сталей с малой пластичностью (например, ферритных сталей Н25Т, Н17Т с содержанием хрома 17—25%). Без надежного удерживания полосы в калибре скручивается или вследствие большой тенденции ее к уширению калибр переполняется металлом.

Для прокатки стали этих марок более надежной была бы система калибровки квадрат — квадрат. Однако эту систему нельзя считать наилучшей. При прокатке кислотостойких и жаростойких сталей, а также быстрорежущей стали углы полос слишком быстро охлаждаются, в результате чего на них появляются риски.

Если при использовании системы квадрат — квадрат после нескольких проходов не перейти на систему квадрат — овал — квадрат, то возникает значительная опасность разрушения металла. Это подтверждается следующим примером. На углах профилей со стороной квадрата  $32 \times 32$  мм из быстрорежущей стали с содержанием 18% W появлялись большие риски. Прутки прокатывали из заготовок  $60 \times 60$  мм по системе калибровки квадрат — квадрат. Качество проката улучшили применением в пер-

вых проходах системы квадрат — пирамида или квадрат — овал.

Для выбора системы калибровки черновой группы решающим фактором является (кроме обжатия и качества) возможность автоматизации процесса прокатки.

Крупным шагом в решении вопроса автоматизации процесса прокатки на черновых клетях является представленная Э. Норлиндом клеть трио.

Если полностью решить задачу беспрепятственной передачи металла от одного прохода к другому, то можно считать решенными и вопросы автоматизации черновой группы. Выбор системы калибровки зависит от возможности наилучшего решения способа автоматической передачи прокатываемой полосы от одного прохода к другому. Возможно, что все сведется к системе квадрат — квадрат, хотя лучшей кажется система квадрат — овал.

Для чистовых линий в вытяжных системах обычно применяют калибровку системы квадрат — овал — квадрат. Применение овала зависит от его параметров (угол раствора и отношение ширины к высоте). Выбор квадрата для определенного овала и наоборот определяется поведением металла в очаге деформации.

Эффективность калибровки определяется величиной принятого коэффициента вытяжки в системе квадрат — овал, зависящего от диаметра валков.

Достойной внимания является нормализация калибров системы квадрат — овал на заводе Morgadshammar.

Применение квадратов и овалов с различными углами раствора значительно упрощает работу калибровщика. Заводы имеют разработанные и проверенные параметры калибровок, которые позволяют выбрать в зависимости от диаметра валков наиболее приемлемый овал для определенного квадрата и наоборот.

В докладе Э. Норлинда представлены графики, на которых показано изменение температуры металла при прокатке катанки диаметром 5 и 6 мм. Температура металла после последнего хода колеблется в пределах 950 и 1000°С.

Для легированных сталей с высоким содержанием углерода такая высокая конечная температура прокатки не обеспечивает хорошего качества проката. В структуре подшипниковой стали отчетливо заметны следы цементита.

Понижение температуры прокатки в последнем проходе до 800°С в результате соответствующей термической обработки обеспечивает хорошую структуру (шаровидный цементит).

Системы калибровки, применяемые для круглых прутков (например, универсальная: квадрат — ребро — чистовой овал или овал — чистовой овал), показали хорошие результаты особенно при прокатке прутков большого сечения. Прокаткой по универ-

сальной системе калибровки достигается хорошее качество поверхности благодаря сбиву окалины.

Итак, можно сделать следующие выводы:

1) во избежание снижения производства нужно, чтобы прокатный стан для легированных сталей обладал большой гибкостью, предусматривающей частые изменения программы прокатки;

2) система калибровки должна обеспечивать прокатку различных сталей начиная от углеродистых и кончая высоколегированными и высококачественными;

3) при определении системы калибровки не следует ухудшать качество проката выбором высоких коэффициентов вытяжки;

4) для надежности захвата металла валками углы захвата не должны превышать средних значений;

5) крутящий момент должен передаваться валками от двигателя через универсальные соединения; валки должны иметь роликовые подшипники, что устраняет дополнительные силы, вызывающие сдвиг валков;

6) зазор между валками должен оставаться практически постоянным; разность температур металла на переднем и заднем концах прутков должна быть небольшой;

7) для того чтобы ограничить колебание температуры металла в небольших пределах, следует вести прокатку с большой скоростью и небольшой петлей.

Инж. Х. ГЕДИН  
(Авеста, Швеция)

### КАЛИБРОВКА ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Э. Норлинд представил очень интересный метод калибровки для прокатки прутков и катанки, основанный на системе овал — квадрат. Представил он также график, по которому можно выбирать размеры квадратов для системы овал — квадрат. На этом графике коэффициент  $K$  дает значения, необходимые для расчета всех квадратов по формуле

$$S_{h_{n-4}} = K_2 S_{h_{n-2}}. \quad (1)$$

Метод расчета простых калибров разработан проф. Г. Валквистом. Он заключается в следующем. После каждого прохода прокатываемая полоса имеет обычно характерную форму, а иногда даже после ряда последовательных проходов она имеет ту же форму, но различные размеры. Вместо того чтобы для расчетов применять соотношение сечений, можно использовать соотношение линейных размеров сечений одинаковой формы. Соотношение линейных размеров можно определить по кривым, при составлении которых учтены основные факторы, сопутствующие горячей прокатке стали. Таким образом, для калибровки используется графический метод.

Рассматриваемый графический метод лучше всего описать на примерном расчете для системы овал — квадрат при прокатке катанки диаметром 6 мм из заготовки 50 × 50 мм высокоуглеродистой стали. Диаметр валков чистовой линии равен 300 мм, черновой 500 мм. Для калибровки используются четыре различных графика (для предчистового овала, значения  $K_2$ , для вытяжного овала и квадрата). Ход расчета калибров следующий (на рис. 1 приведены форма калибров и размеры их):

1. Горячекатаные размеры рассчитывают по формуле

$$d_{h_n} = K d_k = 1,012 \cdot 6,0 = 6,07 \text{ мм}, \quad (2)$$

где  $d_k$  — диаметр холодной катанки.

По графику для предчистового овала (рис. 2) зазор между валками составляет  $s = 0,55$  мм.

2. Предотделочный квадрат определяют по формуле (3), а значение  $K_2$  по кривой (рис. 2) для предчистового овала:

$$S_{h_n} = K_2 d_{h_n} = 1,032 \cdot 6,07 = 6,26 \text{ мм}. \quad (3)$$

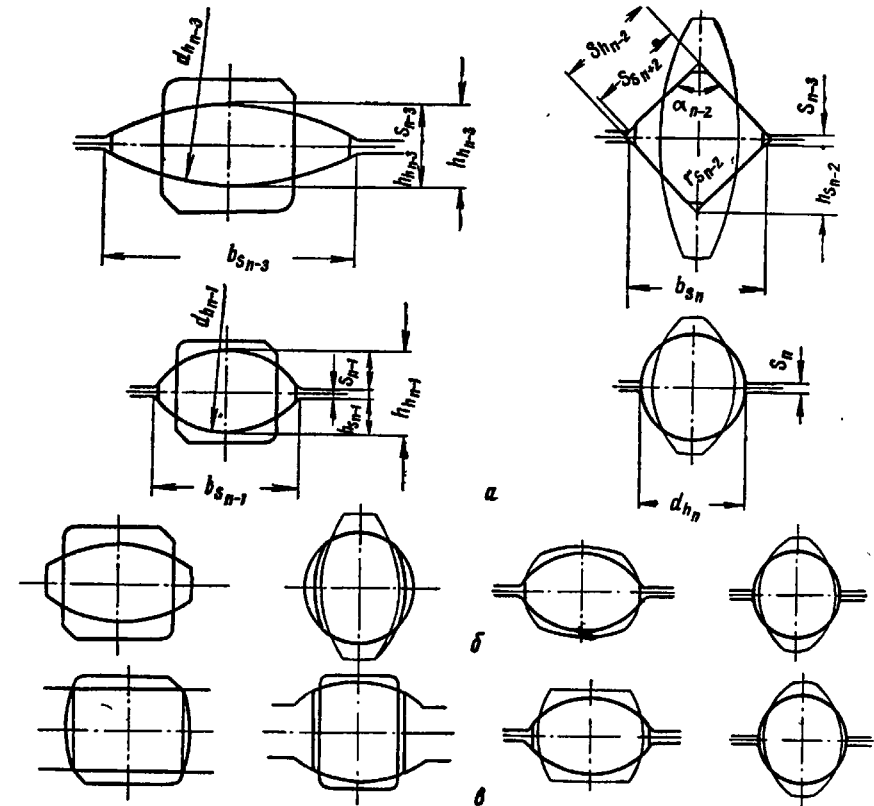


Рис. 1. Форма и обозначение размеров калибров системы:  
а — овал — квадрат; б — квадрат — овал — ребровой овал — овал — круг; в — универсальной

3. Остальные квадраты рассчитывают по формуле (1) [(рис. 3)]. Для указанной стали определяем коэффициент  $K_2$ , в данном случае по кривой 4 (толстый овал).

Последний квадрат приближается к размерам заготовки 50 × 50 мм.

4. Определяем площади всех калибров в горячем состоянии. Площадь круга

$$A_{h_n} = \frac{\pi d_{h_n}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6,07^2}{4} = 28,9 \text{ мм}^2. \quad (4)$$

Площадь квадрата с учетом закруглений углов

$$A_{h_{n-2}} = K_1 S_{h_{n-2}}^2 = 0,94 \cdot 6,26^2 = 36,8 \text{ мм}^2, \quad (5)$$

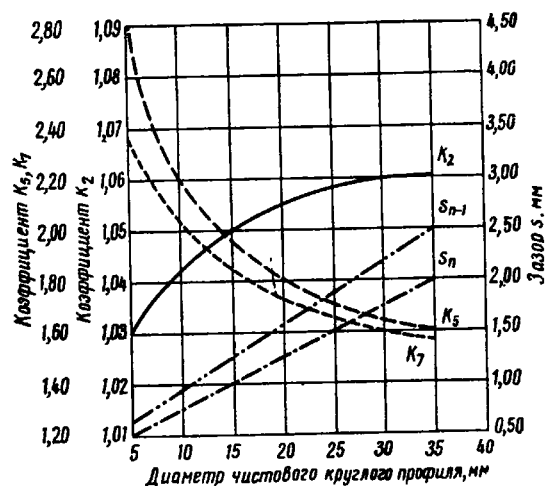


Рис. 2. Графики для выбора зазора валков, коэффициентов  $K_2$  для квадратов и  $K_5$  и  $K_7$  для овалов

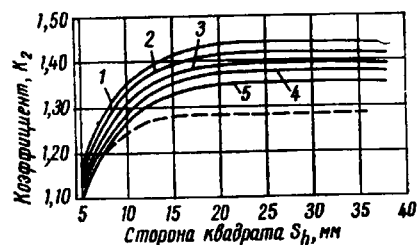


Рис. 3. Зависимость между стороной квадрата  $S_h$  и коэффициентом  $K_2$  при расчете квадратных калибров системы квадрат — овал;

1 — 5 — прокатка различных сталей (1 — низкоуглеродистая сталь, 5 — высоколегированная)

где  $K_1 = 0,93—0,98$  (меньшее значение выбирается для малых квадратов) учитывает закругления.

Расчетные значения приведены в табл. 1.

5. Определяем размеры предчистового овала. Его площадь рассчитываем по формуле

$$A_{h_{n-1}} = K_5 \sqrt{A_{h_n} A_{h_{n-2}}} = 0,96 \sqrt{28,9 \cdot 36,8} = 31,3 \text{ мм}^2. \quad (6)$$

Для этого типа предчистовых овалов коэффициент  $K_5 = 0,96$ .

Ширину овала получаем по приведенной формуле и по диаграмме  $K_7$  для предчистового овала (см. рис. 2):

$$d_{h_{n-1}} = K_7 \sqrt{A_{h_{n-1}}} = 2,28 \sqrt{31,3} = 12,75 \text{ мм}. \quad (7)$$

Форму овала определяем по формуле (7) и по графику для предчистового овала, а толщину овала по формуле

$$h_{h_{n-1}} = \frac{d_{h_{n-1}}}{K_6} = \frac{12,75}{2,58} = 4,95 \text{ мм}. \quad (8)$$

Высоту и ширину ручья предчистового овала находим по графику и формулам (9) и (10).

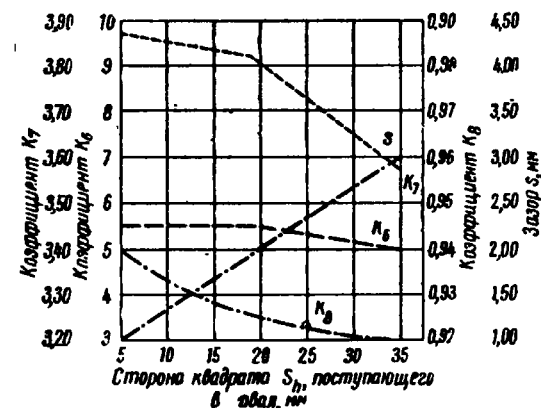


Рис. 4. График для расчета вытяжных овалов при прокатке углеродистых и низколегированных сталей

Зазор между валками составляет  $s = 0,70 \text{ мм}$ , глубина ручья

$$h_{s_{n-1}} = \frac{h_{h_{n-1}} - s}{2} = \frac{4,95 - 0,70}{2} = 2,13 \text{ мм}, \quad (9)$$

ширина ручья

$$b_{s_{n-1}} = 2 \sqrt{h_s (d_h - h_s)} = 2 \sqrt{2,13 (12,75 - 2,13)} = 9,50 \text{ мм}. \quad (10)$$

6. Остальные овалы рассчитываем по формуле (11), выбирая коэффициенты  $K_8$  из графика для овала (рис. 4):

$$d_{h_{n-3}} = K_7 \sqrt{A_{h_{n-3}}} = 3,87 \sqrt{42,6} = 25,25 \text{ мм};$$

$$h_{h_{n-3}} = \frac{d_{h_{n-3}}}{K_6} = \frac{25,25}{5,5} = 4,59 \text{ мм}.$$

Зазор между валками составляет  $s = 1,10 \text{ мм}$ .

Глубина ручья

$$h_{s_{n-3}} = \frac{h_{h_{n-1}} - s}{2} = \frac{4,59 - 1,10}{2} = 1,75 \text{ мм.}$$

Ширина ручья

$$h_{s_{n-3}} = 2 \sqrt{h_s (d_h - h_s)} = 2 \sqrt{1,75 (25,25 - 1,75)} = 12,82 \text{ мм.}$$

Данные для других овалов сведены в таблицу.

8. Определяем размеры квадратных калибров. Углы у вершины калибров выбираются в пределах 92,5—90,0°.

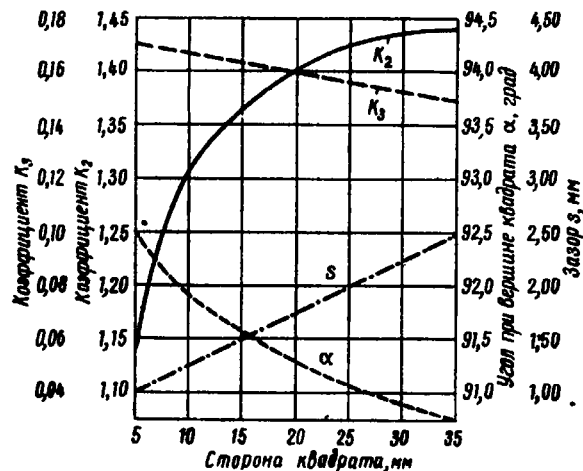


Рис. 5. Диаграмма для расчета квадратных калибров [коэффициент  $K_2$  определен по кривой 4 (рис. 3)]

Размеры калибра находим при помощи величин, значения для которых даны на графиках рис. 5.

Сторона калибра (см. рис. 6) составляет

$$S_{s_{n-2}} = S_h - \frac{s}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} = 6,26 - \frac{1,10}{2 \cos \frac{92,25}{2}} = 5,50 \text{ мм.}$$

Глубина ручья

$$h_{s_{n-2}} = S_s \cos \frac{\alpha}{2} = 5,50 \cdot \cos \frac{92,25}{2} = 3,81 \text{ мм.}$$

Ширина ручья

$$b_{s_{n-2}} = 2 S_s \sin \frac{\alpha}{2} = 25,5 \cdot \sin \frac{92,25}{2} = 7,93 \text{ мм.}$$

Данные для квадратов приведены в таблице с учетом стандартизованных квадратов.

Как сообщил Э. Норлинд, шведские калибровщики разработали стандартизованные калибры для кругов, предчистовых овалов, квадратов и вытяжных овалов. Применяя приведенные стандартизованные калибры, можно очень легко рассчитать калибры системы овал—квадрат. Имея определенные размеры круглого прутка в горячем состоянии, стороны и площади квадратов и

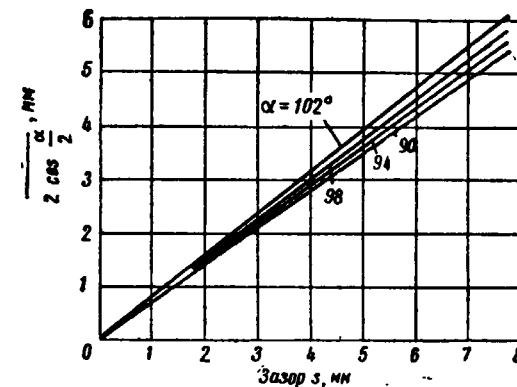


Рис. 6. График для расчета квадратных калибров при данном зазоре между валками и известном угле развала ручья

находя зазор между валками из графиков, можно использовать таблицу стандартизованных калибров и получить соответствующие калибры со всеми размерами. Номера стандартизованных калибров приведены в таблице<sup>1</sup>.

Для овалов следует определить ширину, зазор между валками и ширину ручья, чтобы найти соответствующий номер стандартизованного овального калибра.

Следует отметить, что несмотря на кажущуюся сложность графический метод при некотором опыте можно использовать для быстрых расчетов. Для сталей других марок и других типов прокатных станов легко изготовить новые графики.

Формулы, применяемые при расчете:

$$d_{h_n} = K d_k; \quad (1)$$

$$S_{h_{n-2}} = K_2 d_{h_n}; \quad (2)$$

$$S_{h_{n-4}} = K_2 S_{h_{n-2}}, \quad (3)$$

$$A_{h_n} = \frac{\pi d_{h_n}^2}{4}; \quad (4)$$

<sup>1</sup> См. данный сборник, доклад Э. Норлинда.

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ (в мм) КАЛИБРОВКИ СИСТЕМЫ ОВАЛ—КВАДРАТ

Номер прохода	$S_n$	$d_n$	$h_n$	$A_n$	$a$	$s$	$b_s$	$h_s$	Номер стандартного калибра	$S_s$	$s$
$n$	—	6,07	—	28,9	0,92	0,55	—	—	6,0	—	—
$n-1$	—	12,75	4,95	31,3	0,85	0,70	9,50	2,13	5,7—6,2	—	—
$n-2$	6,26	—	—	36,8	0,865	1,10	7,93	3,81	213	5,50	1,05
$n-3$	—	25,25	4,95	42,6	0,86	1,10	12,82	1,75	25,30/60	—	1,2
$n-4$	7,26	—	—	49,5	0,83	1,20	—	—	216	6,25	1,4
$n-5$	—	29,8	5,42	59,6	0,815	1,20	15,3	2,11	30,36/60	—	1,35
$n-6$	8,78	—	—	73,1	0,805	1,20	—	—	220	8,00	1,2
$n-7$	—	36,6	6,65	90,8	0,783	1,30	19,0	2,67	38,46/60	—	1,5
$n-8$	11,06	—	—	116,0	0,785	1,25	—	—	224	10,00	1,4
$n-9$	—	46,9	8,53	148,0	0,75	1,35	24,9	3,59	45,54/65	—	1,4
$n-10$	14,38	—	—	198,0	0,77	1,50	—	—	230	13,00	2,0
$n-11$	—	61,0	11,10	256,5	0,72	1,60	32,7	4,75	60,72/65	—	1,6
$n-12$	19,27	—	—	356,0	0,756	1,70	—	—	240	18,0	1,8
$n-13$	—	82,5	14,8	471,0	0,715	2,0	44,1	6,40	80,96/65	—	2,2
$n-14$	26,40	—	—	659,0	0,75	2,1	—	—	249	25,00	2,0
$n-15$	—	110	20,8	880,0	0,70	2,4	63	9,2	106,26/70	—	1,8
$n-16$	36,17	—	—	1255	0,76	2,5	—	—	258	34,00	3,0
$n-17$	—	144	28,8	1647	0,70	3,0	82,2	12,9	141,68/70	—	3,2

Примечание. Заготовка 49,6×49,6 мм.

$$A_{h_{n-2}} = K_1 S_{h_{n-2}}^2; \quad (5)$$

$$A_{h_{n-1}} = K_5 \sqrt{A_{h_n} \cdot A_{h_{n-2}}}; \quad (6)$$

$$d_{h_{n-1}} = K_7 \sqrt{A_{h_{n-1}}}; \quad (7)$$

$$K_6 = \frac{d_{h_{n-1}}}{h_{h_{n-1}}}; \quad (8)$$

$$h_{s_{n-1}} = \frac{h_{h_{n-1}} - s}{2}; \quad (9)$$

$$b_{s_{n-1}} = 2 \sqrt{h_{s_{n-1}} (d_{h_{n-1}} - h_{s_{n-1}})}; \quad (10)$$

$$A_{h_{n-3}} = K_8 S_{h_{n-2}} S_{h_{n-4}}. \quad (11)$$

Мгр. инж. Е. ЛЮДЫГА

(Институт металлургии железа, Гливице, ПНР)

### МЕТОДЫ РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ ФЛАНЦЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ

В выполняемых до сих пор работах по калибровке фланцевых профилей пока не удалось найти такого простого способа решения, чтобы стало возможным удовлетворительно спроектировать калибровку без необходимости последующей корректировки ее на основе опытов. Это объясняется тем, что при прокатке профиля отдельные его элементы подвергаются различным по характеру деформациям. Особенность течения металла можно представить в зависимости от распределения скоростей по отдельным точкам сечения исследуемого профиля, например двутавровой балки. Шейка этого профиля подвергается обжатию двумя валками одинакового диаметра. Открытый фланец ограничен с одной стороны валком максимального диаметра, а с другой стороны — валком минимального диаметра, тогда как закрытый фланец ограничен одним валком минимального диаметра. Поэтому окружная скорость, являющаяся функцией диаметра при постоянном числе оборотов, будет различной для каждого из трех отдельных элементов.

Кроме того, вопрос усложняется последовательностью деформации отдельных элементов профиля во время прокатки, происходящей в таком порядке: боковое обжатие фланцев, уменьшение их высоты и обжатие шейки.

При рассмотрении течения металла в балочном калибре обычно делят профиль на шейку, закрытые и открытые фланцы.

Деформация шейки заключается в уменьшении ее толщины, а также в уширении. Открытые фланцы подвергаются значительным боковым обжатиям, вызывающим уменьшение размеров по толщине и минимальный прирост по высоте. Закрытые фланцы подвергаются обжатиям, вызывающим уменьшение их высоты и незначительное уменьшение толщины.

Такое представление о процессе деформации мы считаем обя-

зательным при всех методах расчета калибровок фланцевых профилей.

По деформации элементов балочного профиля в литературе имеются различные мнения. Так, Кирхберг [1] определяет величину бокового обжатия закрытого фланца по формуле

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

Из этой формулы следует, что Кирхберг допускает применение боковых обжатий даже для весьма тонких фланцев. Боковое обжатие закрытого фланца Кирхберг называет косвенным обжатием. В противоположность ему Жез [2] не различает боковые обжатия открытого и закрытого фланцев. Иначе подходит к этому Тафель [3], называющий косвенным обжатием явление боковой деформации открытых фланцев. Осадку закрытых фланцев Тафель называет непосредственным обжатием.

Мнение Метца [4] сходно со взглядами Кирхберга. Метц считает, что открытые фланцы могут деформироваться точно также, как шейка, тогда как для боковых обжатий закрытых фланцев он устанавливает длинный ряд коэффициентов.

Пуппе [5] в своих работах доказал необходимость применения обжатий в закрытых фланцах.

Сходны также взгляды Тринкса [6] и Тафеля. Тринкс считает, что закрытый фланец может подвергаться лишь осадке, тогда как уменьшение ширины закрытых фланцев может происходить вследствие течения металла из фланца в шейку.

Хофф и Даль [7] допускают применение боковых обжатий закрытых фланцев, считая, однако, что величина их не может быть равна величине боковых обжатий, применяемых для открытых фланцев.

М. С. Мутьев [8] в своих рассуждениях представляет взгляды, сходные с мнением Метца [4]. В процессе М. С. Мутьев различает открытые фланцы от закрытых, для которых принимает разные коэффициенты деформации. Б. П. Бахтинов [9] рекомендует проектировать калибровку с различными коэффициентами деформации отдельных элементов, в связи с чем он устанавливает число проходов и коэффициенты между ними\*.

Из этого краткого обзора следует, что кроме различия в трактовке и величинах основных параметров существует значительное расхождение во взглядах относительно определения косвенного и прямого (непосредственного) обжатий. На основании

\* Утверждение автора ошибочно. В основу метода калибровки балон Б. П. Бахтиновым положено условие равенства коэффициентов деформации элементов, т. е.  $k_0 = k_3 = k_{ш}$ . См. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953, стр. 557. *Перев.*

анализа формулировок мы считаем, что косвенным обжатием необходимо называть боковое обжатие, вызывающее уменьшение размера по толщине фланцев и прирост уширения. Непосредственным обжатием следует называть обжатие, вызывающее уменьшение размера по высоте, но не вызывающее уширения. Отсюда также вытекает, что в закрытом фланце имеется боковое обжатие.

Наиболее характерной величиной любой калибровки является коэффициент вытяжки. При калибровке сложных профилей удобно использовать коэффициент общей вытяжки. Однако его величина может только тогда быть показательной, когда все элементы будут деформироваться в одинаковой степени. Такой случай при калибровке фланцевых профилей не наблюдается, по крайней мере, в первых проходах. Ввиду этого коэффициенты вытяжки необходимо определять для отдельных элементов профиля.

Предлагаемое деление профиля на шейку и фланцы недостаточно для определения частных коэффициентов вытяжки, так как в этом случае необходимо точно определить границы отдельных элементов профиля.

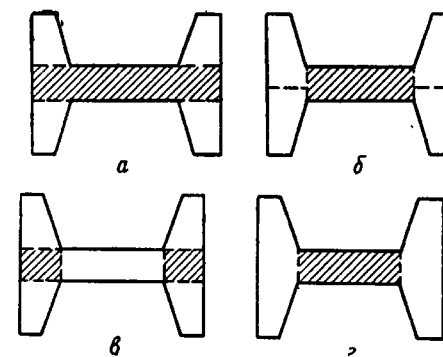


Рис. 1. Деление профиля двутавровой балки:

а — по Брову; б — по Тафелю; в — по Крамеру; г — по Соколову

На практике применяют следующие способы деления фланцевых профилей на элементы: 1) по Брову [10], 2) по Тафелю [3], 3) по Крамеру [11], 4) по Л. Д. Соколову [12].

Брову делит профиль так, что шейка распространяется на всю ширину профиля (рис. 1, а). В противоположность ему Тафель называет шейкой часть профиля, содержащуюся между двумя фланцами, разделяя последние по нейтральной оси профиля (рис. 1, б). Крамер предлагает принять для фланцев деление по Тафелю, а для шейки по Брову (рис. 1, в). В этом случае части шейки по ширине фланцев в расчетах учитываются дважды. Л. Д. Соколов называет шейкой часть профиля, содержащуюся между двумя фланцами, вовсе не разделяя фланцев на части (рис. 1, г).

Практическое применение любого из приведенных способов деления профиля не позволяет точно определить коэффициенты частных деформаций, так как не удалось пока установить точного взаимодействия отдельных элементов профиля. Кроме

того, особенно в начальных проходах происходит течение некоторого количества металла из одного элемента профиля в другой.

### Исследования автора

Анализ практических результатов многих калибровок показал значительные расхождения в калибровке фланцевых профилей разных размеров. Следует считать ошибочными те методы, которые одинаково подходят к калибровке фланцевых профилей малых и больших размеров. При прокатке этих профилей различие вытекает из особенностей деформации металла в разрезных калибрах и различного взаимодействия шейки и фланцев в последующих калибрах.

Нами был произведен подбор коэффициентов вытяжки соответственно величине профиля. Распределение частных коэффициентов вытяжки представлено на рис. 2.

Для больших профилей, площадь сечения шейки которых составляет более 50% всего сечения, коэффициенты вытяжки фланцев немного больше, чем коэффициенты вытяжки шейки. Эта зависимость представлена неравенством  $\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$ , что гарантирует от утяжки высоты фланцев в последних калибрах.

Для средних профилей в первых проходах, в которых площадь сечения фланцев значительно превышает площадь сечения шейки, применяется условие  $\lambda_{\text{ш}} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\phi}$ . По мере выравнивания различия в течении металла в шейке и фланцах мы получим точку пересечения, начиная с которой  $\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$ . В этом случае коэффициенты вытяжки фланцев должны минимально превышать аналогичные коэффициенты для шейки, чтобы исключить поперечное течение металла. Для профилей наименьших размеров, площадь сечения фланцев которых по всем проходам (за исключением предчистового и чистового) меньше, чем шейки,  $\lambda_{\text{ш}} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\phi}$ . Для двух последних проходов распределение коэффициентов вытяжки следующее:

$$\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$$

Для того чтобы коэффициенты спроектированных калибровок соответствовали указанным кривым, необходимо выполнить некоторые условия. Прежде всего, деформацию элементов профиля следует увязать с коэффициентами вытяжки шейки, открытого и закрытого фланцев. В наших работах это было решено следующим образом. Принимаем деление профиля по Брову, полагаем, что поперечное течение металла, направление которого определяется соотношением коэффициентов вытяжки элементов, происходит в участках шейки, ширина которых равна ширине фланцев у основания. Таким образом, в зависимости от направления рассчитанное количество перемещаемого металла вычи-

тают из площади сечения шейки или фланца и складывают с площадью фланцев или шейки. Для шейки обжатия приняты по арифметической прогрессии. В зависимости от размера профиля установили значения обжатий для чистового калибра. Для выбора коэффициентов деформации шейки в калибрах можно использовать прогрессию вида:

$$C_i = C_z + (n - 1) Z.$$

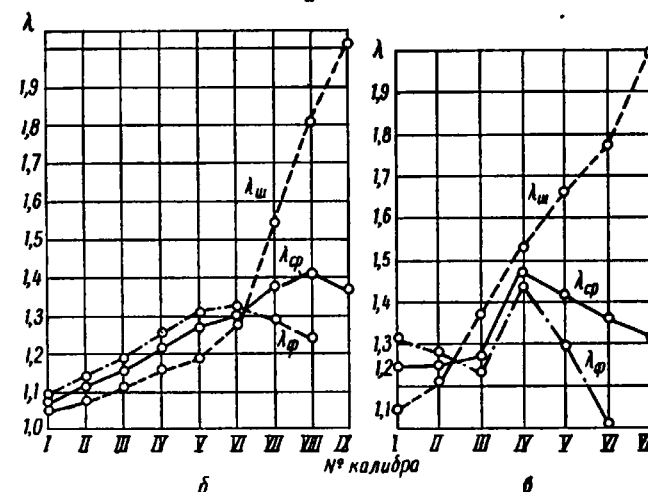
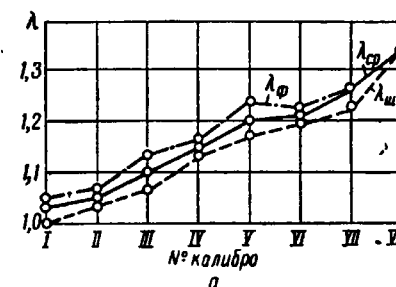


Рис. 2. Распределение частных коэффициентов вытяжки балок:

а — больших размеров  $\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$ ; б — средних размеров  $\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$  для I—VI калибров и  $\lambda_{\text{ш}} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\phi}$  для VII—IX калибров; в — малых размеров  $\lambda_{\phi} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\text{ш}}$  для I и II калибров и  $\lambda_{\text{ш}} > \lambda_{\text{ср}} > \lambda_{\phi}$  для III—VII калибров

Значения коэффициентов деформации  $C_z$  и разности прогрессии  $Z$  приведены в табл. 1.

Рассчитав уширение, ширину и толщину шейки в очередных проходах, вычисляем ее площадь сечения:

$$F_{\text{ш}} = h_n b_n$$



ТАБЛИЦА 1. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕФОРМАЦИИ  $C_z$   
И РАЗНОСТИ ПРОГРЕССИИ  $Z$  ДЛЯ РАСЧЕТА ШЕЙКИ ПРОФИЛЕЙ

Номера балок, швеллеров														
6,5	8	10	12	14	16	18	20	22	24	28	30	32	34	40
Величина $C_z$														
1,12	1,10	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
Величина $Z$														
0,36	0,30	0,20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05

и коэффициент вытяжки

$$\lambda_{ш} = \frac{F_{шn}}{F_{шn-1}}.$$

Затем определяем коэффициент вытяжки всего профиля. Проведенный анализ показал, что эту величину можно представить в виде функции

$$\frac{\lambda_{ш}}{\lambda_{ср}} = f(i),$$

где  $i$  — номер рассматриваемого прохода.

Для отыскания значения  $\lambda_{ш}/\lambda_{ср}$  выполнили анализ значительного числа работающих калибровок. Полученные значения отдельно для 5, 7, 9 и 11 проходов нанесли на логарифмическую систему координат. На оси абсцисс нанесли логарифмы значений  $i/n$ , где  $i$  — номер рассматриваемого пропуска,  $n$  — число проходов без разрезного.

Установленные уравнения позволили построить кривые (рис. 3), определяющие соотношения  $\lambda_{ш}/\lambda_{ср}$  по очередным проходам в зависимости от соотношения  $i/n$ . По этим уравнениям рассчитываем значения коэффициента средней вытяжки по отдельным проходам.

На основании преобразованной формулы Гурецкого [13] рассчитываем значение коэффициента вытяжки фланцев

$$\lambda_{\phi_{n-(n-1)}} = \frac{\lambda_{ср_{n+(n-1)}} (F_{шn} + F_{\phi_n}) - \lambda_{шn} F_{шn}}{F_{\phi_n}}.$$

Таким образом, установлены значения, которые позволяют построить кривые коэффициентов деформации и установить направления возможного поперечного течения металла.

Остается рассчитать размеры фланцев. Для этого по коэффициенту вытяжки обоих фланцев и коэффициенту средней вы-

тяжки профиля определяем коэффициенты вытяжки закрытого фланца.

После определения этих значений по формуле

$$F_{\phi_{0n}} = \frac{\lambda_{\phi_{3 \cdot n + (n-1)}} F_{\phi_n}}{2}$$

определяем площади сечения открытых фланцев. Рассчитываем поперечное течение по формуле

$$F_{xA} = F_{A1} \left( \frac{\lambda_A}{\lambda_{ср}} - 1 \right).$$

На эту величину корректируем площадь сечения трех элементов профиля. Высоту открытых и закрытых фланцев определяем так, что принимаем уменьшение высоты закрытых флан-

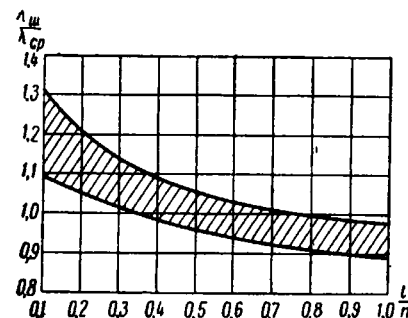


Рис. 3. График зависимости  $\lambda_{ш}/\lambda_{ср}$  от  $i/n$  для балок и швеллеров

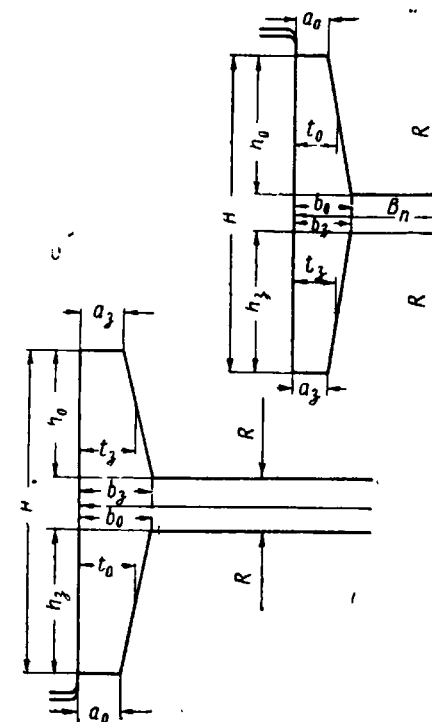


Рис. 4. Обозначение размеров балочных калибров

цев в пределах 5—7 мм, а прирост высоты открытых фланцев в пределах 0,3—2,0 мм. Размеры по высоте фланцев рассчитываем поочередно, начиная от чистового калибра (рис. 4).

Чистовой калибр:

$$h_{n0} = h_{n3};$$

$$h'_{n0} = h'_{n3} = h_n - \frac{d_n}{2}.$$

Предчистовой калибр:

$$h'_{(n-1)s} = h'_{n0};$$

$$h_{(n-1)_3} = h'_{(n-1)_3} + \frac{d_{n-1}}{2};$$

$$h_{(n-1)_0} = h_{n_3} + \Delta h,$$

где  $\Delta h$  — величина осадки закрытого фланца.

$$h'_{(n-1)_0} = h_{(n-1)_0} - \frac{d_{n-1}}{2}.$$

Подобным образом рассчитываем высоты фланцев для остальных калибров. Ширину оснований фланцев рассчитываем по средней их ширине. Для этого площади сечения фланцев делим на их высоты:

$$t_0 = \frac{F_{\Phi_0}}{h'_0}; \quad t_3 = \frac{F_{\Phi_3}}{h'_3}.$$

После определения этих значений рассчитываем ширины фланцев по формулам

$$\frac{a_{(n-1)_0}}{a_{n_3}} = \frac{b_{(n-1)_0}}{b_{n_3}} = \frac{t_{(n-1)_0}}{t_{n_3}}.$$

После определения ширины проверяем, выполняются ли следующие условия для коэффициентов:

для закрытого фланца

$$\left| \frac{a_{(n-1)_0}}{a_{n_3}} \right|_3 < \left| \frac{b_{(n-1)_0}}{b_{n_3}} \right|_3;$$

для открытого фланца

$$\left| \frac{a_{(n-1)_3}}{a_{n_0}} \right|_0 \geq \left| \frac{b_{(n-1)_3}}{b_{n_0}} \right|_0.$$

Если эти условия не выполнены, корректируем рассчитанные значения.

Таким образом рассчитываем все калибры, за исключением разрезного, для которого производились отдельные исследования.

### Экспериментальные данные

Для опытов применили три калибра, размеры которых приведены на рис. 5. Целью экспериментов было установление влияния коэффициентов деформации шейки на изменение размеров фланцев и обоснование приведенных в докладе положений.

Для иллюстрации выполненных опытов на рис. 6 показаны темплеты серии А, а на рис. 7 темплеты серии Б. Размеры темплетов и рассчитанные коэффициенты приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

№ прохода	Фланца	Размеры фланцев				Коэффициенты деформации фланцев						Размеры шейки				Коэффициенты деформации шейки			Полная площадь сече- ния профиля	Коэффициент вытяжки профиля		
		средняя высота, мм	толщина у ос- нования, мм	толщина у вер- шины, мм	площадь сечения, мм²	коэффициент вытяжки	степень обжатия у основания	степень обжатия у вершины	уменьшение за- крытого фланца, мм	уменьшение от- крытого фланца, мм	ширина, мм	площадь сечения, мм²	высота, мм	коэффициент утончения	коэффи- циент вытяжки	степень обжатия						
Серия А																						
1	Открытый	15,0	12,0	7,2	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1020	—
	Закрытый	10,0	13,0	8,0	220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1020	—
2	Закрытый	11,9	11,9	6,8	200	1,25	1,01	1,06	1,30	3,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	820	1,24
	Открытый	12,2	10,0	5,8	200	1,10	1,30	1,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	820	1,24
3	Открытый	12,6	9,5	5,3	160	1,25	1,25	1,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	520	1,58
	Закрытый	11,6	10,0	5,8	160	1,25	1,00	1,00	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	520	1,58
Серия Б																						
1	Открытый	13,5	12,0	8,0	280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1160	—
	Закрытый	10,2	13,0	8,0	220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1160	—
2	Закрытый	10,0	11,8	7,8	240	1,17	1,02	1,02	1,08	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	970	1,20
	Открытый	15,0	12,0	7,3	200	1,10	1,08	1,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	970	1,20
3	Открытый	12,3	10,0	6,0	210	1,14	1,18	1,30	1,11	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	730	1,33
	Закрытый	11,5	10,8	6,3	180	1,11	1,11	1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	730	1,33
4	Закрытый	11,2	10,0	5,5	190	1,10	1,00	1,00	1,00	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	620	1,18
	Открытый	12,5	9,7	5,8	170	1,06	1,11	1,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	620	1,18

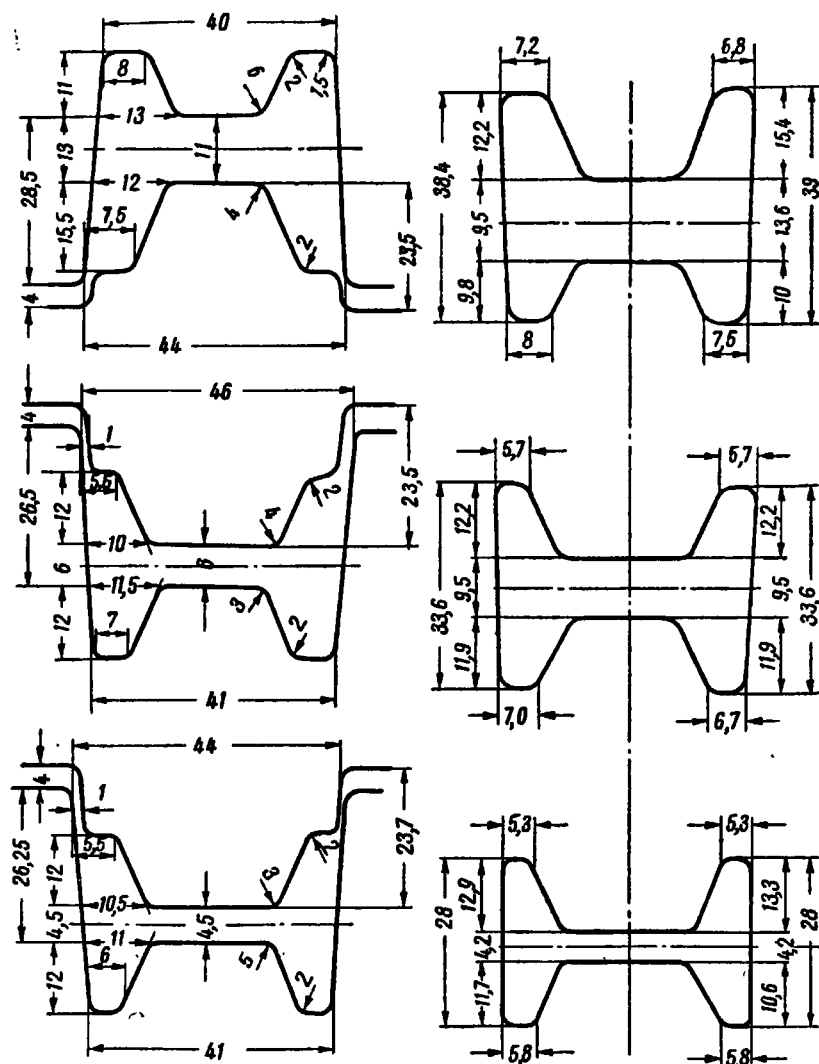


Рис. 5. Опытные калибры

Рис. 6. Темплеты серии А (см. рис. 5)

В серии А коэффициенты деформации шейки были значительно выше аналогичных коэффициентов фланцев. Несмотря на это, не обнаружено чрезмерного уменьшения закрытых фланцев, а прирост открытых фланцев происходил в обычных пределах. Основываясь на этом, можно утверждать, что в калибрах, в которых площадь сечения фланцев больше площади сечения остальной части профиля, значительно большие коэффициенты деформации шейки не нарушают принятой схемы деформации. Предусмотренные боковые обжатия открытых фланцев (калибр II) позволили получить заданные их размеры.

В закрытых фланцах во II калибре получено предусмотренное уменьшение высоты фланца, а в III калибре значительное обжатие шейки привело к уменьшению на 2 мм.

В серии Б опыты производили в четырех калибрах, в которых по сравнению с серией А уменьшили коэффициенты деформации шейки и открытых фланцев. Однако интенсивность деформации шейки все-таки оставалась больше, чем фланцев. Полученные результаты и в этом случае подтвердили ранее приведенные выводы.

Боковые обжатия фланцев по сравнению с серией А были меньше. Уменьшение высоты закрытых фланцев получилось в заданных пределах. Однако прирост открытых фланцев оказался большим в результате значительно меньших обжатий в открытых фланцах и шейке. Площади сечений совпадают с расчетными.

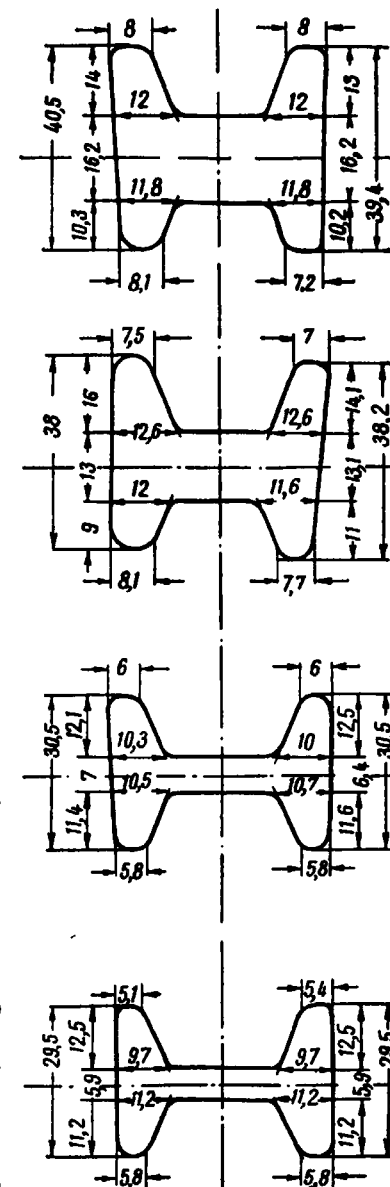


Рис. 7. Темплеты серии Б

## Литература

1. Кирхберг. Калибровка прокатных валков, Домез, 1929, № 1—2.
2. Л. Жез. Калибровка валков, Техника и производство, 1929.
3. Тафель. Прокатка и калибровка. Гостехиздат, 1931.
4. Н. Метц. Горячая прокатка и калибровка валков. Гостехиздат, 1937.
5. Rurre Stahl und Eisen, 1930, № 50.
6. В. Тринкс. Калибровка прокатных валков, ОНТИ, 1934.
7. Х. Хофф и Т. Даль. Прокатка и калибровка, Металлургиздат, 1957.
8. М. С. Мутьев. О разбивке калибра на элементы при прокатке с неравномерным обжатием. Труды научно-технической конференции «Технический прогресс в технологии прокатного производства», Металлургиздат, 1960.
9. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
10. Brovot. Das Kalibrieren des Walzen, Leipzig, 1903.
11. Cramer. Stal und Eisen, 1927, № 44.
12. Л. Д. Соколов. К вопросу о неравномерности деформации при прокатке, Сталь, 1946, № 6.
13. I. Górecki. Średni współczynnik wydłużenia liniowego przy walcowaniu. Hutnik, t. 19, 1952.

Академик Академии наук УССР А. П. ЧЕКМАРЕВ  
(зав. кафедрой обработки металлов давлением  
Днепропетровского металлургического  
института)

## МЕТОД КАЛИБРОВКИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Исследованию деформации металла и методам расчета калибров для прокатки фланцевых профилей в теории и практике прокатного производства уделяется большое внимание. Практика прокатного производства показывает, что существующие методы и формулы для расчета фланцевых калибров часто не дают надежных данных и не отражают многих факторов и условий, требующих учета при калибровке.

Процесс прокатки во фланцевых калибрах является весьма сложным и еще недостаточно изученным.

Рассмотрим характер деформации металла в двутавровом калибре в установившемся процессе. Положение раската в калибре определяется из условия равновесия контактных сил; при этом необходимо учитывать возможные при пластической деформации изгибы элементов профиля и перетекание металла из одного элемента в другой. В двутавровом калибре с прямой шейкой положение профиля определяется постоянством оси шейки, а при изогнутой шейке некоторым определенным характером ее перегиба и некоторым радиусом его центра.

На рис. 1 представлено наложение двух последовательных калибров, где

$q_i$  — площадь открытого фланца  $i$ -того калибра;  
 $q'_i$  — площадь закрытого фланца  $i$ -того калибра;

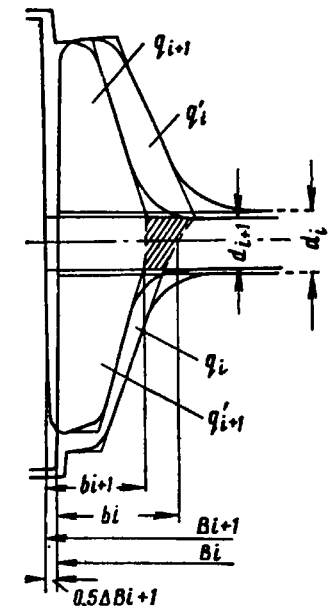


Рис. 1. Наложение последовательных двутавровых калибров

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

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

$$(\mu_{i+1})_ф = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})}. \quad (1)$$

В числителе уравнения (1)  $d_i b_i$  и в знаменателе  $d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})$  являются площадями участков, служащих продолжением шейки и входящих в площадь вертикального полосообразного элемента. Как нами было установлено ранее, заштрихованная площадь шейки  $i + 1$  калибра, входящая в знаменатель выражения (1), образовалась из металла фланцев задаваемого  $i$ -того раската.

Для определения коэффициента вытяжки шейки шириной  $B_i - 2b_i$  необходимо взять отношение задаваемой площади к выходящей. Учитывая, что к моменту начала обжатия шейки калибр по ширине заполнен и металл шейки не может получить значительного уширения, коэффициент вытяжки можно принять как отношение задаваемой толщины к выходящей:

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

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

Обозначая соотношение коэффициентов вытяжки фланцев и шейки через  $k$ , на основании выражений (1) и (2) напомним выражение для коэффициента вытяжки  $i + 1$  калибра:

$$\mu_{i+1} = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})} = k \frac{d_i}{d_{i+1}}. \quad (3)$$

Преобразовывая выражение (3), получаем

$$d_i = \frac{d_{i+1}(q_i + q'_i)}{k(q_{i+1} + q'_{i+1} + 0,5d_{i+1}\Delta B_{i+1}) - (1 - k)(d_{i+1}b_i)}. \quad (4)$$

Таким образом, получили выражение (4) для определения толщины шейки предыдущего по ходу прокатки калибра. Выра-

жение (4) может быть преобразовано для определения толщины шейки последующего калибра, если расчет калибров производить по ходу прокатки.

Структура выражения (4) позволяет записать его в виде, пригодном для определения толщины шейки разрезного калибра:

$$d_p = \frac{d_r(q_p + q'_p)}{K(q_r + q'_r + 0,5d_r\Delta B_{2+r}) - (1 - K)d_r b_r}. \quad (5)$$

В выражении (5) обозначения с индексами  $p$  относятся к разрезному, а с индексами  $r$  к чистовому калибрам. Величина  $\Delta B_{2+r}$  представляет общее уширение во всех калибрах, кроме разрезного (от II до чистового калибров включительно). Коэффициент  $K$  представляет произведение коэффициентов  $k$  для отдельных калибров:

$$K = k_2 k_3 \dots k_i \dots k_r. \quad (6)$$

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

В частных случаях при  $k = 1$  выражения (4) и (5) упрощаются:

$$d_i = \frac{d_{i+1}(q_i + q'_i)}{q_{i+1} + q'_{i+1} + 0,5d_{i+1}\Delta B_{i+1}}; \quad (4')$$

$$d_p = \frac{d_r(q_p + q'_p)}{q_r + q'_r + 0,5d_r\Delta B_{2+r}}. \quad (5')$$

В выражениях (4') и (5') для двутавровых балок обычно имеем

$$q_i = q'_i; \quad q_{i+1} = q'_{i+1}; \quad q_p = q'_p; \quad q_r = q'_r.$$

В условиях производства число проходов на стане, а следовательно, и число калибров устанавливается исходя из совокупности конкретных условий; мощности приводного двигателя, прочности и износостойкости валков, температуры прокатки, условий захвата, марки стали, качества проката и т. п.

В практике число проходов для того или иного фланцевого профиля является более или менее установившимся и изменяется в сравнительно узких пределах. На рис. 2 представлен график для выбора числа фланцевых калибров (включая разрезной) при прокатке двутавровых балок и швеллеров. По этому графику может быть выбрано в указанных пределах то или иное число калибров, причем минимальной (нижней) границы очерченного поля рекомендуется придерживаться при наиболее благоприятных условиях (мощный двигатель, высокая температура прокатываемого металла, хорошее его качество и т. д.), а верхней — при противоположных условиях.

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

Рассмотрим горизонтальное уширение металла во фланцевых калибрах (его иногда называют уширением шейки). Практика заводов показывает, что это уширение может находиться в весьма широких пределах при достаточно удовлетворительных результатах работы стана.

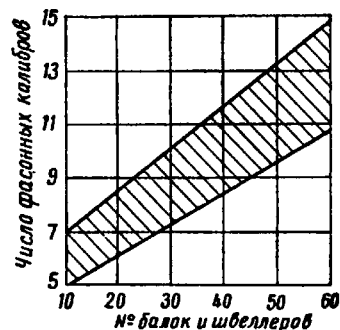


Рис. 2. График для выбора числа фасонных калибров при прокатке двутавровых балок и швеллеров

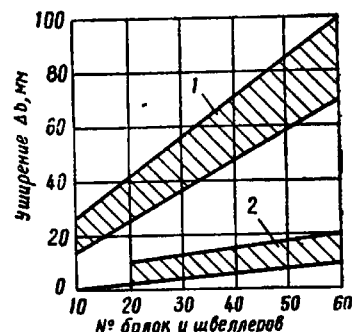


Рис. 3. График для выбора уширения в фасонных калибрах при прокатке двутавровых балок и швеллеров:

1 — область суммарного уширения во всех калибрах, кроме разрезного; 2 — уширение в разрезном калибре (нижняя линия для закрытого, верхняя для полузакрытого разрезных калибров)

В случае сильного ограничения уширения будет наблюдаться несколько большее увеличение высоты открытого фланца и меньшая утяжка закрытого фланца.

На основании данных хорошо работающих калибровок выбор уширения во фланцевых калибрах для прокатки двутавровых балок и швеллеров можно рекомендовать производить по графику, показанному на рис. 3. Здесь верхними линиями ограничено поле общего уширения во всех фланцевых калибрах, кроме разрезного, и нижними линиями — поле уширения для разрезного закрытого и полузакрытого калибров.

В закрытом калибре уширение металла ограничено, и для лучшего заполнения фланцев оно выбирается обычно небольшим. В полузакрытом калибре значительного ограничения уширения нельзя достичь из-за возможности вытекания металла в зазор, расположенный на середине высоты калибра. Эти особенности

конструкции разрезных калибров сказываются на том, что при одних и тех же размерах для полузакрытого калибра требуется заготовка меньшей ширины, но большей высоты, чем для закрытого.

Для определения удлинения и утяжки фланцев в балочных калибрах предложены различные методы и формулы. Однако пользование ими не может дать вполне надежных результатов, так как увеличение утяжки и удлинение зависят не только от скоростных факторов прокатки, на что было указано еще Грум-Гржимайло, и заземляющего действия закрытого фланца, но и от степени ограничения горизонтального уширения в калибре. Для учета последнего не предложено каких-либо методов и формул. В настоящее время приходится рекомендовать пользоваться практическими данными: по утяжке в закрытых фланцах в пределах 5—8 мм и по удлинению в открытых 0—2 мм (большие цифры принимают для больших номеров балок).

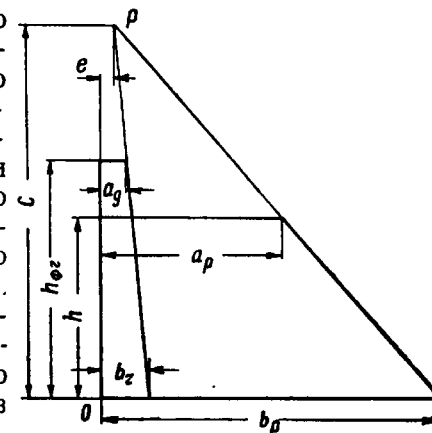


Рис. 4. Схема к определению размеров фланцев разрезного калибра

Наиболее удачной нам представляется нижеследующая методика и последовательность расчета фланцев.

Наложим фланцы чистового и разрезного калибров так, чтобы совпадали их основания и внешние грани (их уклоны и закругления в расчет не принимаем, так как на результатах расчета они мало сказываются). Построения и все обозначения приведены на рис. 4.

Высоту фланца чистового калибра  $h$  принимаем по размерам готового профиля с учетом температурной усадки и минимальных допусков. Для определения высоты фланцев разрезного калибра необходимо (предварительно установив число калибров и чередование открытых и закрытых фланцев) выбрать величины удлинения и утяжки фланцев в калибрах.

Высота фланцев разрезного калибра

$$h_p = h_r + \Sigma \Delta h_{ут} - \Sigma \Delta h_{удл}, \quad (7)$$

где  $\Sigma \Delta h_{ут}$  — общая утяжка в закрытых фланцах;

$\Sigma \Delta h_{удл}$  — общее удлинение в открытых фланцах.

Утяжка фланцев в разрезном калибре в выражении (7) не учитывается. Следует иметь в виду, что при общепринятом чере-

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

После наложения фланцев продолжим их внутренние грани до пересечения в конструкционной точке  $P$ . Примем центр координат в точке  $O$  и обозначим координаты точки  $P$  через  $e$  и  $C$ . Их значения определяются по уравнениям:

$$C = \frac{e + b_r}{\operatorname{tg} \alpha_r} = \frac{e + b_p}{\operatorname{tg} \alpha_p}, \quad (8)$$

откуда

$$e = \frac{b_p \operatorname{tg} \alpha_r - b_r \operatorname{tg} \alpha_p}{\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_r}, \quad (9)$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha_r = \frac{b_r - a_r}{h_r}; \quad \operatorname{tg} \alpha_p = \frac{b_p - a_p}{h_p}. \quad (10)$$

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

$$b_p = \beta B_p. \quad (11)$$

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

Из рис. 4 нетрудно найти величину малого основания фланца разрезного калибра:

$$a_p = a_r \frac{b_p}{b_r} - (h_p - h_r) \operatorname{tg} \alpha_p. \quad (12)$$

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

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

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

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

Площадь фланца разрезного калибра

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

Общий коэффициент вытяжки фланцев от разрезного калибра к чистовому определяется по уравнению

$$(\mu_{2+r})_ф = \frac{q_p}{q_r} = (\mu_2 \mu_3 \dots \mu_l \dots \mu_r)_ф. \quad (14)$$

При выбранном числе калибров и полученной величине  $(\mu_{2+r})_ф$  нетрудно подбором найти ряд частных коэффициентов вытяжки фланцев  $(\mu_i)_ф$ , произведение которых дает  $(\mu_{2+r})_ф$ . При этом коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $(\mu_r)_ф$  выбирают в пределах 1,08—1,14. Максимальные коэффициенты вытяжки принимают для первых, иногда средних (обычно из условий равномерной загрузки приводного двигателя стана) калибров.

Выражение (14) позволяет определить площади фланцев всех промежуточных калибров, что дает возможность воспользоваться выражением (4) для нахождения толщин шейки во всех калибрах.

Для расчета размеров фланцев промежуточных калибров служат формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{0,5(a_i + b_i) + e}{C - 0,5h_i}; \quad (15)$$

$$b_i = C \operatorname{tg} \alpha_i - e; \quad a_i = \frac{2q_i}{h_i} - b_i.$$





Формула (5) дает минимально необходимую высоту заготовки при свободном (или близком к свободному) уширении. Такая формула пригодна при определении высоты заготовки для разрезного полузакрытого калибра или для закрытого калибра с большим простором на уширение.

Выразим коэффициент вытяжки через размеры крайних полос до прокатки и после нее:

$$\mu = \frac{H_0 B_a}{H_p a_p} \quad (6)$$

Учитывая равенство (3), получаем коэффициент утяжки высоты фланцев

$$k_y = \frac{H_0}{H_p} = \sqrt{\mu} \quad (7)$$

Формулой (7) можно воспользоваться для определения высоты фланцев в полузакрытом разрезном калибре блюминга при нескольких проходах в одном калибре.

Поскольку  $\mu = \frac{H_0 B_0}{q_p}$ , имеем

$$H_0 = H_p \sqrt{\frac{H_0 B_0}{q_p}},$$

отсюда

$$H_0 = \frac{H_p^2 B_0}{q_p}.$$

Таким путем формулу (5) получил М. С. Мутьев.

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

$$q' = H_0 (B_p - B_0). \quad (8)$$

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

$$\mu_2 = \frac{H_0 (B_p - 2a) - H_0 (B_p - B_0)}{q_p - 2H_p a_p} = \frac{H_0 (B_0 - 2a_p)}{q_p - 2H_p a_p}. \quad (9)$$

Коэффициент общей (усредненной) вытяжки в калибре определяется из выражения

$$\mu_c = \frac{2\mu_1 q_1 + \mu_2 q_2}{2q_1 + q_2} = \frac{H_0 B_0}{q_p}, \quad (10)$$

где  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $q_1$ ,  $q_2$  — коэффициенты естественной вытяжки и площади крайних и средней частей.

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

$$\Delta q = q_2 \left( \frac{\mu_2}{\mu_c} - 1 \right). \quad (11)$$

Подставляя  $\mu_2$  из уравнения (9) и  $\mu_c$  из уравнения (10) в выражение (11), находим

$$\Delta q = (q_p - 2H_p a_p) \left[ \frac{H_0 (B_0 - 2a_p) q_p}{(q_p - 2H_p a_p) H_0 B_0} - 1 \right] = \frac{2a (B_0 H_p - q_p)}{B_0}. \quad (12)$$

При наклоне стенок разрезающего гребня и связанного с их внедрением в заготовку бокового обжатия из шейки во фланцы будет перетекать металл

$$\Delta q_\Phi = k \Delta q = \frac{H_p - d_{ш}}{(H_p - d_{ш}) + (B_p - 2a)} \Delta q. \quad (13)$$

Коэффициент  $k$  представляет отношение вертикальной проекции гребня к сумме его вертикальной и горизонтальной проекции. Это отношение, характеризующее степень наклона гребней, позволяет учесть количество поступающего из средней части заготовки металла во фланцы. Этот металл частично компенсирует утяжку высоты и ширины фланцев, подвергающихся принудительно вытяжке от  $\mu_1$  до  $\mu_c$ .

Принимая во внимание выражение (3), находим количество металла, идущее на приращение высоты фланцев, подвергнутых утяжке:

$$\Delta q_\Phi = 0,5k \Delta q. \quad (14)$$

Происходящее за счет этого изменение высоты фланцев

$$\Delta h_\Phi = \frac{0,5k \Delta q}{4a}. \quad (15)$$

Таким образом, высота заготовки для закрытого разрезного калибра

$$H_p = H'_p + \Delta h_\Phi = \frac{H_0}{\sqrt{\mu}} + 2\Delta h_\Phi, \quad (16)$$

где  $H'_p$  — высота металла в разрезном калибре со свободным уширением, определяемая по формуле (5).

Из формул (16) и (5) имеем

$$H_0 = H_p \sqrt{\frac{B_0 H_0}{q_p}} - \sqrt{\frac{B_0 H_0}{p_p}} \left( \frac{0,25k \Delta q}{a} \right),$$

откуда

$$H_0 = \frac{B_0}{q_p} \left( H_p - \frac{0,25k \Delta q}{a} \right)^2, \quad (17)$$

где  $k$  и  $\Delta q$  определяются из выражений (13) и (12).

### Расчет калибровки облегченной двутавровой балки № 24

Рассчитаем калибровку для прокатки двутавровой балки № 24 на стане дуо  $D_0 = 800$  мм. Размеры холодного профиля балки № 24 и допуски приняты по ГОСТ 8239—56, уклон внутренней грани полка допускается не более 12%. Пользуясь графиком, выбираем восемь фланцевых калибров. Учитывая износ валков и целесообразность прокатки на минус, а также температурную усадку профиля, примем размеры чистового калибра:

Ширина (высота балки)

$$B_r = B_s = (240 - 2,5) \cdot 1,012 = 240,3 \text{ мм} \approx 240 \text{ мм.}$$

Высота (ширина полки)

$$H_r = H_s = (115 - 2,0) \cdot 1,012 = 114,4 \text{ мм} \approx 114 \text{ мм.}$$

Средняя толщина фланцев

$$t_r = t_s = (9,5 - 0,3) \cdot 1,012 = 9,3 \text{ мм.}$$

Толщина шейки

$$d_r = d_s = 5,6 \cdot 1,012 = 5,7 \text{ мм.}$$

Высота фланца

$$h_r = h_s = \frac{114,0 - 5,7}{2} = 54,15 \text{ мм} \approx 54,0 \text{ мм.}$$

Большое основание фланца

$$b_r = b_s = t_s + 0,5 h_s \operatorname{tg} \varphi_s = 9,3 + 0,5 \cdot 54,0 \cdot 0,12 = 12,5 \text{ мм.}$$

Малое основание фланца

$$a_r = a_s = 2t_s - b_s = 2 \cdot 9,3 - 12,6 = 6,1 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения фланца

$$q_{\text{фр}} = q_{\text{фс}} = t_s h_s = 9,3 \cdot 54 = 502 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения чистового калибра

$$Q_r = Q_s = 4q_{\text{фс}} + B_s d_s = 4 \cdot 502 + 240 \cdot 5,7 = 3375 \text{ мм}^2.$$

Отношение оснований фланца

$$\frac{a_s}{b_s} = \frac{6,1}{12,5} = 0,49.$$

Уширение предварительно выбираем по графику<sup>1</sup>: для разрезного калибра  $\Delta B = 5$  мм; для остальных калибров  $\Sigma \Delta B_{2 \div 8} = 40$  мм; общее уширение  $\Sigma \Delta B_{1 \div 8} = 45$  мм.

<sup>1</sup> Здесь и дальше используются рисунки и формулы из докладов А. П. Чекарёва настоящего сборника.

Ширина заготовки

$$B_0 = B_s - \Sigma \Delta B_{1 \div 8} = 240 - 45 = 195 \text{ мм.}$$

Ширина разрезного калибра

$$B_1 = B_0 + \Delta B_1 = 195 + 5 = 200 \text{ мм.}$$

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

$$\Delta B_{2 \div 8} = B_s - B_1.$$

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

ТАБЛИЦА 1. ВЫСОТА ФЛАНЦЕВ

Фланцы	Высота фланцев в калибрах, мм							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Верхний . . . . .	68*	69**	63*	64**	58*	59**	53*	54**
Нижний . . . . .	75**	69*	70**	64*	65**	59*	60**	54*

\* Закрытые фланцы.  
\*\* Открытые фланцы.

В табл. 1 приведена высота фланцев всех калибров с учетом чередования мест разъема валков. В чистовом калибре открытым фланцем является верхний, закрытым — нижний.

Большое основание открытого фланца разрезного калибра принимаем

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

Малое основание того же фланца

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

Площадь поперечного сечения открытого фланца

$$q_{\text{ф1}} = \frac{a_1 + b_1}{2} h_1 = \frac{49 + 100}{2} \cdot 75 = 5590 \text{ мм}^2.$$

Угол наклона разрезающего гребня

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

Координаты конструкционной точки

$$e = \frac{b_1 \operatorname{tg} \varphi_s - b_s \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_s} = \frac{100 \cdot 0,12 - 12,5 \cdot 0,68}{0,68 - 0,12} = 6,2 \text{ мм;}$$

$$C = \frac{e + b_s}{\operatorname{tg} \varphi_s} = \frac{6,2 + 100}{0,68} = 156,3 \text{ мм.}$$

Площадь закрытого фланца равна площади открытого:

$$q'_{\phi 1} = q_{\phi 1} = 5590 \text{ мм}^2.$$

Средняя толщина закрытого фланца

$$t'_1 = \frac{q'_{\phi 1}}{h_1} = \frac{5590}{68} = 82,0 \text{ мм.}$$

Угол наклона разрезающего гребня

$$\operatorname{tg} \varphi'_1 = \frac{t + e}{C - 0,5h} = \frac{82,0 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 68} = 0,722.$$

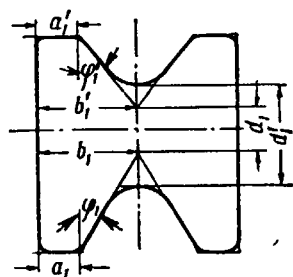


Рис. 2. Разрезной калибр

Большое основание закрытого фланца

$$b'_1 = C \operatorname{tg} \varphi'_1 - e = 156,3 \cdot 0,792 - 6,2 = 113,0 \text{ мм.}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a'_1 = 2t'_1 - b'_1 = 2 \cdot 82 - 113 = 51,0 \text{ мм.}$$

Толщина шейки разрезного калибра

$$d_1 = \frac{2q_{\phi 1}d_8}{2q_{\phi 8} + 0,5d_8 \Sigma \Delta B_{2 \div 8}} = \frac{2 \cdot 5590 \cdot 5,7}{2 \cdot 502 + 0,5 \cdot 5,7 \cdot 40} = 57,0 \text{ мм.}$$

Для обеспечения захвата полосы валками принимаем толщину шейки с учетом закругления гребня равной (рис. 2)  $d'_1 = 120 \text{ мм.}$

Общая высота калибра

$$H_1 = h_1 + h'_1 + d_1 = 75 + 68 + 57 = 200,0 \text{ мм.}$$

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

Для определения высоты исходной заготовки используем формулы (13), (12) и (17):

$$k = \frac{H_p - d_1}{(H_p - d_1) + (B_p - 2a)} = \frac{(200 - 120)}{(200 - 120) + (200 - 100)} = 0,44;$$

$$\Delta q = \frac{2a(B_0 H_p - q_p)}{B_0} = \frac{100(195 \cdot 200 - 34000)}{195} = 2560 \text{ мм}^2.$$

$$H_0 = \frac{B_0}{q_p} \left( H_p - \frac{0,25k\Delta q}{a} \right)^2 = \frac{195}{34000} \left( 200 - \frac{0,25 \cdot 0,44 \cdot 2560}{50} \right)^2 = 222 \text{ мм.}$$

Принимаем  $H_0 = 230 \div 220 \text{ мм.}$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре

$$\mu_1 = \frac{220 \cdot 195 \cdot 0,98}{34000} = 1,24.$$

Угол захвата в начальный момент

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 - \frac{220 - 120}{750 - 120} \right) = 33^\circ.$$

Захват обеспечивается насечкой гребней валков.

Угол захвата по усредненному обжатию при установившемся процессе прокатки

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 - \frac{H_0 - \frac{Q_1}{B_1}}{D_0 - d_1} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{220 - \frac{34000}{200}}{750 - 120} \right) = 23^\circ.$$

#### Расчет промежуточных калибров

Общий коэффициент вытяжки во фланцах

$$\Sigma \mu_{\phi 2 \div 8} = \frac{q_{\phi 1}}{q_{\phi 8}} = \frac{5590}{502} = 11,12.$$

Выбираем коэффициенты вытяжки во фланцах по проходам:

$$\Sigma \mu_{\phi 2 \div 8} = \mu_{\phi 2} \mu_{\phi 3} \dots \mu_{\phi 7} \mu_{\phi 8} = 1,55 \cdot 1,58 \cdot 1,55 \cdot 1,48 \cdot 1,38 \cdot 1,27 \cdot 1,13 = 11,12.$$

Определим площадь поперечного сечения фланцев по проходам:

$$q_{\phi 7} = q_{\phi 8} \mu_{\phi 8} = 502 \cdot 1,13 = 566 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\phi 6} = q_{\phi 7} \mu_{\phi 7} = 566 \cdot 1,27 = 720 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\phi 5} = 720 \cdot 1,38 = 992 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\phi 4} = 922 \cdot 1,48 = 1470 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\phi 3} = 1470 \cdot 1,55 = 2280 \text{ мм}^2;$$

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

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

Общий коэффициент уменьшения толщины шейки

$$\eta_2 = \frac{d_1}{d_9} = \frac{57,0}{5,7} = 10,00.$$

Общий коэффициент уменьшения толщины шейки меньше общего коэффициента вытяжки фланцев вследствие того, что

часть металла из фланцев переходит в шейку (за счет образования части шейки из фланцев).

Принимаем для шейки ряд коэффициентов обжатия:

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

Определяем толщины шейки в калибрах:

$$d_2 = \frac{d_1}{\eta_2} = \frac{57,0}{1,55} = 36,7 \text{ мм}; \quad d_3 = \frac{36,7}{1,55} = 23,7 \text{ мм};$$

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

$$d_6 = \frac{10,7}{1,36} = 7,8 \text{ мм}; \quad d_7 = \frac{7,8}{1,24} = 6,3 \text{ мм};$$

$$d_8 = \frac{6,3}{1,11} = 5,7 \text{ мм}.$$

Уширение в калибре принимаем пропорциональным деформации шейки<sup>1</sup> и общее уширение распределяем, пользуясь относительным приращением длины шейки. Сумма величин относительного приращения длины шейки равна

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

Коэффициент пропорциональности

$$m = \frac{\Sigma \Delta B_{2+8}}{\Sigma (\mu_\phi - 1)_{2+8}} = \frac{40}{2,79} = 14,4.$$

Уширение по проходам:

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

$$\Delta B_3 = 14,4 \cdot 0,55 = 7,9 \text{ мм}; \quad \Delta B_4 = 14,4 \cdot 0,52 = 7,4 \text{ мм};$$

$$\Delta B_5 = 14,4 \cdot 0,46 = 6,6 \text{ мм}; \quad \Delta B_6 = 14,4 \cdot 0,36 = 5,3 \text{ мм};$$

$$\Delta B_7 = 14,4 \cdot 0,24 = 3,3 \text{ мм}; \quad \Delta B_8 = 14,4 \cdot 0,11 = 1,6 \text{ мм}.$$

Ширина калибров

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

$$B_3 = 207,9 + 7,9 = 215,8 \text{ мм}; \quad B_4 = 215,8 + 7,4 = 223,2 \text{ мм};$$

$$B_5 = 223,2 + 6,6 = 229,8 \text{ мм}; \quad B_6 = 229,8 + 5,3 = 235,1 \text{ мм};$$

$$B_7 = 235,1 + 3,3 = 238,4 \text{ мм}; \quad B_8 = 238,4 + 1,6 = 240,0 \text{ мм}.$$

Определим размеры оснований фланцев.

<sup>1</sup> Можно также принимать уширение пропорциональным деформации фланцев.

*II калибр.* В этом калибре открытые и закрытые фланцы одинаковы. Средняя толщина фланца

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

Угол наклона внутренней стенки фланца

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{t_2 + e}{C - 0,5 h_2} = \frac{52,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 69} = 0,480.$$

Большое основание фланца

$$b_2 = C \operatorname{tg} \varphi_2 - e = 156,3 \cdot 0,480 - 6,2 = 68,8 \text{ мм}.$$

Малое основание фланца

$$a_2 = 2t_2 - b_2 = 2 \cdot 52,2 - 68,8 = 35,6 \text{ мм}.$$

*III калибр.* Средняя толщина открытого фланца

$$t_3 = \frac{q_{\phi 3}}{h_3} = \frac{2280}{70} = 32,6 \text{ мм}.$$

Средняя толщина закрытого фланца

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

Угол наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$\operatorname{tg} \varphi'_3 = \frac{36,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 63} = 0,340.$$

Большое основание закрытого фланца

$$b'_3 = 156,3 \cdot 0,340 - 6,2 = 46,9 \text{ мм}.$$

Малое основание закрытого фланца

$$a'_3 = 2 \cdot 36,2 - 46,9 = 25,5 \text{ мм}.$$

Угол наклона внутренней стенки открытого фланца

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

Большое основание открытого фланца

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

Малое основание открытого фланца

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

*IV калибр.* Средняя толщина фланцев

$$t_4 = t'_4 = \frac{1470}{64} = 23,0.$$

Угол наклона внутренних стенок фланца

$$\operatorname{tg} \varphi_4 = \operatorname{tg} \varphi'_4 = \frac{23,0 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 64} = 0,234.$$

Большое основание фланцев

$$b_4 = b'_4 = 156,3 \cdot 0,234 - 6,2 = 30,4 \text{ мм.}$$

Малое основание фланцев

$$a_4 = a'_4 = 2 \cdot 23,0 - 30,4 = 15,6 \text{ мм.}$$

V калибр. Средняя толщина открытого фланца

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

Угол наклона внутренней стенки открытого фланца

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

Большое основание открытого фланца

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

Малое основание открытого фланца

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

Средняя толщина закрытого фланца

$$t'_5 = \frac{992}{58} = 17,1 \text{ мм.}$$

Угол наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$\operatorname{tg} \varphi'_5 = \frac{17,1 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 58} = 0,183.$$

Большое основание закрытого фланца

$$b'_5 = 156,3 \cdot 0,183 - 6,2 = 22,4 \text{ мм.}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a'_5 = 2 \cdot 17,1 - 22,4 = 11,8 \text{ мм.}$$

VI калибр. Средняя толщина фланцев

$$t_6 = t'_6 = \frac{720}{59} = 12,2 \text{ мм.}$$

Угол наклона внутренних стенок фланца

$$\operatorname{tg} \varphi_6 = \operatorname{tg} \varphi'_6 = \frac{12,2 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 59} = 0,145.$$

Большое основание фланцев

$$b_6 = b'_6 = 156,3 \cdot 0,145 - 6,2 = 16,5 \text{ мм.}$$

Малое основание фланцев

$$a_6 = a'_6 = 2 \cdot 12,2 - 16,5 = 7,9 \text{ мм.}$$

VII калибр. Средняя толщина открытого фланца

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

Угол наклона внутренней стенки открытого фланца

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

Большое основание открытого фланца

$$b_7 = 156,3 \cdot 0,124 - 6,2 = 13,1 \text{ мм.}$$

Малое основание открытого фланца

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

Средняя толщина закрытого фланца

$$t'_7 = \frac{566}{53} = 10,7 \text{ мм.}$$

Угол наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$\operatorname{tg} \varphi'_7 = \frac{10,7 + 6,2}{156,3 - 0,5 \cdot 53} = 0,130.$$

Большое основание закрытого фланца

$$b'_7 = 156,3 \cdot 0,130 - 6,2 = 14,2 \text{ мм.}$$

Малое основание закрытого фланца

$$a'_7 = 2 \cdot 10,7 - 14,2 = 7,2 \text{ мм.}$$

Результаты расчета сведены в табл. 2. Коэффициенты вытяж-

ТАБЛИЦА 2. ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ ОБЛЕГЧЕННОЙ  
ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ 24

№ прохода	Коэффициент вытяжки $\mu$	Площадь поперечного сечения калибра $Q$ , мм <sup>2</sup>	Ширина калибра $B$ , мм	Толщина шейки $d$ , мм	Площадь поперечного сечения фланца $Q_f$ , мм <sup>2</sup>	Открытые фланцы			Закрытые фланцы		
						высота $h$ , мм	большое основание $b$ , мм	малое основание $a$ , мм	высота $h$ , мм	большое основание $b'$ , мм	малое основание $a'$ , мм
0	—	44000	195	220	—	—	—	—	—	—	—
1	1,24	34000	200,0	57,0*	5590	75,0	100,0	49,0	68,0	113,0	51,0
2	1,55	22030	207,9	36,7	3600	69,0	68,8	35,6	69,0	68,8	35,6
3	1,55	14230	215,8	23,7	2280	70,0	43,8	21,4	63,0	46,9	25,5
4	1,52	9360	223,2	15,6	1470	64,0	30,4	15,6	64,0	30,4	15,6
5	1,47	6430	229,8	10,7	992	65,0	21,0	9,4	58,0	22,4	11,8
6	1,37	4710	235,1	7,8	720	59,0	16,5	7,9	59,0	16,5	7,9
7	1,25	3760	238,4	6,3	566	60,0	13,1	5,7	53,0	14,2	7,2
8	1,12	3375	240,0	5,7	502	54,0	12,5	6,1	54,0	12,5	6,1

\* С учетом закругления 120 мм.

ки в калибрах определяются делением их площадей. Эти коэффициенты являются по величине промежуточными между коэффициентами вытяжки фланцев и коэффициентами обжатия шейки.

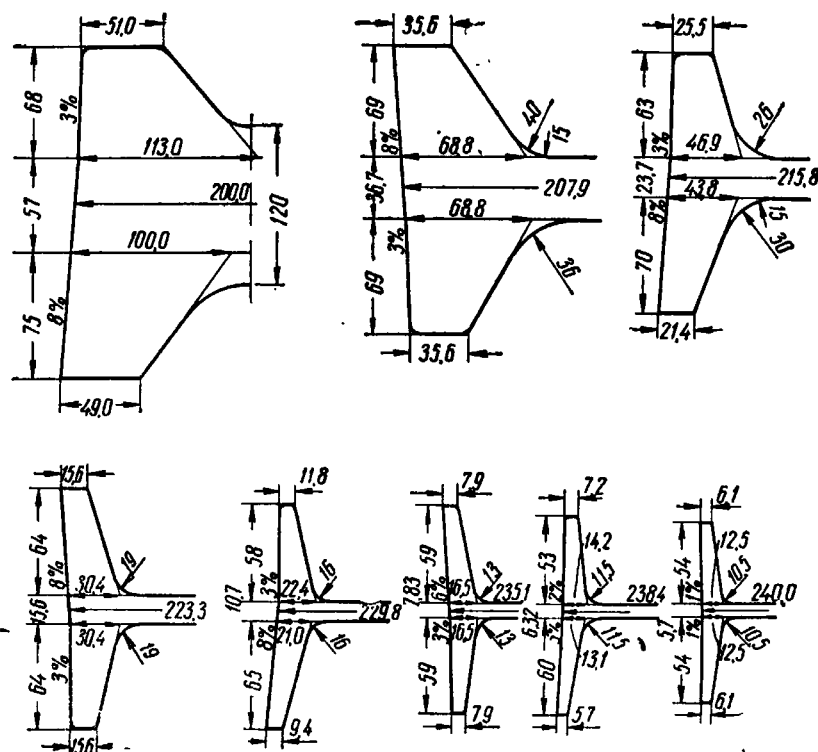


Рис. 3. Калибры для прокатки двутавровой балки № 24

Расчет заканчивается построением калибров. Расчетная калибровка приведена на рис. 3. Радиусы закругления в калибрах выбраны по практическим данным.

Мер. инж. К. РЫТЕЛЬ

(Институт металлургии железа, Гливице, ПНР)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ В РАЗРЕЗНОМ КАЛИБРЕ

Разрезной калибр имеет большое значение для прокатки фланцевых профилей, так как разделяет полосу прямоугольного сечения на шейку и фланцы будущего двутавра или швеллера. Знание деформации металла в разрезном калибре позволяет проектировать последующие калибры так, чтобы течение металла между отдельными частями профиля было минимальным, что обеспечивает большую вероятность получения хорошего готового профиля.

Чем менее удовлетворительно будет спроектирован разрезной калибр, тем более значительными будут различия между заданным и действительно полученным профилем. Вследствие этого возникает необходимость устранять эти различия в остальных фасонных калибрах, что отрицательно отражается на работе всей системы калибров и может даже привести к ее нарушению.

Так как теоретическое определение течения металла в разрезном калибре весьма сложно, воспользуемся эмпирическим путем, положив в основу опытные зависимости между некоторыми величинами разрезного калибра.

В литературе число работ по разрезным калибрам весьма ограничено. Проектируя разрезные калибры, обращают внимание на высоту сечения заготовки, обеспечивающую правильное заполнение калибра, ширину заготовки и связанное с ней уширение, а также форму и угол развала разрезающих гребней (ножей) калибра.

#### Высота заготовки

До сих пор наиболее широко разработан вопрос подбора высоты сечения исходной заготовки. Существует несколько формул и методов расчета высоты фланца, которую можно получить в данном калибре из данной заготовки. С целью возмож-

ности анализировать и сравнить эти формулы их преобразовали так, чтобы в явном виде были представлены переменные  $\gamma_s$ ,  $\gamma_n$  и другие параметры, принятые в настоящей работе.

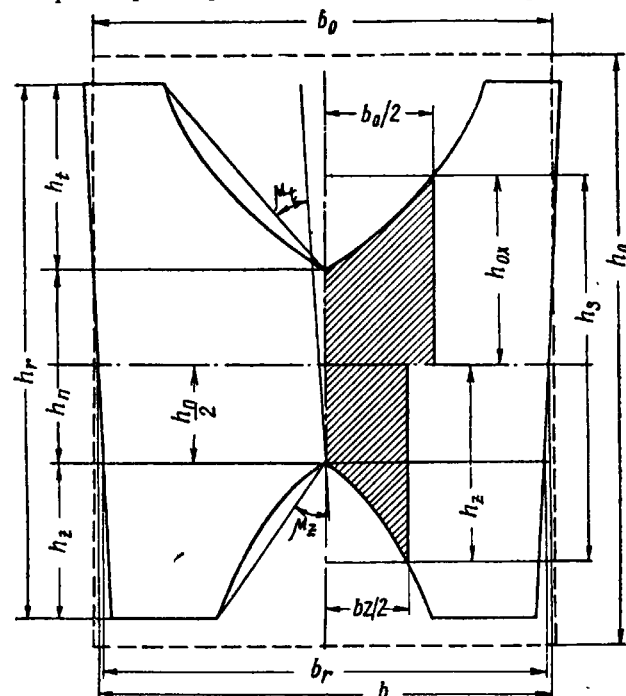


Рис. 1. Размеры разрезного калибра и заготовки:

- |  |   |
|--|---|
| $\chi_z$ — коэффициент утяжки закрытого фланца, равный $h_z/h_r$ ; | $F_0$ — площадь сечения заготовки;                                    |
| $\nu$ — угол наклона боковых граней;                               | $F_r$ — то же, разрезного профиля;                                    |
| $\lambda$ — коэффициент вытяжки;                                   | $\gamma_s$ — коэффициент обжатия фланца по высоте, равный $h_r/h_0$ ; |
| $h_r$ — высота разрезного профиля;                                 | $\gamma_n$ — коэффициент обжатия шейки, равный $h_n/h_0$ ;            |
| $b$ — ширина разрезного профиля;                                   | $\beta$ — коэффициент уширения, равный $b_r/b_0$ ;                    |
| $h_0$ — высота заготовки;  | $\delta_0$ — коэффициент формы, равный $b_0/h_0$ ;                    |
| $h_t$ — высота открытого фланца;                                   | $a_s$ — средняя ширина фланцев с одной стороны профиля;               |
| $h_n$ — высота шейки (в наиболее тонком месте);                    | $\phi$ — коэффициент ширины фланцев, равный $2a_s/b_r$ ;              |
| $h_z$ — высота закрытого фланца;                                   |   |
| $b_0$ — ширина заготовки;  |   |
| $b_r$ — ширина разрезного калибра у кон-                           |   |

Метц [1] принимает разность по высоте калибра и заготовки равной 7—20% высоты калибра:

$$\gamma_s = \frac{1}{1,07 \div 1,2} \quad (1)$$

Гольцвейлер и Даль [2] принимают разность по высоте заготовки и калибра равной 5—10 мм:

$$\gamma_s = 1 - \frac{(5 \div 10 \text{ мм})}{h_0} \quad (2)$$

При расчете высоты заготовки можно также использовать формулы для коэффициента средней вытяжки. Для этого используют обычно формулы Тафеля или Лендла и некоторые другие аналогичного типа. Эти формулы дают результаты, отличающиеся от действительных значений, так как они не вытекают из закона постоянства объема.

Известной и часто применяемой является формула Экелунда для определения высоты фланцев. Она основана на расчете уширения средней обжимаемой части заготовки. Экелунд рассчитывает уширение по формуле Жеза, принимая коэффициент при  $\Delta h$  равным 0,25 (Жез принимает его равным 0,3):

$$\Delta b = 0,25 \Delta h, \quad (3)$$

что в сочетании с точным делением профиля на части дает каждому разрезному калибру один размер высоты заготовки:

$$h_0 = 4F_{ss} \left( \frac{1}{h_{ss}} - \frac{b_0}{F_p} \right) + h_{ss}, \quad (4)$$

где  $F_{ss}$  — площадь сечения средней части разрезного профиля;

$h_s = \frac{F_r}{b_r}$  — в случае асимметрии рассчитывается как сумма высот средней открытой и закрытой частей;

$h_{ss}$  — средняя высота площади сечения, равная

$$\frac{F_s}{b_s} + \frac{F_d}{b_0}.$$

Ширины  $b_z$  и  $b_0$  — это расстояния между точками, определенными на очертании фланцев высотами  $h_z$  и  $h_{0x}$ . Деление профиля на части и примененные обозначения приведены на рис. 1.

Формула Экелунда в форме, содержащей  $\gamma_s$  и  $\gamma_n$ , весьма сложна:

$$\gamma_s = \gamma_n \left( \frac{1-\phi}{\phi} \right) \left( \frac{4\delta_0}{4\delta_0\beta(1-\phi) - (1-\gamma_n)} - 1 \right). \quad (5)$$

Диаграмма этой формулы приведена на рис. 2. Имеем  $\gamma_s=0$ , если  $\gamma_n=0$  или

$$\gamma_n = 4\delta_0[1 - \beta(1 - \phi)] + 1.$$

Для интересующих нас значений диаграмма пересекает в двух точках ось  $\gamma_n$ , а именно для  $\gamma_n=0$  и в точке  $\gamma_n > 1$ . Как следует из диаграммы, существуют такие значения  $\phi$  и  $\delta_0$ , для которых  $\gamma_s > 1$  при  $\gamma_n < 1$ . В общем максимум функции находится в области  $\gamma_n < 1$ ; т. е. большие значения  $\gamma_n$  дают меньшие значения  $\gamma_s$ . Увеличение  $\phi$  вызывает повышение значения  $\gamma_s$ , а

прирост  $\delta_0$  — уменьшение  $\gamma_s$ . Вследствие такого хода кривых формула только в некоторых случаях дает хорошие результаты.

Анализируя течение металла между необжимаемыми фланцами и сильно обжимаемой шейкой, а также удлинение фланцев, вызванное значительной вытяжкой шейки, М. С. Мутьев [3] вывел упрощенную формулу:

$$\frac{1}{\gamma_s} \approx 0,65 + 0,35 \frac{b_0 h_r}{F_r},$$

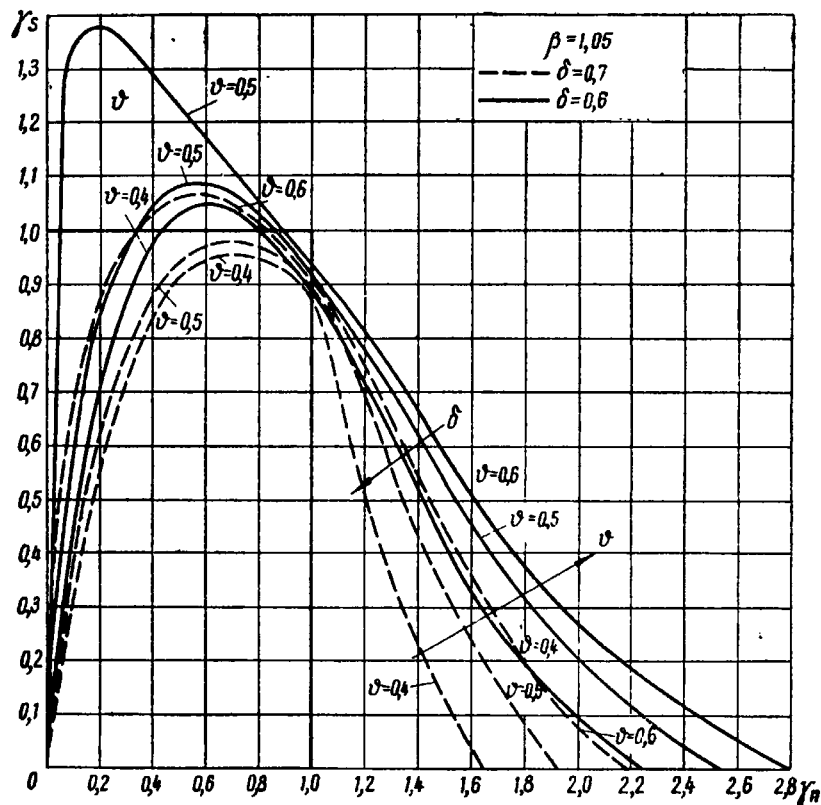


Рис. 2. График к формуле Эжелунда

которая после соответствующих подстановок принимает следующий вид:

$$\gamma_n = \frac{\gamma_s [0,35\gamma_s - \delta\beta(1 - 0,65\gamma_s)]}{\beta(1 - \delta)(1 - 0,65\gamma_s)}.$$

График этой формулы при  $\beta = 1,05$ , приведенный на рис. 3, является параболой, ось которой параллельна оси  $\gamma_n$ . Она пересекает ось  $\gamma_s$  в точках  $\gamma = 0$  и

$$\gamma_s = \frac{\delta\beta}{0,35 + 0,65\delta\beta};$$

для  $\gamma_s = 1$

$$\gamma_n = \frac{1 - \delta\beta}{\beta(1 - \delta)}.$$

Это выражение меньше единицы для всех значений  $\beta$ , превышающих единицу. Из этого следует, что существуют такие значения  $\gamma_n < 1$ , для которых  $\gamma_s > 1$ . Это, конечно, недостаток рассматриваемой формулы, однако следует признать, что для применяемых на практике значений  $\gamma_n$  значения  $\gamma_s < 1$ .

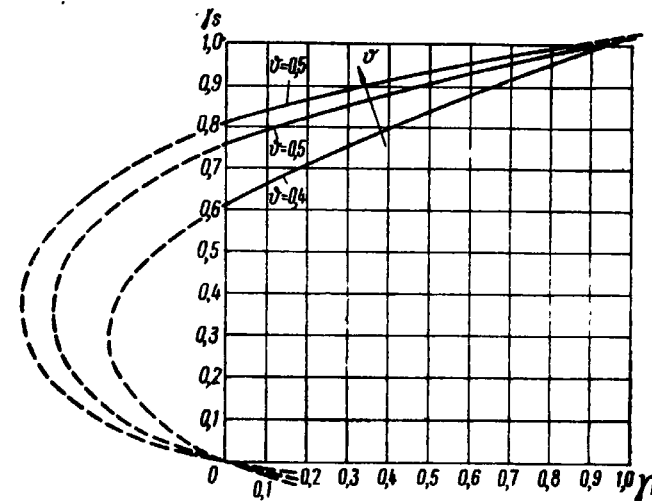


Рис. 3. График к формуле Мутьева (упрощенной)

Формула Бахтинова [4] разработана на основании анализа вынужденного удлинения фланцев сильно обжатой шейкой:

$$h_0 = \frac{\left(2 + \frac{b_r - 2b}{b_r - 2a}\right)(h_r b_r - F_r)}{1,5(b_0 + b_r)} + h_r,$$

где  $a$  — толщина фланца у основания;

$b$  — толщина фланца у его конца.

После преобразований получаем

$$\gamma_s = \frac{\gamma_n 1,94\beta(1 - \delta) + \beta + 1}{1,94\beta(1 - \delta) + \beta + 1}.$$

Это уравнение представляет пучок прямых линий, пересекающихся в точке 1,0 (для  $\gamma_n = 1$ ,  $\gamma_s = 1$ ). Для  $\gamma_n = 0$ .

$$\gamma_s = \frac{1 + \beta}{1,94\beta(1 - \delta) + \beta + 1}.$$



При повышении  $\phi$  наклон прямых возрастает; при  $\phi = 1$  формула становится независимой от  $\gamma_n$ . Для применяемых на практике значений  $\phi$  и  $\beta$  всегда  $\gamma_s < 1$ . В этом отношении формула дает логичные результаты. График, отображающий формулу, приведен на рис. 4.

Существует еще один способ подбора высоты заготовки. Он заключается в выборе высоты на основании ряда значений обжатий шейки в данной калибровке. Для этого чаще всего применяют кривую Кирхберга последовательности обжатий шейки.

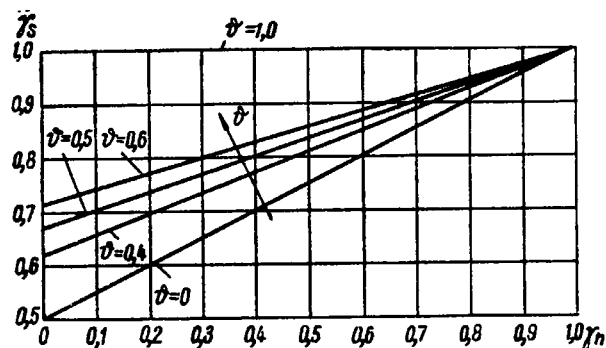


Рис. 4. График к формуле Бахтинова

При данном готовом профиле и данном числе проходов, применяя в каждом из них постепенно повышающиеся (считая от конца прокатки) по заданной кривой обжатия шейки, рассчитывают толщины шеек; продолжая расчеты за пределами разрезного калибра, получают высоту заготовки.

Этот способ (применяемый также и Метцом для предложенного им метода распределения обжатий шейки по отдельным проходам) дает значения, не связанные с величиной фланцев.

### Форма разрезного гребня

Этот вопрос в литературе освещен весьма недостаточно. Существующие данные сводятся к констатированию, что величина угла развала, характеризующая гребень, изменяется в пределах 45—60°, причем выбор ее производится в зависимости от соотношения размеров заготовки. При выборе угла развала следует обратить внимание на быстрый износ острых гребней; тупой гребень сильно влияет на уменьшение высоты фланцев.

Очертание профиля гребня принимается обычно в виде дуги круга или же участка параболы, но при этом отсутствуют рекомендации, для какого угла гребня применение того или иного профиля гребня более рационально.

### Уширение

Величина уширения определяется шириной по дну и наклон боковых граней калибра. Наклон принимают в зависимости от наклона фланцев в следующих проходах. Однако, если во время прокатки наблюдается быстрый износ боковой грани калибра в области шейки, обозначающий, что принято слишком большое ограничение уширения, то следует увеличить ширину дна или угол наклона боковых граней калибра.

Ширину по дну калибра принимает равной или несколько меньшей ширины заготовки для обеспечения хорошего захвата прокатываемой полосы валками и ее устойчивости во время прокатки. Математических зависимостей, определяющих уширение в разрезном калибре, в литературе не содержится.

Давления и крутящие моменты, возникающие при прокатке в разрезном калибре, рассмотрены пока в одной работе [5]. Авторы описывают в ней опыты прокатки в симметричных разрезных калибрах. Применяли два типа гребней: параболический и плоский. Осевые усилия измеряли проволочными тензометрами на вырезанных сегментах боковых граней калибра. В калибрах прокатывали образцы прямоугольного сечения различной ширины и высоты. Одновременно с осевыми усилиями замеряли также давление на нажимные винты и крутящие моменты.

Для определения поверхности контакта металла с боковыми гранями получали недокаты. Всего было прокатано 70 образцов. Найдена определенная прямолинейная зависимость между осевым и вертикальным давлением. Прямые линии имеют различный наклон в зависимости от коэффициента формы и размеров заготовки.

Исследователи, изучающие явление разрезания металла, связывают одной функциональной зависимостью  $\gamma_s$  с  $\gamma_n$ ,  $\delta_0$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ . Кроме того, делались попытки определить соотношение  $P_s/P_n$  в зависимости от типа калибра.

Предположим, что нам известна функция  $\gamma_s$  ( $\gamma_n$ ,  $\delta_0$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ ). Возможно ли на ее основании однозначно спроектировать разрезной профиль? Оказывается, что нет, так как мы не располагаем данными, позволяющими определить, какая часть фланца будет формироваться закрытой, а какая — открытой частью калибра. Поэтому необходимо установить зависимость глубины заполнения закрытой части калибра (коэффициент  $x_z$ ) от  $\gamma_n$ ,  $\delta_0$ ,  $\beta$  и  $\phi$ . Полезно также знать давления металла на валки и крутящие моменты на обоих валках.

Для сбора необходимого экспериментального материала произвели опыты по прокатке образцов в разрезном калибре. Для этих опытов были спроектированы валки со сборными ка-

либрами из колец, образующих боковые грани и разрезающий гребень.

На рис. 5 изображены валки со сборными калибрами. Боковые взаимозаменяемые кольца изготовлены в трех вариантах, отличающихся друг от друга значением угла. Взаимозаменяемыми являются также и гребни. Для них изготовили восемь колец, профили которых приведены на рис. 6. Для гребня приняли параболическую кривую, уменьшая ее в пропорции 1:2,5. Один и

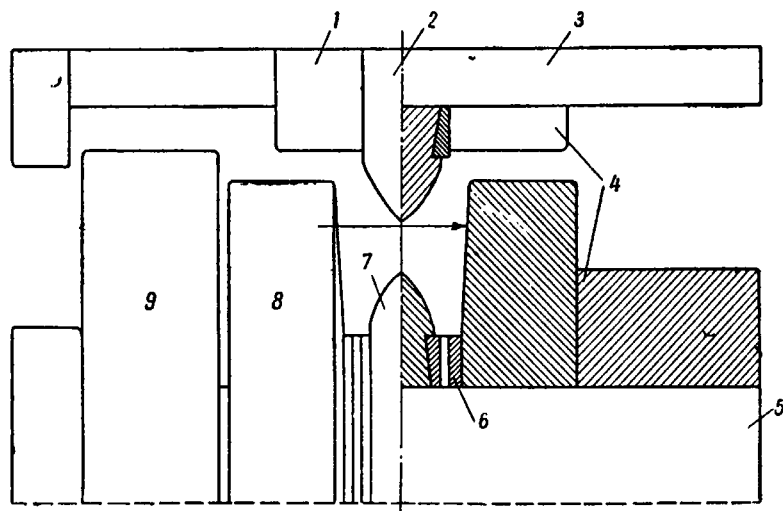


Рис. 5. Составной разрезной калибр:

1 -- верхнее опорное кольцо; 2 -- верхний гребень; 3 -- стержень верхнего вала; 4 -- нажимные кольца; 5 -- стержень нижнего вала; 6 -- дистанционное кольцо; 7 -- нижний гребень; 8 -- опорное нижнее кольцо; 9 -- измерительное кольцо (для замера осевого давления)

тот же гребень может быть установлен на верхнем или нижнем валке. Работающие совместно гребни, их диаметры и углы  $\gamma$ , при которых они работали, отвечали разным вариантам. Каждый вариант был представлен на валках обычного диаметра 340 мм, а также диаметров 380 и 420 мм. Между кольцами устанавливали дистанционные полукольца, позволяющие изменить ширину калибра (величину  $\beta$ ).

Для исследований использовали образцы из стали Ст. 0 длиной 200 мм различного сечения. Образцы небольшими партиями (по 4—8 шт.) нагревали в газовой печи до 1170—1200°C. Это способствовало их относительно быстрому нагреву и незначительному окалинообразованию. Во время прокатки измеряли давление металла на валки, моменты нижнего и верхнего валков, продольное давление (на стенки калибра), а также ско-

рость вращения и время полного оборота вала. Кроме того, измеряли также и путь, проходимый передним концом образца.

Исследования производили четырьмя сериями для различных значений  $\delta_0$  (в каждой серии значения  $\delta_0$  имели некоторые колебания, вызванные незначительной разницей в размерах заготовок). В каждой серии  $\delta_0$  применяли несколько пар гребневых колец; изменяли диаметр верхнего гребня и угол наклона

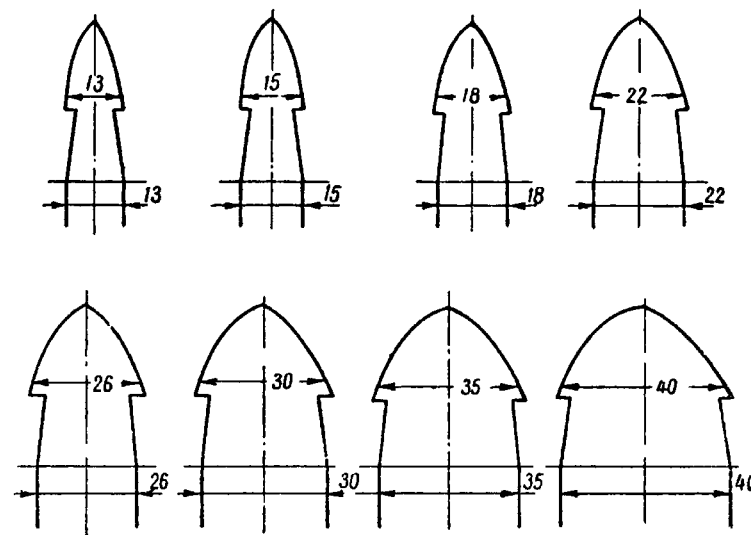


Рис. 6. Профили разрезающих гребней

боковых стенок. Для каждой пары гребней проводили опыты при различных значениях  $\beta$  и по два-три обжатия для каждого  $\beta$ . Для данного  $\gamma_n$  прокатывали 3—5 (в среднем четыре) образцов. В общем прокатали 683 образца, часть из которых была исключена из обработки результатов из-за различного рода дефектов.

Отобранные темплеты планиметрировали. Для каждого образца рассчитали значения  $\gamma_s$ ,  $\gamma_n$ ,  $\beta$ ,  $\delta_0$ ,  $x_z$  и  $\lambda$ . Образцы сгруппировали так, чтобы каждая группа содержала данные о прокатке образцов из заготовок при  $\delta_0 = \text{const}$  и для одного набора гребней. Различие в значениях  $\beta$  учли путем деления всего интервала каждой группы на три части.

На первом этапе анализа задача состояла в нахождении семейства кривых, характеризующих область разброса измеренных величин для всех групп опытов. Следовало найти два таких семейства для  $\gamma_s$  и для  $x_z$ . При этом надо было учитывать, что кривые для  $\gamma_n = 1$  должны дать  $x_z = 0$  и  $\gamma_s = 1$ . Зависимость  $x_z$  от  $\gamma_n$  определяет лучше всего пучок прямых, проходящих через

указанную точку. Пучок этих прямых приведен на рис. 7, в. Кривые, принятые для описания зависимости между  $\gamma_s$  и  $\gamma_n$ , приведены на рис. 7, д.

Математическое описание кривых  $\gamma_s = f(\gamma_n)$  весьма сложно, так как  $\gamma_s$  увеличивается для малых значений  $\gamma_n$  с их понижением. Этот рост часто настолько велик, что достигает значений  $\gamma_s > 1$ .

Указанное выше явление вызвано, как показывает осмотр темплетов, поворотом не подвергнувшейся деформации части

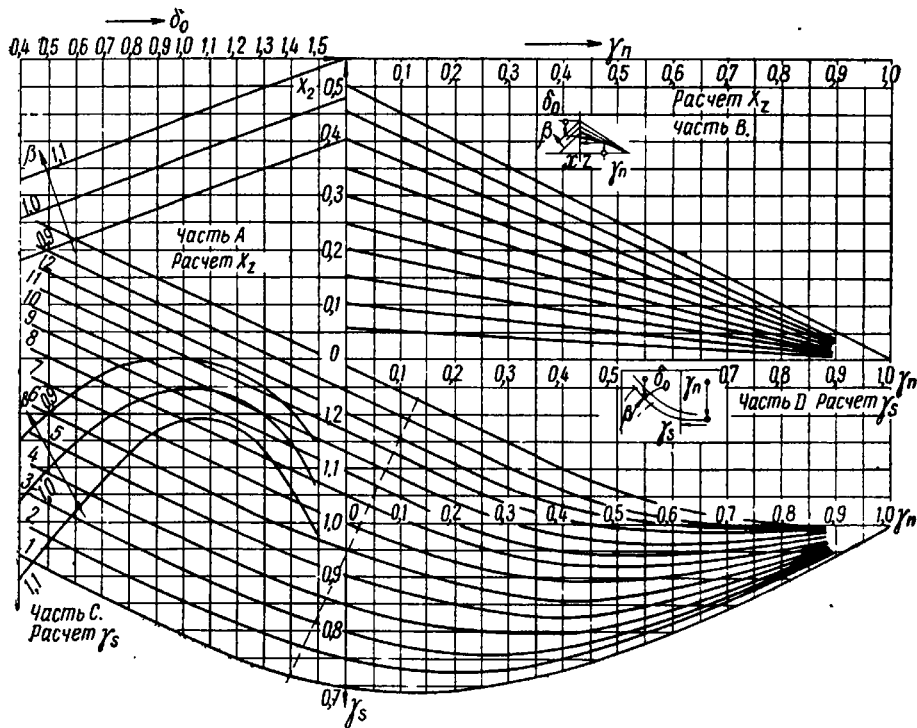


Рис. 7. Зависимость  $\gamma_s$  и  $x_z$  от  $\gamma_n$ ,  $\delta_0$  и  $\beta$

ребра (угла). Гребень вызывает не только разделение металла заготовки, но также и частичное вдавливание ее поверхности (рис. 8). Это вдавливание стягивает всю ребровую (угловую) часть по направлению, перпендикулярному оси калибра. Это явление в сочетании с возможным течением металла вверх вследствие выжимания гребнем вызывает поворот угловой части профиля заготовки.

До сих пор мы рассматривали только связь между  $\gamma_s$  или  $x_z$  и  $\gamma_n$ . Известно, однако, что  $\gamma_s$  и  $x_z$  являются также функцией

других величин. Из опытов следует, что экспериментальные точки располагаются в какой-то закономерности по отношению к  $\beta$ . Большим значениям  $\beta$  соответствуют преимущественно более высокие значения  $x_z$ ; по отношению к  $\gamma_s$  наблюдаем обратное явление. Это дает основание констатировать, что влияние  $\beta$  незначительно и с повышением  $\beta$  растет  $x_z$  и снижается  $\gamma_s$ . Более значительное влияние на эти обе величины ( $x_z$  и  $\gamma_s$ ) оказывает

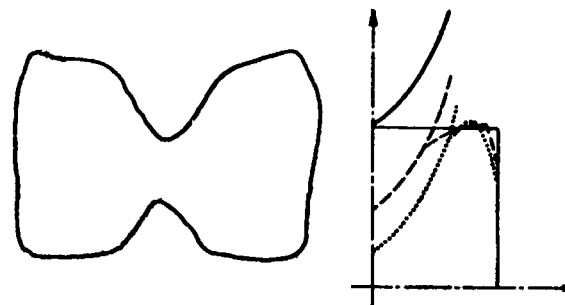


Рис. 8. Механизм поворота «углов» на концах открытых фланцев и темплет прокатанного образца

$\delta_0$ . Это влияние можно наблюдать, сравнивая между собой отдельные группы образцов.

Такое сопоставление приведено также на рис. 9. Точки на графиках этого рисунка являются местами пересечения линий, ограничивающих область отдельных групп, с ординатой  $\gamma_n = 0,2$  для  $x_z$  и осью  $\gamma_n = 0,0$  для  $\gamma_s$ . Эти величины нанесены на оси абсцисс рис. 9, а на оси ординат отложены значения  $\delta_0$ . Числа при точках — это варианты наборов гребней. Верхние пределы обозначены точками, нижние — крестиками. Точки, обозначенные номерами 1—8, описываются некоторыми кривыми, приведенными на рис. 9. Для  $x_z$  приняты прямые.

Из графиков рис. 9 следует, что соотношение ширины гребня и ширины заготовки вообще не влияет или же очень незначительно влияет на  $x_z$  и  $\gamma_s$  для гребней параболического типа. Кроме того, видно также, что  $x_z$  повышается с ростом  $\delta_0$ . Величина  $\gamma_s$  повышается с ростом  $\delta_0$  только до определенного предела, а за этим пределом уменьшается. Графики на рис. 9 имеют несколько кривых. На эти кривые, на основании экспериментальных данных, нанесены значения  $\beta$  от 0,9 до 1,1. Кроме того, эти кривые перенесены в соответствующем масштабе на рис. 7.

Это позволяет рассчитать  $x_z$  и  $\gamma_s$  на основании рис. 7.

В заключение следует обратить внимание на влияние изменения диаметра (точки 7 и 8) и угла  $\nu$  (точки 9 и 10). Из рис. 9 следует, что изменение диаметров, по-видимому, не влияет на  $x_z$

и  $\gamma_s$  (тогда как влияние угла  $\nu$  на  $x_z$  и  $\gamma_s$  вполне отчетливо видно). Уменьшение  $\nu$  вызывает повышение  $\gamma_s$  и уменьшение  $x_z$ . Немногочисленность опытов не позволяет количественно определить это влияние.

Описанные исследования позволили графически изобразить зависимость  $x_z$  и  $\gamma_s$  от  $\gamma_n$ . При заданных  $\gamma_n$ ,  $\delta_0$ ,  $\beta$  и  $\nu$  возможен подбор соответствующих значений для  $x_z$  и  $\gamma_s$ .

Ход расчета следующий:

1) на основании калибровки принимаем высоту фланцев и толщину шейки разрезного калибра;

2) из связи величин  $\beta$  и  $\nu$  для ориентировочно установленного значения  $\delta_0$  принимаем значения  $\beta$  и  $\nu$ ;

3) для принятых значений  $\delta_0$  и  $\beta$  рассчитываем по графику рис. 7 значения  $\gamma_s$  и  $\gamma_n$ ;

4) проверяем, получено ли по принятым и рассчитанным  $\gamma_s$  и  $\gamma_n$  одно значение  $h_0$ ; в случае отрицательного результата подвергаем корректировке исходные величины.

5) рассчитываем  $x_z$  (см. рис. 7) и остальные величины и строим калибр.

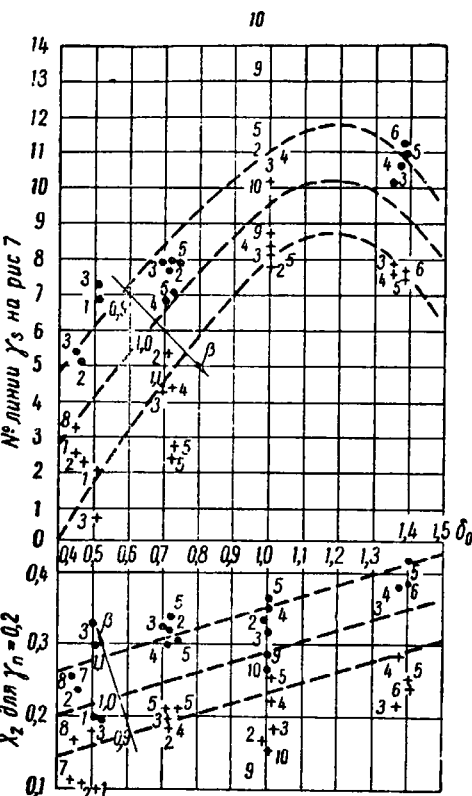


Рис. 9. Зависимость  $\gamma_s$  и  $x_z$  от  $\delta_0$  и  $\beta$  (для  $\gamma_n=0,2$  при определении  $x_z$  и  $\gamma_n=0,0$  при определении  $\gamma_s$ )

Таким образом, решена задача проектирования разрезного калибра с параболическим гребнем на основании результатов опытов.

### Литература

1. Н. Метц. Горячая прокатка и калибровка валков. Металлургиздат, 1937.
2. С. Holrweiler, Th. Dahl, Über das Kalibrieren von Formstahl, Stahl und Eisen, 55 (1935), s. 1081/86.
3. М. С. Мутьев. Сталь, 1947, № 4, стр. 315.
4. Б. П. Бахтинов, М. И. Штернов. Калибровка прокатных валков. Metallurgizdat, 1953.
5. А. Чекмарев, В. Клименко. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 1961, № 9, стр. 95.

Инж. Е. ФРЕМЕЛЬ

(Институт калибровки валков инженерной школы по прокатке и металлургии, г. Риза, ГДР)

## МЕТОД РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ И ШВЕЛЛЕРНЫХ КАЛИБРОВ

### О формоизменении во фланцевых калибрах

При прокатке балок и швеллеров исходное квадратное или прямоугольное сечение деформируется в меньшее сечение совершенно иной геометрической формы. Из этого вытекает, что уменьшение высоты сечения происходит неодинаково и в нем возникают зоны с разной вытяжкой. Если бы эти части сечения прокатывали изолированно друг от друга, то их длины были бы различны. Однако связь частей профиля приводит к выравниванию их длин и взаимному влиянию их друг на друга.

Следствием этого является различное уширение отдельных частей профиля. Если элементы профиля, подвергающиеся большему обжатию, составляют большую часть всего сечения профиля, то они увлекают за собой элементы, подвергающиеся меньшему обжатию, в результате чего получается усадка последних. Если, наоборот, большую часть сечения профиля составляют элементы, подвергающиеся меньшему обжатию, то они препятствуют вытяжке других элементов, подвергающихся большему обжатию, и последние увеличиваются по ширине. Тонкие элементы, имеющие большую вытяжку, не в состоянии растянуть остальные элементы, и поэтому они получают волнистость. Для тонких элементов (например, шейки) нельзя предусматривать в последних калибрах большой вытяжки.

Для расчета размеров калибра были предложены разные методы. Авторы этих методов предоставляли калибровщику большую или меньшую свободу в выборе обжатий, которые, исходя из профиля чистового калибра, должны привести к прямоугольной форме заготовки.

Для профилей, известных под названием нормальных, были установлены на практике определенные зависимости между об-

жатию и длиной фланца чистового профиля. Обычно после определения уменьшения ширины шейки, исходя из чистового калибра, определяли размеры сечения заготовки.

В зависимости от числа промежуточных калибров можно было выбрать размеры шейки и фланцев. При этом тот факт, что I калибр мог быть не заполнен металлом и вследствие несколько увеличенного обжатия фланцев могла происходить осадка последних в закрытых калибрах, не вызывал особых опасений.

Получать необходимую длину фланцев в чистовом калибре удавалось без особых затруднений. Однако при получении необходимой длины фланцев тонкостенных профилей возникает ряд трудностей. Целесообразно в первых проходах получить определенный избыток длины фланцев применением регулируемого разрезного калибра. Если такой возможности нет, то в закрытых частях II и III калибров не следует обжимать фланцы.

### Износ валков

Износ валков непосредственно связан с калибровкой. Однако большое значение имеет качество валков. Определение износа валков позволяет судить как о качестве валков, так и о калибровке. Имеющиеся в обычных паспортах валков данные о количестве прокатанного металла между переточками и величине снятия диаметра при переточке еще не характеризуют износоустойчивость валков и отдельных калибров.

Для определения износа валки устанавливают друг над другом на токарном станке или на стенде в клети так, как они находятся при прокатке. Затем посредством зонда измеряют зазоры между валком и шаблоном. В балочных и швеллерных калибрах характерным является износ открытых и закрытых фланцев. Зная уклон фланцев, можно определить величину съема по диаметру валков.

Раньше калибровки балочных и швеллерных профилей характеризовались тем, что фланцы были расположены почти вертикально к плоскости прокатки. Уклон внутренних граней фланцев составлял примерно 20%, внешних 3%. При среднем износе 0,5—0,7 мм на 1000 т проката для внутренней и внешней граней фланца получается съем 10—14 мм.

На величину съема можно влиять изменением уклона фланцев. Как для балочных, так и для швеллерных калибров можно увеличить уклон фланцев и при том же износе уменьшить величину съема на 30%. Уклон фланцев чистового калибра по допускам не должен превышать максимум 1,5%. Из-за малого уклона при переточке валков происходит расширение чистового калибра. В результате уменьшения величины съема для черновых калибров с большим уклоном увеличивается срок службы

валков. Может случиться, что допустимая величина съема еще не будет достигнута, а допуск по ширине профиля будет превышен. Срок службы валка в этом случае будет обусловлен чистовым калибром. Если необходимо еще более увеличить срок службы валка, то следует искать пути, позволяющие увеличить уклон фланца чистового калибра и произвести дополнительный изгиб профиля.

### Образцы современных калибровок балок и швеллеров

Ниже представлены некоторые калибровки балочных и швеллерных профилей, в том числе с большими уклонами флан-

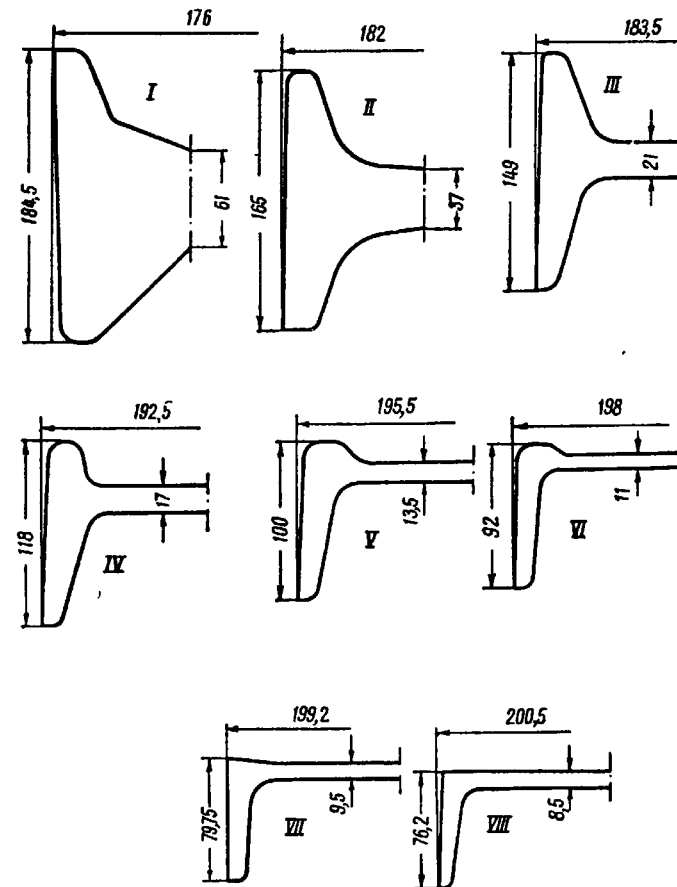


Рис. 1. Старая калибровка швеллера

цев. Все калибровки в настоящее время применяют на производстве.

На рис. 1 представлена старая калибровка швеллера. Пред-  
12\*

ставленная на рис. 2 новая калибровка швеллера выполнена в основном по методу, предложенному Д. И. Старченко. Недостатком ее является то, что развернутая форма калибров занимает много места, но это в какой-то мере компенсируется небольшим числом калибров.

На рис. 3 представлено сравнение коэффициентов вытяжки обеих калибровок. В первых четырех проходах в закрытых ручьях

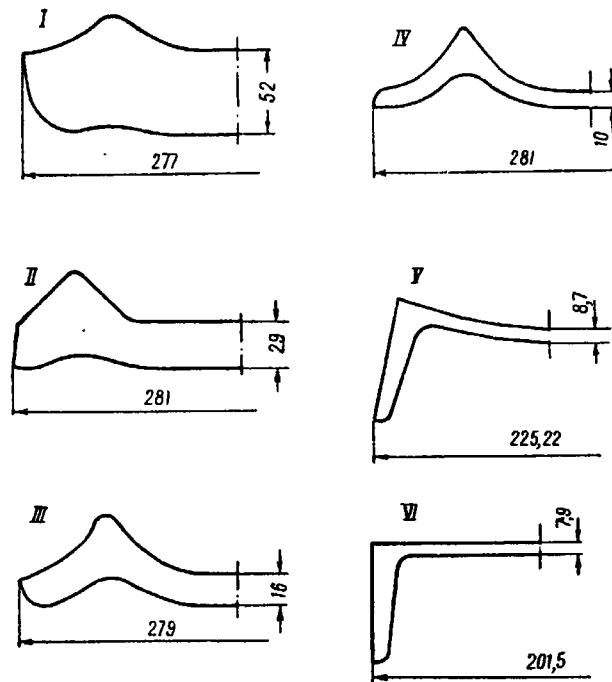


Рис. 2. Новая калибровка швеллера

ях применили значительно большие вытяжки. Обжатие в чистовом калибре небольшое, так как можно было ожидать, что вследствие почти вертикального положения фланцев потребуются больший съем металла валков, чем в черновых калибрах с большим уклоном фланцев.

При первой опытной прокатке обнаружили, что полки по длине не заполнялись и радиусы закругления между фланцами и шейкой были большими. Для устранения этого увеличили горизонтальные проекции фланцев I—III калибров и места сгибов (сопряжений шейки с фланцами).

Вторая опытная прокатка подтвердила правильность проведенных мероприятий.

Внедрение новой калибровки повысило часовую производительность стана, позволило перейти на обычные нелегированные валки из серого чугуна вместо стальных обжимных валков и достичь увеличения срока службы чистовых валков на 65%.

На рис. 4 показана калибровка швеллера с большим уклоном фланцев. Характерным для нее является перпендикулярность фланцев к шейке.

Определение площадей элементов профиля производится исходя из вытяжки в чистовом калибре. Зная площадь и длину шейки, находим ее толщину. Длина фланцев во всех калибрах сохраняется одинаковой. Зная площадь фланца, найденную по вытяжке, и его длину, получаем толщину фланца. Обжатие по краю фланца  $a$  принимаем  $\Delta h$ , а по основанию  $b$  оно равно  $k\Delta h$ . Коэффициент  $k$  выбираем из геометрического ряда или данных практики. В приложении I приведены формулы для расчета размеров профиля.

Таким способом производится калибровка швеллеров № 14—18. С 1960 г. по этой калибровке прокатали примерно 85 000 т швеллеров. В таблице приведены данные калибровки для швеллера № 16.

Наряду с повышением часовой производительности на 15—20% значительно увеличился срок службы валков.

Ранее швеллер № 30 прокатывали в трех клетях за 11 проходов. При переходе на новую полуразвернутую калибровку используют только две клетки и чис-

ДАННЫЕ РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ И ШВЕЛЛЕРНЫХ КАЛИБРОВ ПО МЕТОДУ МОДЕЛЕРА-ФРЕМЕЛЯ

№ калиб-ра	Угол $\alpha$	$k$	Шейка			Нижний фланец				Верхний фланец			
			$F_s$ мм <sup>2</sup>	$\Delta l$ мм	$l$ мм	$s$ мм	$\lambda_f$	$F$ мм <sup>2</sup>	$f$ мм	$\Delta h$ мм	$a$ мм	$b$ мм	$\lambda_f$
IX	1	—	960	—	160	6,0	—	329	35	—	6,5	12,3	—
VIII	4	1,30	1030	1,5	158,5	6,5	1,073	353	35	1,073	6,5	12,3	1,073
VII	5	1,495	1254	2,0	156,5	8,0	1,216	428	36,5	1,64	8,0	15,2	1,15
VI	6	1,72	1540	2,5	154	10,0	1,15	492	39,2	—	8,0	17,0	1,228
V	8	1,98	2040	3,0	151	13,5	1,324	651	39,2	2,76	10,7	22,5	1,25
IV	6	2,26	2950	3,5	147,5	20,0	1,35	878	44,7	—	10,7	28,5	1,45
III	6	2,61	5310	$\pm 0$	147,5	36,0	1,80	1580	55,7	8,66	19,0	51,5	1,70
II	4	3,0	7900	—6,5	152	52,0	1,441	2280	52,5	—	19,0	63,0	1,49

ло проходов уменьшено до семи. При этом повысилась часовая производительность, уменьшен парк валков, их износ и время пе-

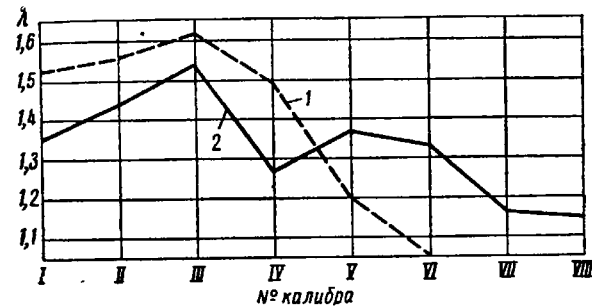


Рис. 3. Коэффициенты вытяжки в швеллерных калибрах:

1 — по новой калибровке; 2 — по старой калибровке

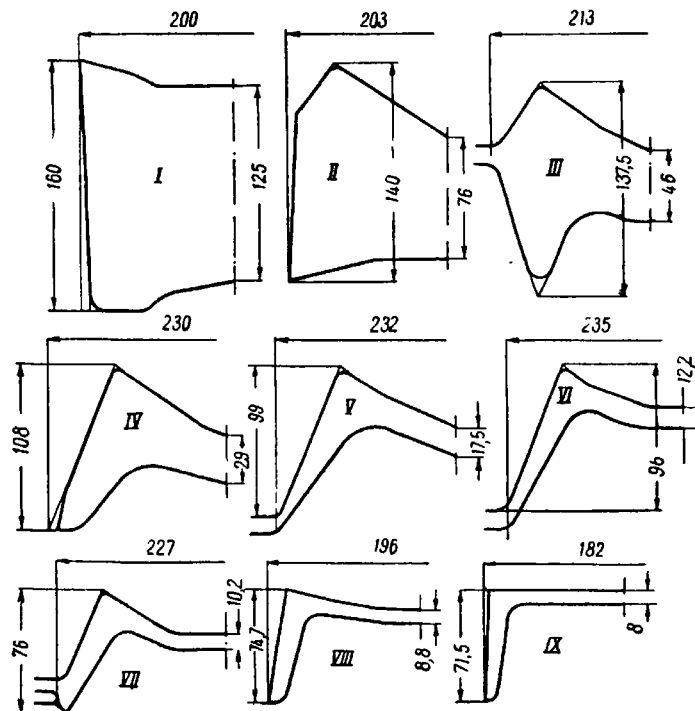


Рис. 4. Калибровка швеллера с большим уклоном фланцев

ренастройки. С 1962 г., когда эта калибровка была внедрена в производство, прокатано 7000 т швеллеров.

На рис. 5 и 6 показано применение больших уклонов фланцев для старой и новой калибровки балочных профилей. Калиб-

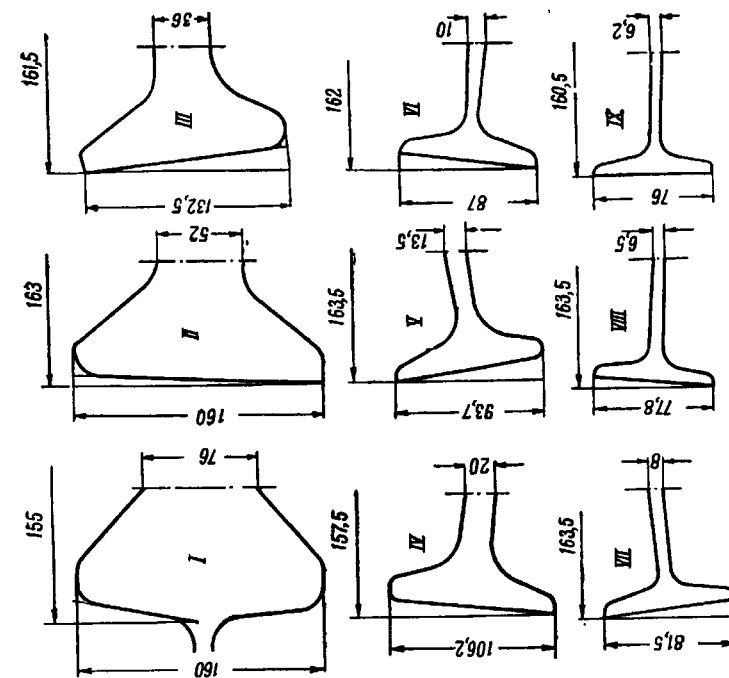


Рис. 6. Новая калибровка двутавровой балки

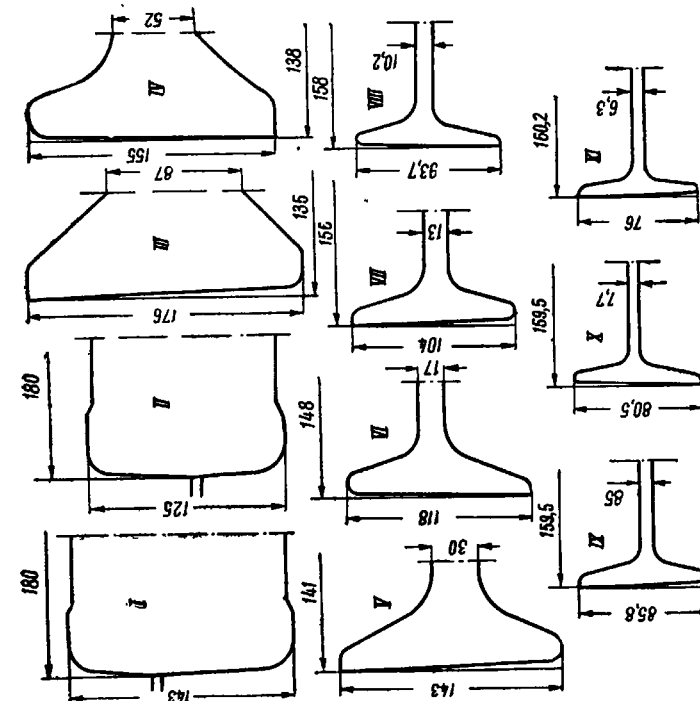


Рис. 5. Старая калибровка двутавровой балки

ровка производится по тому же методу, что и для швеллера. На рис. 7 приведен график коэффициентов вытяжки для указанных калибровок. Расчетные формулы приведены во II приложении.

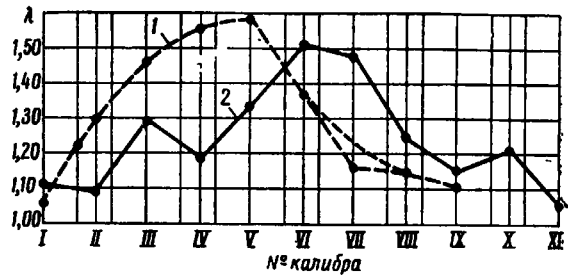


Рис. 7. Коэффициенты вытяжки в балочных калибрах:

1 — по новой калибровке; 2 — по старой калибровке

#### ПРИЛОЖЕНИЕ I.

##### Формулы для расчета<sup>1</sup> швеллерного калибра (рис. 8)

Расчет шейки:

$$\lambda_s = \frac{F_{s_{n-1}}}{F_{s_n}}; \quad F_{s_{n-1}} = \lambda_s F_{s_n};$$

$$\Delta l = l_n - l_{n-1}; \quad l_{n-1} = l_n - \Delta l;$$

$$s_{n-1} = \frac{F_{s_{n-1}}}{l_{n-1}}.$$

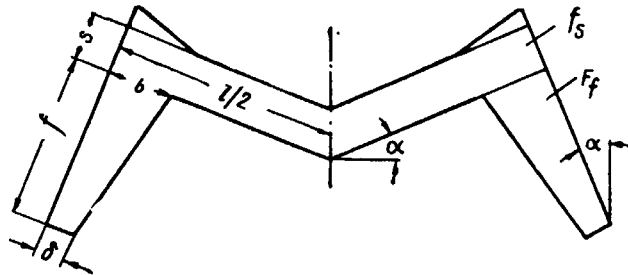


Рис. 8. Схема к выводу формул для расчета швеллерного калибра

Расчет фланцев:

$$\lambda_f = \frac{F_{f_{n-1}}}{F_{f_n}}; \quad F_{f_{n-1}} = \lambda_f F_{f_n};$$

<sup>1</sup> Обозначим здесь и далее номер рассчитываемого калибра через  $n-1$ , а номер предыдущего калибра, считая от чистового, через  $n$ .

$$f_{n-1} = f_n = \text{const}; \quad a_{n-1} = a_n + \Delta h;$$

$$b_{n-1} = b_n + k \Delta h; \quad \Delta h = \frac{1}{1+k} \left[ \frac{2F_{f_{n-1}}}{f_{n-1}} - (a_n + b_n) \right].$$

Исходя из чистового калибра коэффициенты  $k$  определяют следующим образом:

$$k_n = \eta; \quad k_{n-1} = \eta \cdot c; \quad k_{n-2} = \eta \cdot c^2;$$

$$k_{n-3} = \eta \cdot c^3; \quad k_{n-h} = \eta \cdot c^h; \quad c = \sqrt[p-1]{\frac{3}{\eta}},$$

где  $p$  — число закрытых калибров.

Коэффициент  $\eta$  принимают следующим образом:

№ профиля	...	< 14	14—26	> 26
$\eta$	...	1,2	1,3	1,6

#### ПРИЛОЖЕНИЕ II.

##### Формулы для расчета балочного калибра (рис. 9)

Расчет шейки:

$$\lambda_s = \frac{F_{s_{n-1}}}{F_{s_n}};$$

$$F_{s_{n-1}} = \lambda_s F_{s_n};$$

$$l_{n-1} = l_n - \Delta l;$$

$$s_{n-1} = \frac{F_{s_{n-1}}}{l_{n-1}}.$$

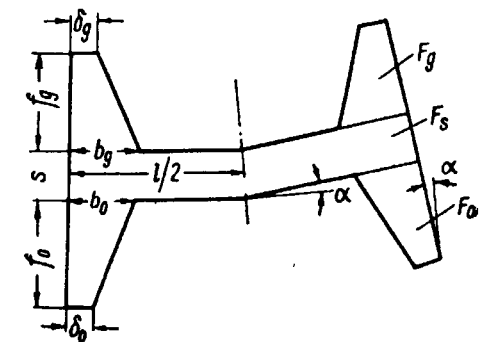


Рис. 9. Схема к выводу формул для расчета балочного калибра

Расчет открытого фланца:

$$\lambda_{f_0} = \frac{F_{0_{n-1}}}{F_{0_n}}; \quad F_{0_{n-1}} = \lambda_{f_0} F_{0_n};$$

$$f_{0_{n-1}} = f_{0_n} + k + \frac{\Delta s}{2}; \quad \Delta s = s_{n-1} - s_n;$$



$$a_{0n-1} = a_{g_n}; \quad b_{0n-1} = \frac{2F_{0n-1}}{f_{0n-1}} - a_{0n-1}.$$

Расчет закрытого фланца:

$$\lambda_{fg} = \frac{F_{0n-1}}{F_{g_n}}; \quad F_{g_{n-1}} = \lambda_{fg} F_{0n};$$

$$f_{g_{n-1}} = f_{0n};$$

$$a_{g_{n-1}} = a_{0n} + \Delta h; \quad b_{g_{n-1}} = b_{0n} + k\Delta h;$$

$$\Delta h = \frac{1}{1+k} \left[ \frac{2F_{g_{n-1}}}{f_{g_{n-1}}} - (a_{0n} + b_{0n}) \right].$$

Выбор коэффициента  $k$  указан в I приложении.

Доц. А. А. НЕФЕДОВ

(Зав. кафедрой прокатки Днепродзержинского  
металлургического завода — втуза, УССР)

### О МЕТОДАХ РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК И ШВЕЛЛЕРОВ

Двутаверовые балки и швеллеры относят к классу фланцевых профилей, которые, как известно, характеризуются элементами, оси которых расположены обычно под углом  $90^\circ$  к соединяющей их части. Это вызывает необходимость применять специальные приемы как для расчета калибровки, так и для наиболее рационального расположения профиля на валках.

При проектировании калибровок для прокатки балок и швеллеров пользуются различными методами, в основу которых положен один общий принцип: обеспечение равенства коэффициентов вытяжки в элементах профиля. Рациональность того или иного метода определяется прежде всего тем, насколько соблюдается указанный принцип в практических калибровках, которые, как правило, всегда несколько отличаются от расчетных. Причиной этого расхождения является то, что после расчета или в процессе расчета в калибровку вносятся коррективы, учитывающие конкретные, местные особенности стана и прокатки на нем. К таким особенностям относят: тип стана, скорость прокатки, температуру начала и конца прокатки, закон изменения температуры (а следовательно, и пластичность) элементов профиля по ходу прокатки и др.

Эти коррективы позволяют получить равенство коэффициентов вытяжки элементов профиля, несмотря на различные отклонения от идеальных условий процесса прокатки, которые обычно принимаются при расчетах. Однако при калибровке крупных балок условие равенства вытяжек элементов профиля не всегда выполняется.

Важное значение имеет также расположение калибров на валках, придание калибрам фланцевых профилей такой формы, которая дает возможность вести интенсивно прокатку и в то же время иметь минимальный расход валков и электроэнергии.

Все это в совокупности и определяет рациональность той или иной калибровки.

Могут быть случаи, когда вытяжки элементов профиля распределяются неравномерно: коэффициент вытяжки шейки профиля больше коэффициента вытяжки фланцев:  $\mu_{ш} > \mu_{ф}$  или, наоборот,  $\mu_{ф} > \mu_{ш}$ . В первом случае естественному удлинению шейки будут препятствовать менее деформируемые фланцы, оказывая дополнительное сопротивление продольному течению. В таких условиях получает развитие вынужденное уширение, и

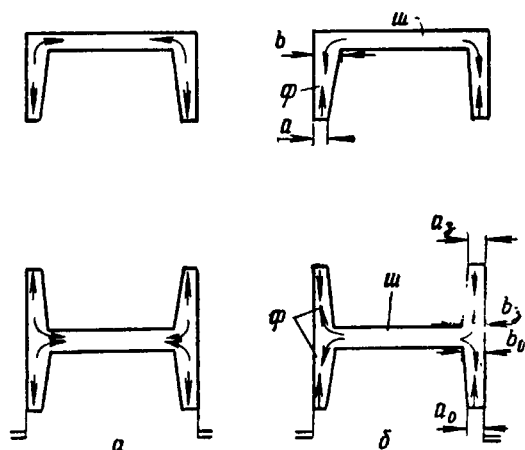


Рис. 1. Схемы течения металла в различных случаях прокатки во фланцевых калибрах:

$a - \mu_{ф} > \mu_{ш}$ ;  $b - \mu_{ш} > \mu_{ф}$

поэтому часть смещенного объема металла по высоте будет перемещаться в ширину, т. е. во фланцы. Стремление шейки сообщить профилю свой коэффициент вытяжки приводит к удлинению менее деформируемых элементов (фланцев), что может происходить только за счет уменьшения их сечения.

Так как толщина фланцев определяется размерами калибра, то получение профилем какой-то общей средней вытяжки обеспечивается в основном за счет уменьшения высоты фланцев, т. е. за счет их утяжки. Схема течения металла в балочном и швеллерном калибрах при рассмотренном соотношении коэффициентов деформации показана на рис. 1. Конечный результат, т. е. изменение высоты фланцев, будет определяться соотношением объема металла, смещенного из шейки во фланцы, и объема металла, идущего в утяжку.

Изменение высоты фланцев определяется не только соотношением коэффициентов вытяжки  $\mu_{ф}$  и  $\mu_{ш}$ , но и величиной сопротивления продольному течению со стороны менее деформируемых

фланцев. Чем больше сопротивление фланцев продольному течению, тем больший объем металла перемещается в поперечном направлении из шейки во фланцы и тем меньше изменение размеров последних. С достаточной степенью точности можно принять, что величина сопротивления продольному течению определяется соотношением площадей поперечного сечения фланцев и шейки. Чем более массивны фланцы, тем меньшим изменениям они подвергаются при таких условиях прокатки.

Если коэффициент вытяжки фланцев больше коэффициента вытяжки шейки ( $\mu_{ф} > \mu_{ш}$ ), происходит обратное явление: развитие вынужденного уширения во фланцах, тенденция к просту их высоты, несмотря на переход металла из фланцев в шейку. Такое перемещение металла в шейку нежелательно не только с точки зрения сохранения размеров элементов профиля, но и с точки зрения износа калибров.

При расчете калибровок двутавровых балок важное значение имеет соблюдение вертикального равновесия фланцев. В основном во всех калибровках в открытых ручьях коэффициент обжатия на конце фланца всегда больше, чем коэффициент обжатия толщины фланца у основания. В таких условиях получает развитие вынужденное уширение и имеется тенденция к увеличению высоты открытых фланцев. Однако одновременно в открытом ручье возникают вертикальные силы, которые стремятся направить течение металла в открытом фланце в сторону наименьшей деформации, т. е. в сторону закрытых фланцев.

Если вертикальный подпор со стороны закрытых фланцев окажется недостаточным (например, при  $\lambda_{за} < 1$ ,  $\lambda_{аб} > 1$ )<sup>1</sup>, то открытые фланцы могут уменьшаться по высоте, несмотря на развитие вынужденного уширения (рис. 2). При наличии необходимого подпора (при  $\lambda_{за} > 1$ , но  $\lambda_{за} < \lambda_{аб} > 1$ ) можно получить прирост высоты открытых фланцев. Если заклинивание металла в закрытых ручьях велико (при  $\lambda_{за} > \lambda_{аб} > 1$ ), то происходит незаполнение закрытых ручьев и переполнение открытых.

Из рассмотренных трех случаев наиболее рациональным с точки зрения стойкости валков является первый, так как по

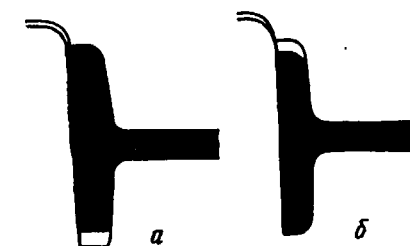


Рис. 2. Незаполнение закрытого фланца и переполнение открытого (а) и невыполнение (утяжка) открытого фланца (б) в зависимости от характера деформации фланцев

<sup>1</sup> Здесь  $\lambda$  обозначает коэффициент обжатия фланцев по толщине. Индексы: з — закрытый фланец; о — открытый фланец; а — конец фланца; б — основание фланца.

мере износа калибров открытые фланцы будут становиться полнее. Поступая в закрытые ручки, они будут создавать все больший вертикальный подпор открытым фланцам, создавая благоприятные условия для прироста их высоты.

В последние годы в стандартах на двутавровые балки и швеллеры произошли изменения: уменьшены толщины стенки и фланцев при одновременном уменьшении внутренних уклонов фланцев. Это в свою очередь вызвало существенные изменения в режимах деформации металла при прокатке балок и швеллеров и особенно в применяемых формах калибров. При прокатке фланцевых профилей соотношение между вертикальным обжатием шейки и боковым обжатием фланца подчиняется определенной закономерности:

$$\Delta h_6 = \Delta h_b \operatorname{tg} \psi,$$

где  $\Delta h_6$  — боковое обжатие фланца;

$\Delta h_b$  — вертикальное обжатие шейки;

$\psi$  — угол наклона внутренней грани фланца.

Нарушение этой закономерности нежелательно; как показывает опыт, увеличение бокового обжатия сверх нормы приводит к неравномерности деформации фланцев относительно шейки и в результате к появлению продольной волны на кромках фланцев (рис. 3).

Так как величина бокового обжатия определена и зависит только от внутреннего уклона фланцев, она ограничивает увеличение вертикального обжатия и с уменьшением уклона требует все большего числа калибров для получения готового профиля. В связи с этим на металлургических заводах применяют различные приемы, позволяющие в калибрах увеличить уклон фланцев и, следовательно, вести интенсивную прокатку, иметь удовлетворительный температурный режим и уменьшить расход валков.

Распространены следующие приемы: 1) разворот открытых фланцев балок и швеллеров при сохранении прямолинейности шейки; 2) увеличение уклона вследствие перегиба шейки при сохранении перпендикулярности фланцев к шейке (на основе метода Слика); 3) увеличение уклона вследствие перегиба шейки и отгиба открытых фланцев; 4) применение косорасположенных (наклонных) калибров. Характерное расположение калибров приведено на рис. 4. Второй и третий методы пользуются наибольшей распространенностью.

Для увеличения стойкости калибров чистовой клетки при прокатке швеллеров применяют два способа. Первый заключается в том, что размеры чистового профиля в развернутом виде получают в черновой клетке, а чистовая клетка служит только для того, чтобы придать профилю необходимую форму, т. е. выпра-

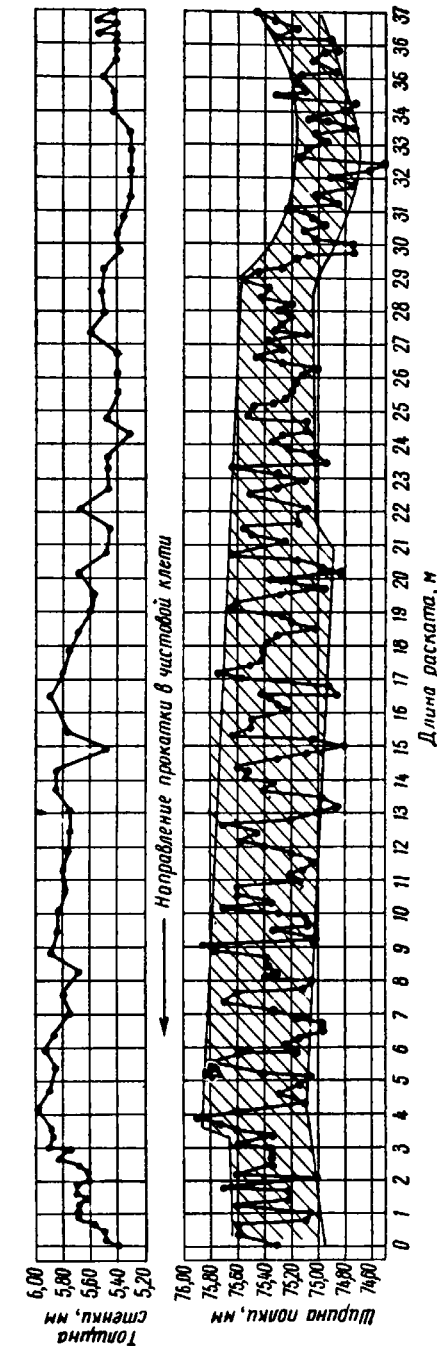


Рис. 3. Изменение толщины шейки и ширины полки по длине готового профиля облегченной балки № 19

вить его. Другой способ заключается в том, что из чистовой клетки выходит профиль в развернутом виде (вследствие изгиба шейки), а доправку профиля после его остывания на холодильнике производят на правильной машине со специальными прижимными роликами.

При прокатке балок широко применяют чистовые универсальные клетки; имеется опыт прокатки швеллеров в универсальной клетки. Профили, прокатанные в универсальной клетки, име-

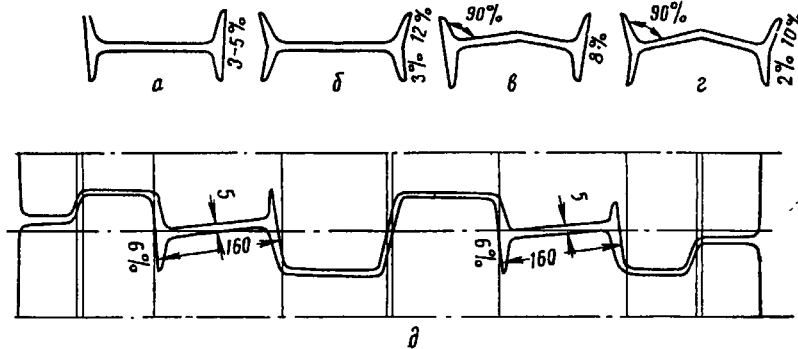


Рис. 4. Характерное расположение балочных калибров, применяемое на заводах:

а — без отгиба фланцев; б — с отгибом фланцев; в — с изгибом шейки и без отгиба фланцев; г — с изгибом шейки и отгибом фланцев; д — наклонное расположение калибров

ют более высокую точность и меньшие колебания размеров по длине раската, чем профили, прокатанные в обычном чистовом калибре.

Исходя из изложенных положений можно сделать ряд замечаний по докладу Е. Людыга.

Автор предлагает дифференцированный подход при калибровке балок малых, средних и крупных размеров. В частности, рекомендуется при проектировании калибровок балок крупных размеров принимать коэффициент вытяжки фланцев несколько большим, чем шейки. Такая рекомендация является вполне логичной, правильной и учитывает особенности течения металла в калибрах при прокатке крупных балок.

Для определения коэффициента обжатия шейки при расчете калибровки двутавровой балки автор предлагает пользоваться законом арифметической прогрессии вида

$$C_n = 1 + (n - 1)z,$$

где  $z$  — разность прогрессии.

Аналогичные способы успешно применяют на некоторых заводах; теоретические разработки по ним имеются в работах

И. И. Кучко. Однако следует отметить, что величина разности прогрессии в данном случае зависит не только от размера профиля, но и в очень большой степени от типа стана, скорости прокатки, конструкции рабочих клеток, т. е. от факторов, определяющих температурный режим прокатки, пластические свойства металла по ходу прокатки и допускаемое давление на валки. В связи с этим разности прогрессии, применяемые в расчетах калибровки для линейных станов, непригодны для расчета коэффициентов деформации в калибровках для зигзагообразных и непрерывных станов, и наоборот. Приведенные в докладе калибровки валков не учитывают последних достижений заводов в совершенствовании форм балочных и швеллерных калибров.

Формулировки относительно бокового и вертикального обжатия (или, как их называет автор, прямого и косвенного обжатия) не совсем удачны. Как было показано выше, при боковом обжатии в зависимости от условий деформации может быть прирост высоты вертикального или наклонного элемента, т. е. уширение, отсутствие последнего или даже утяжка; вертикальное обжатие всегда сопровождается уширением, если последнее специально не ограничивать.

Проф. З. Вусатовский выступил с обширным и очень содержательным докладом, в котором рассмотрены основные проблемы прокатки и калибровки валков. Сравнение формул удельного давления с экспериментальными данными показывает значительные расхождения. Точные результаты дают формулы, основанные на решении дифференциального уравнения прокатки с учетом особенностей очага деформации. Одной из причин полученного автором расхождения в расчетных данных может служить подстановка неправильных значений коэффициента трения в различные формулы, особенно в полученные на основе решения уравнения Кармана. Это прежде всего относится к формулам А. И. Целикова и Орована, у которых принят разный закон трения, т. е.  $t_x = f_p p_x$  и  $t_x = f_\sigma \beta \sigma_T$ . Если подставить в формулы значения коэффициентов трения в соответствии с принятыми законами трения, то результаты расчетов будут более точными и расхождения меньшими.

Инж. Ф. ГОФМАН

(Институт калибровки валков инженерной школы  
по прокатке и металлургии, г. Риза, ГДР)

## РАЗРЕЗНЫЕ КАЛИБРЫ

Институт калибровки Инженерной школы г. Ризы занимается исследованиями разрезных калибров с 1960 г. Для исследований институт имеет опытную прокатную клеть. Верхний валок

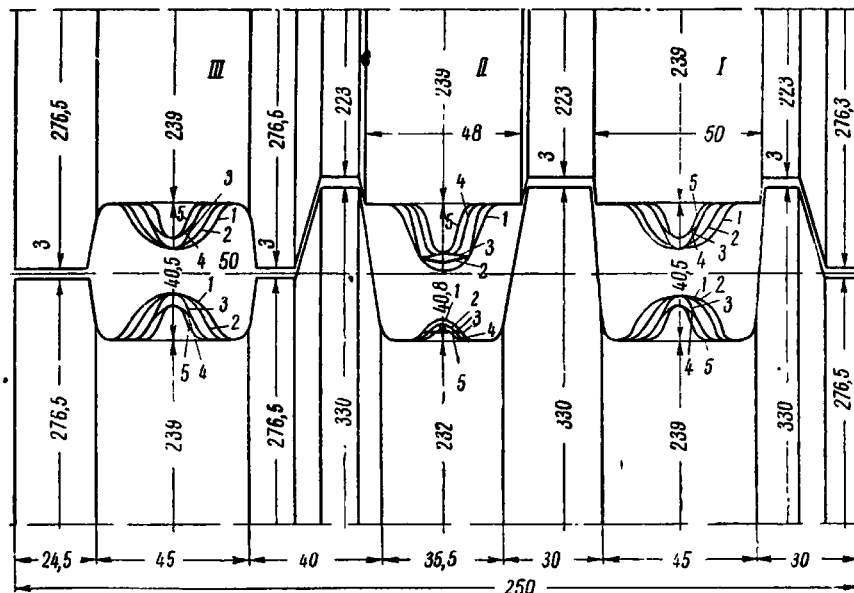


Рис. 1. Калиброванные валки лабораторного стана 300

регулируют вручную. Мощность двигателя равна 60 квт, скорость прокатки равна 0,5 м/сек.

Валки имеют длину бочки 250 мм и диаметр 300 мм. Комплект опытных валков имел три разных калибра (рис. 1).

Калибр I — закрытый разрезной. Глубина вреза и форма разрезных гребней одинаковы сверху и внизу. Уклон составляет

6% и считается нормальным для разрезных калибров этого размера.

Калибр II — закрытый разрезной с уклоном боковых стенок 15% для прокатки швеллерных профилей. Верхний разрезной гребень глубоко проникает в обжимаемое сечение.

Калибр III — открытый, симметричный относительно линии прокатки; уклон стенок калибра равен 12%. В этом калибре во время опытной прокатки образовались большие заусенцы.

Заготовки изготавливали на кузнечном молоте из квадратного сечения стороной 55 мм.

Переточкой валков получили пять вариантов очертаний калибров, отмеченных на рис. 1 цифрами 1—5.

Нагрев заготовок до 1000—1100° С осуществляли в газовой печи. При прокатке от полос всех калибров отбирали темплеты и изготавливали оттиски для определения площади. Давление прокатки измеряли месдозами и записывали на пленке осциллографа. Результаты экспериментов представлены на графиках. На рис. 2 представлены кривые заполнения калибров II, 1 и II, 2\* по экспериментальным данным и данным различных авторов, предложившим формулы для определения высоты заготовки.

Калибр II, 1 заполняется при обжатии прямоугольного сечения высотой 47 мм и шириной 45 мм или высотой 51 мм и шириной 40 мм. Наилучшие значения ширины заготовки для калибров II, 1 находятся между 39 и 45 мм.

Следовательно, ширина бьюма  $B = B_{\text{макс}} - (3 \div 9 \text{ мм})$ , где  $B_{\text{макс}}$  — максимальная ширина калибра. Такая зависимость пригодна для калибров II, 2; II, 3 и II, 4. На рис. 3 представлены кривые заполнения калибров II, 1—4. Хотя площади калибров постоянно повышаются от первого к четвертому вариантам, кривые не располагаются так, чтобы большей площади калибра соответствовало большее обжимаемое сечение. Причина этого заключается в том, что изменяется не только форма разрезного калибра, но и вытяжка шейки по отношению к суммарной вытяжке. Это доказывает, что каждая форма калибра имеет свои особенности.

На рис. 4 представлены кривые для калибров I, 1—4. Как было отмечено, у этих калибров глубина вреза верхнего и нижнего разрезных гребней одинакова. У калибров I, 1—3 обжатие шейки остается постоянным. Таким образом, для этих калибров изменяется только их форма, что вызывает изменение площади калибра, а следовательно, и вытяжки (рис. 5). В отличие от кривых для калибров II большого различия между кривыми для калибра I не обнаруживается. Следовательно, влияние формы разрезных калибров весьма незначительно.

\* Арабские цифры — номера вариантов.

Сечения заготовки, которые следует принять, отличаются друг от друга незначительно. Можно также отметить, что большему заполнению калибра  $F_k = 1580 \text{ мм}^2$  (для калибра I, 3) не соответствует большее сечение заготовки. Это объясняется тем, что ширина обжимаемой шейки уменьшается относительно ширины калибра. Следовательно, в вытяжку увлекается меньшее

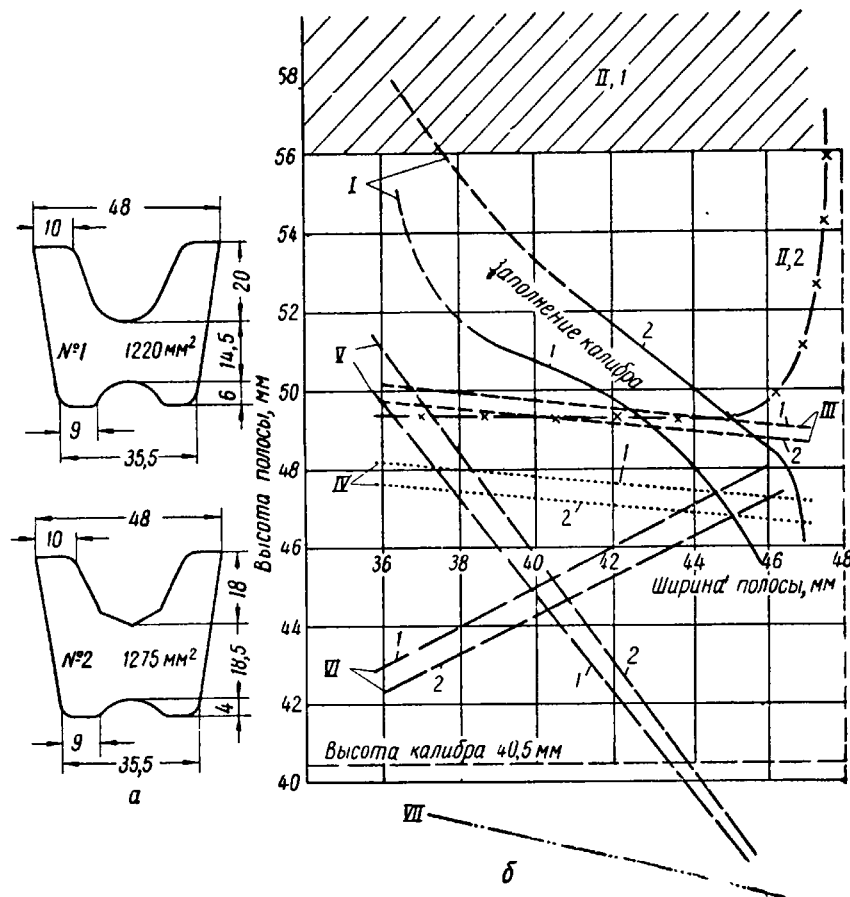


Рис. 2. Кривые заполнения калибра II по вариантам № 1 и 2:

а — размеры калибров; б — результаты исследований: I — экспериментальные кривые; II — по формуле Тафеля; III — по формуле Бахтинова (первой); IV — по формуле Бахтинова (второй); V — по формуле Эжелунда; VI — по формуле Мутьева; VII — по формуле Лендла

количество металла фланца, чем при более широком разрезном гребне.

У калибров с симметричными гребнями при заданной вытяжке обжимаемое сечение может быть найдено по кривым. Шири-

ну blooms следует при этом принимать меньше ширины калибра на величину  $B = B_{\text{макс}} - (5 \div 10 \text{ мм})$ .

Дальнейшие исследования показали, что температура в пределах  $1150-1000^\circ\text{C}$  не отражается заметно на заполнении разрезных калибров.

Условия захвата в калибрах I и II были различными. В калибрах I с небольшим уклоном стенок (6%) почти все заготовки приходилось вталкивать. Наоборот, большой уклон стенок (15%) калибров II влияет на условия захвата благоприятно. Заготовки захватывались хорошо даже при больших обжатиях. По величине заполнения фланцев калибра I можно установить, что нижние фланцы, подвергаемые прямому обжатию, заполняются хуже, чем верхние с боковым обжатием; это известно также и из практики.

Сравним результаты исследований, выполненных в Инженерной школе, и Рытелем в Институте металлургии железа (ПНР). Рытель получил зависимости для отношений

$$x_z = \frac{h_z}{h_r} \quad \text{и} \quad \gamma_s = \frac{h_r}{h_0},$$

где  $h_z$  — высота закрытого фланца;

$h_r$  — высота калибра;

$h_0$  — » blooms.

Оба отношения представлены в функции отношения

$$\gamma_n = \frac{h_n}{h_0},$$

где  $h_n$  — толщина шейки.

При этом функция  $\gamma_s = f(\gamma_n)$  весьма сложно связана с отношением  $\gamma_n = \frac{h_n}{h_0}$ .

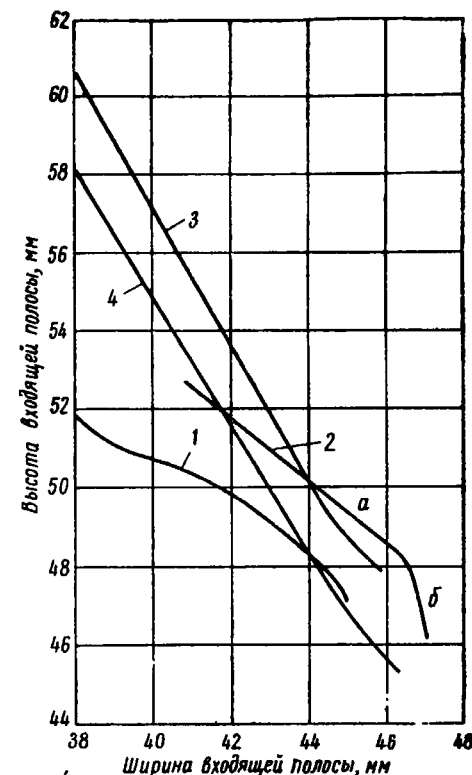


Рис. 3. Кривые заполнения калибра II по вариантам № 1—4:

1 — № 1,  $F_k = 1220 \text{ мм}^2$ ,  $\lambda = 1,66 \div 1,73$ ;  
2 — № 2,  $F_k = 1265 \text{ мм}^2$ ,  $\lambda_a = 1,73 \div 1,75$ ;  
 $\lambda_s = 1,77 \div 1,979$ ; 3 — № 3,  $F_k = 1325 \text{ мм}^2$ ,  
 $\lambda = 1,66 \div 1,72$ ; 4 — № 4,  $F_k = 1445 \text{ мм}^2$ ,  
 $\lambda = 1,46 \div 1,52$

Семейство кривых этой функции имеет большое поле рассеяния, большее, чем у функции  $x_z = f(\gamma_n)$ , также зависящей от  $\gamma_n = \frac{h_n}{h_0}$ .

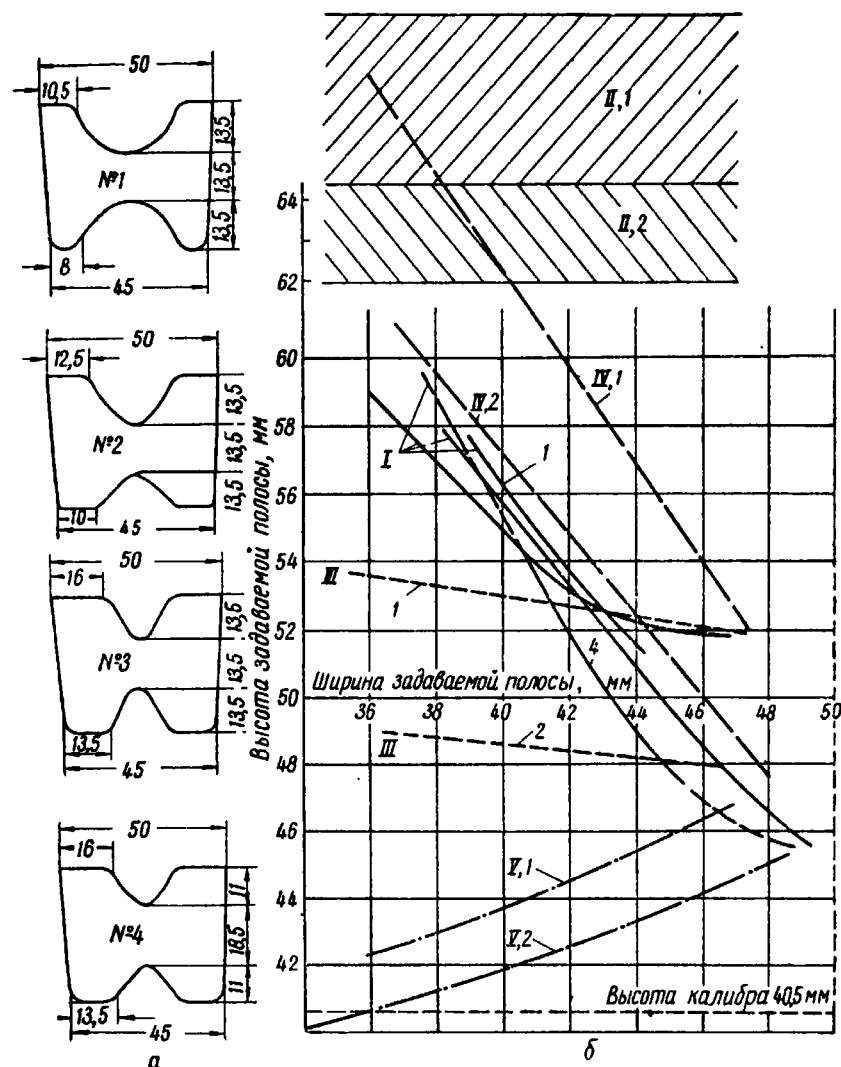


Рис. 4. Кривые заполнения калибра 1 по вариантам № 1—4:

а — размеры калибров; б — результаты исследований: I — экспериментальные кривые; II — по формуле Тафеля; III — по формуле Бахтинова (первой); IV — по формуле Эжелунда; V — по формуле Мутьева

Выражение  $\gamma_s = f(\gamma_n)$  показывает, что с уменьшением  $\gamma_n$  значение  $\gamma_s$  увеличивается вместо того, чтобы уменьшаться. Если

ли  $\gamma_s > 1$ , это означает, что высота калибра больше, чем высота блюма. Исследования в г. Ризе подтверждают эту тенденцию. Например, при ширине блюма 44 мм получили для калибра II, 2 при  $\gamma_s = \frac{40,5}{50} = 0,81$  величину  $\gamma_n = \frac{18,5}{50} = 0,37$ ; для калибра II, 1 при  $\gamma_s = \frac{40,5}{48,5} = 0,84$  значение  $\gamma_n = \frac{14,5}{48,5} = 0,3$ .

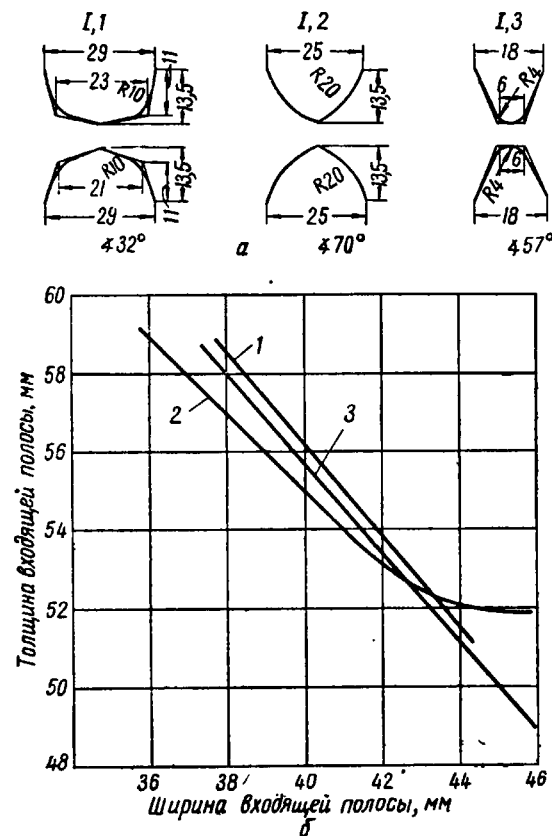


Рис. 5. Влияние формы разрезных калибров на их заполнение:

а — форма гребней; б — результаты исследований: 1 — калибр I,1;  $F_K = 1300 \text{ мм}^2$ ;  $\lambda = 1,73 \div 1,74$ ; 2 — калибр I,2;  $F_K = 1450 \text{ мм}^2$ ;  $\lambda = 1,55 \div 1,53$ ; 3 — калибр I,3;  $F_K = 1580 \text{ мм}^2$ ;  $\lambda = 1,42$

Эта тенденция понятна, так как с уменьшением толщины шейки площадь калибра, которую нужно заполнить, меньше при постоянной высоте калибра. При постоянной ширине блюма вы-

сота его может уменьшиться. Эти наши исследования подтверждают исследования Института металлургии железа.

Однако на практике высоту блюда не принимают меньше высоты калибра, так как калибр не будет заполнен. Большое значение имеет форма гребня. Если гребень очень широк, то продольной вытяжке подвергается большее количество металла, чем при более узком гребне. Вместе с тем обжатие по высоте увеличится, что показывает ход кривых.

Я не могу полностью присоединиться к выводу Рытеля о том, что  $\gamma_s$  с уменьшением  $\gamma_n$  увеличивается и что это явление вызывается влиянием непродеформированных боковых частей. Исследования не показывают перемещения металла во фланцы. Это следует выяснить путем введения штифтов в разрезной калибр. Влияние других факторов на заполнение калибров, как например отношения ширины калибра у фланцев к обжатию по ширине и т. д., нельзя точно установить из результатов опытов в г. Ризе.

Рассмотрим исследования разрезных калибров на большом экспериментальном стане<sup>1</sup> Инженерной школы в г. Риза.

Были изготовлены валки диаметром 406 мм с разрезными калибрами, увеличенными в масштабе 1:1,88 по сравнению с калибрами на валках экспериментального стана 250. Надо проверить влияние масштабного фактора на заполнение калибров.

В исследованиях Института металлургии железа исходили из того, что найденные закономерности могут быть перенесены на разрезные калибры любого размера. Исходные заготовки для исследований на большом стане определили по кривым заполнения, полученным для малого стана, и увеличили соответственно масштаб 1:1,88. Первая опытная прокатка в калибре II, I показала (рис. 6), что при исходной заготовке  $90 \times 83$  мм ( $h_0 \times b_0$ ) заполнение калибра было удовлетворительным. Пружинение вала составляло 5,5 мм, так что толщина шейки была не 25 мм, как предполагалось, а 27 мм.

Была сделана попытка найти сечение заготовки для этого калибра по данным Рытеля. Мы получили размеры сечения  $83 \times 73$  мм. При этом сечении заготовки калибр был незаполненным. Недостатком номограмм является, как мне кажется, то, что для заполнения калибра определяется только одно сечение заготовки, в то время как высотой и шириной мы можем варьировать и получать, таким образом, несколько исходных сечений.

Опытная прокатка не была закончена. Исследования пришлось на некоторое время прекратить, так как из-за трудного захвата в стане возникли сильные удары, приводящие к поломке

предохранительных устройств. Мы предполагаем продолжить эти исследования на среднесортном стане в г. Ризе.

Рассмотрим способы расчета разрезных калибров. Чтобы определить точность наиболее известных методов расчета разрезных калибров, мы поместили на диаграмме (рис. 4) кривые заполнения, определенные по Экелунду, Тафелю, Бахтинову, Штернову и Мутьеву для калибров I, 1 и 2. По Тафелю, получаются для калибров I, 1—3 слишком высокие заготовки, которые

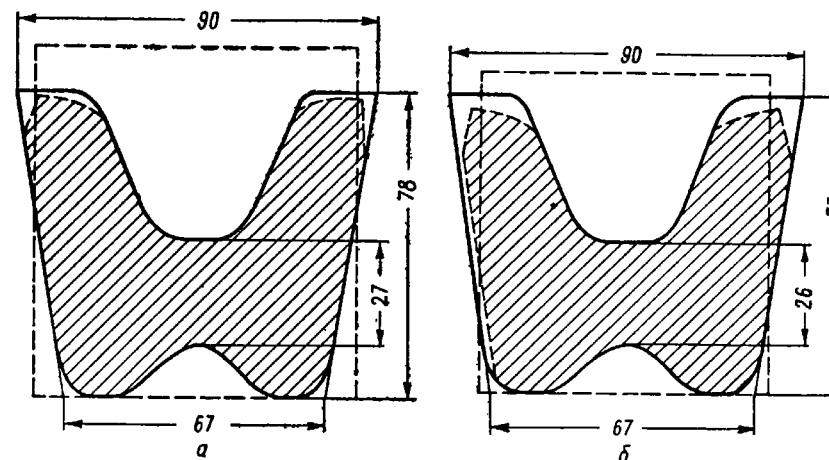


Рис. 6. Обводки шаблонов и темплетов, прокатанных на большом экспериментальном стане:

а — калибр I, зазор валков 5,5 мм; заготовка размерами  $h_0 = 90$  мм,  $b_0 = 83$  мм, исследование автора; б — калибр I, зазор валков 4,5 мм, заготовка размерами  $h_0 = 83$  мм,  $b = 73$  мм, исследование Рытеля

не захватываются валками. Для калибра I, 4, наоборот, кривые расположились ниже опытных. По Экелунду, получаются для вариантов 1 и 2 слишком большие заготовки, а для вариантов 3 и 4 слишком малые. По Бахтинову — Штернову, заполнение по варианту 1 получается при ширине в пределах 43—44 мм и при высоте 52,4 мм. Для всех других вариантов обжимаемые сечения также очень малы.

Если рассмотреть кривую заполнения калибров по М. С. Мутьеву, то приходится установить, что она дает для практики неверные результаты. По этим кривым получается, что с увеличением высоты блюда увеличивается и ширина его. На этот недостаток указал уже Рытель.

В оценке способов расчета существует некоторая неуверенность. В литературе нет точных данных о том, предусмотрены ли способы расчета для симметричных или несимметричных калибров или для тех и других.

<sup>1</sup> Характеристика этого стана приведена в докладе Нойманна (см. настоящий сборник).



Инж. У. СУППО

(Завод фирмы Фиат, Италия)

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ РАВНОБОКИХ И НЕРАВНОБОКИХ УГОЛКОВ

Уголок является наиболее старым профилем. Бейнон [1] указывает дату его появления — 1810 г. Как и для других профилей, существуют разные методы калибровки уголков [2]: развернутый, полуразвернутый, плоский (неразвернутый).

Значительно увеличились требования потребителей, предъявляемые к размерам, прочности и качеству уголков, расширяется производство облегченных уголков из стали повышенных механических свойств. Применение непрерывных станов, а также необходимость уменьшения до минимума времени смены калибров и перенастройки — все же повышает требования, предъявляемые к калибровке. Калибровка уголков хорошо разработана советским калибровщиком Б. П. Бахтиновым [3].

Автор на основании теоретических и практических исследований предложил свой метод калибровки уголков. Этот доклад следует считать развитием метода Б. П. Бахтинова.

#### Равнобокие уголки

Чистовой калибр выполняется без замков (открытым). Это позволяет его использовать для уголков разной толщины, а также разной длины полок. Таким образом, один и тот же калибр может служить для прокатки уголков № 65, 70, 75. Нейтральная ось рассчитана для уголка № 70, что облегчает необходимую настройку стана для возможности прокатки двух других уголков с хорошим выполнением углов и получением одинаковых размеров полок.

#### Расчет предчистового калибра

Практика показала, что система изгиба полок, предложенная Б. П. Бахтиновым, является промежуточной из применяемых

систем и оптимальной с точки зрения постоянства обжатия в чистовом калибре и удобства настройки стана. По нашим данным, наилучшие результаты получаются, если принять (рис. 1)  $H \approx 0,4 L$  и  $R = 0,6 L$ , где  $L$  — длина полки. Зная длину и толщину полки чистового профиля в холодном состоянии, можно определить длину средней линии

$$L_{mp} = L_f - \frac{h_f}{2}.$$

Так как чистовой калибр выполнен без замков (открытым), уширение определяем в функции сечения предчистового калибра

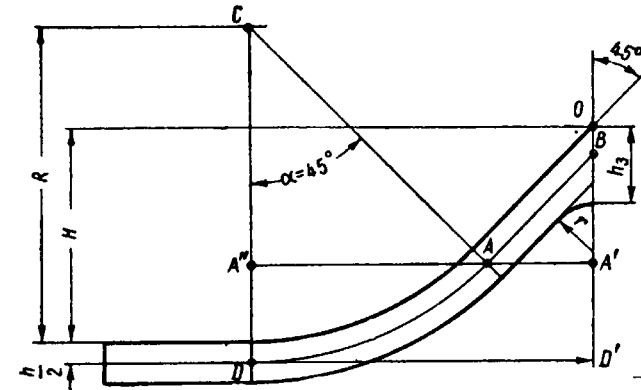


Рис. 1. Построение развернутого углового калибра

ра. Чтобы рассчитать горизонтальную проекцию и половину ширины калибра, можно воспользоваться формулами:

$$B_\alpha = L - 0,393h + 0,044R - 0,414H \quad (1)$$

или

$$B_\alpha = L_m + 0,107h + 0,044R - 0,414H. \quad (1')$$

Затем необходимо начертить сопряжение полок внутри. Используя коэффициент обжатия  $\frac{1}{\gamma}$ , получаем толщину полки  $h_s = h_{sf} \frac{1}{\gamma}$ , а также радиус  $r = \frac{1,414h}{0,414}$ .

#### Расчет предыдущих калибров

Чтобы определить исходное сечение прямоугольника, необходимо уменьшать от калибра к калибру значение  $H$ , определяя  $H_1 = H - t$ , где  $t = \frac{1}{2} \Delta h$ .



$$\frac{L_L}{L_C} = \frac{3}{2}; \quad \alpha_C = 33^\circ 30'; \quad \alpha_L = 56^\circ 30';$$

$$\frac{L_L}{L_C} = \frac{5}{3}; \quad \alpha_C = 31^\circ; \quad \alpha_L = 59^\circ;$$

$$\frac{L_L}{L_C} = 2; \quad \alpha_C = 26^\circ 30'; \quad \alpha_L = 63^\circ 30'.$$

В этом случае чистовой калибр выполняется открытым. Для прокатки уголка с более толстыми полками в том же калибре достаточно произвести вертикальное перемещение валков. При отсутствии осевого усилия валков для этого не существует никакого препятствия. В этом случае, очевидно, нельзя прокатывать

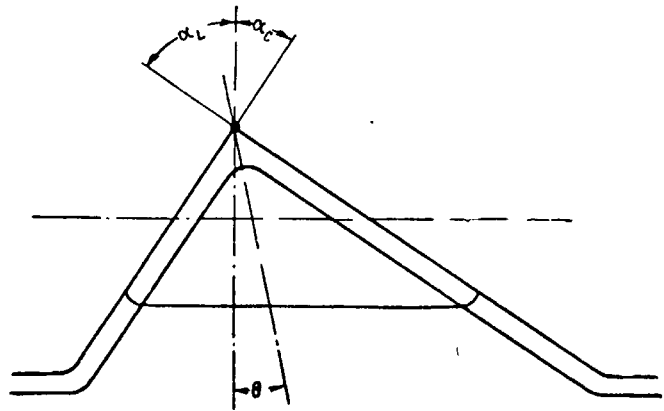


Рис. 3. Расположение неравнобокого уголка в чистовом калибре

в одном и том же калибре профили с разной длиной полков. Обязательным является также, чтобы горизонтальная проекция каждой полки равнялась соответствующей ширине в предчистовом калибре.

#### Расчет предчистового и предыдущих калибров

Для расчета предчистового калибра необходимо биссектрису угла при вершине располагать перпендикулярно линии прокатки. При отношении длин полков  $\frac{L_L}{L_C} < 2$  получаются наилучшие результаты, возможно применение ребрового калибра и облегчается заполнение первых калибров.

Расчеты выполняются для длинной и короткой полки каждого калибра. Радиус закругления  $R_L \approx 0,6 L_L$  или  $R_C \approx 0,6 L_C$ ,

для  $H_m$  принимается среднее значение  $H_m = \frac{H_L + H}{2}$  или  $H_m = 0,2(L_L + L_C)$ . Зная средние ширины полков, можно рассчитать горизонтальные проекции, пользуясь формулой (1) или (4). Калибровка работает хорошо, если в предчистовом калибре (рис. 4) обеспечивается условие  $B_{\alpha_L} \geq X_{\alpha_L}$  и  $B_{\alpha_C} \geq X_{\alpha_C}$ . Когда такое условие выполняется в предчистовом калибре, в пре-

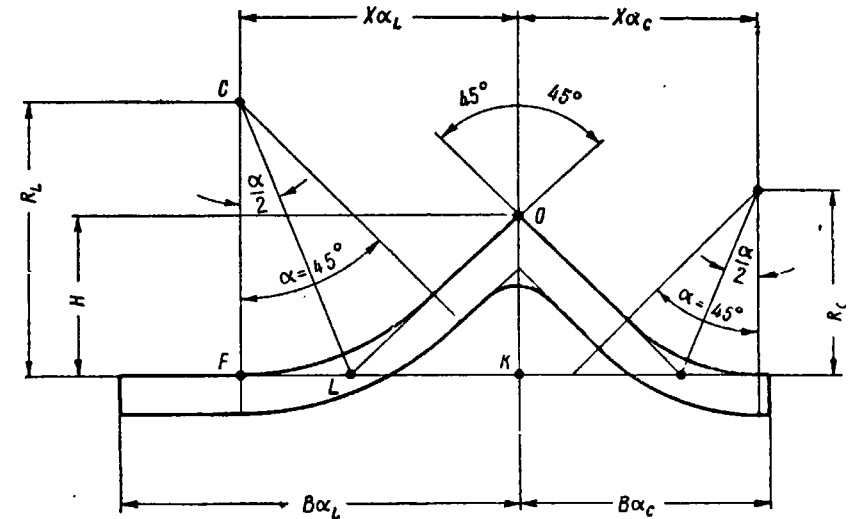


Рис. 4. Развернутый неравнобокий уголок

дыдущих калибрах размеры определяются исходя из  $H$ , постоянства  $R$  и угла при вершине. Выражая указанные условия аналитически, получаем:

$$X_{\alpha} = FL + LK = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + H \operatorname{ctg} \alpha = R \operatorname{tg} 22^\circ 30' +$$

$$+ H \operatorname{ctg} 45^\circ = 0,414R + H;$$

$$L - 0,393h + 0,044R - 0,414H \geq 0,414R + H,$$

откуда

$$H \leq \frac{L - 0,393h - 0,37R}{1,414}. \quad (5)$$

Переходя к прокатке более толстых профилей, необходимо незначительно и постепенно изменять значение  $R$ , увеличивая  $R_C$  и уменьшая  $R_L$ .

### Расчет уширения

Для определения ширины средней линии предчистового калибра необходимо рассчитать предполагаемое уширение  $\Delta b_A$ :

$$L_m = L_{mF} - \Delta b_A.$$

Используя формулу 3. Вусатовского  $\beta = \gamma^{-w}$ , определим коэффициент  $\beta$ , принимая ширину  $b = 2L_m$  для равнобоких уголков или  $L_m + L_{mC}$  для неравнобоких. Чтобы упростить расчет, можно в нашем случае принять в множителе степени  $\delta = \frac{b}{h_1}$  вместо

$$\frac{b_1}{h_1}.$$

Значения, найденные по этому способу, относятся к прокатке с определенным средним обжатием. В нашем случае, когда рабочие поверхности валков наклонены под углом  $45^\circ$  к линии прокатки, необходимо увеличить расчетное уширение для гладкой бочки. На это указывает М. М. Штернов [5], который в заключении интересного анализа рекомендует кривую поправочного коэффициента в зависимости от наклона полок. Исходя из нашего опыта примем  $k = 2,5$  для чистового калибра и значения  $k = 1,5-2,0$  для предыдущих калибров; принимаем также во внимание ограничение уширения.

Рассчитываем действительное уширение

$$\Delta b_{A \text{ дейст}} = \Delta b_{\text{расч}} \cdot k.$$

Так как уширение рассчитано для общей ширины калибра, необходимо определить уширение каждой из полок. В равнобоких уголках, очевидно,

$$L_m = L_{mF} - \frac{\Delta b_{A \text{ дейст}}}{2}.$$

Для уголков неравнобоких необходимо разделить общее уширение в зависимости от длины каждой полки:

$$\Delta b_L = \Delta b_{A \text{ дейст}} \frac{L_L}{L_L + L_C};$$

$$\Delta b_C = \Delta b_{A \text{ дейст}} \frac{L_C}{L_L + L_C}.$$

### Края полок

Для успешной работы калибровки необходимо правильно определить точку открытия калибра, величину выпуска и радиусы закруглений. В случае, когда чистовой калибр выполняется открытым, предчистовой калибр должен открываться вверх

(рис. 5). Радиус  $r$  принимаем исходя из готового профиля. Затем его постепенно увеличиваем от калибра к калибру пропорционально возрастанию  $h$ . Предшествующие калибры необходи-

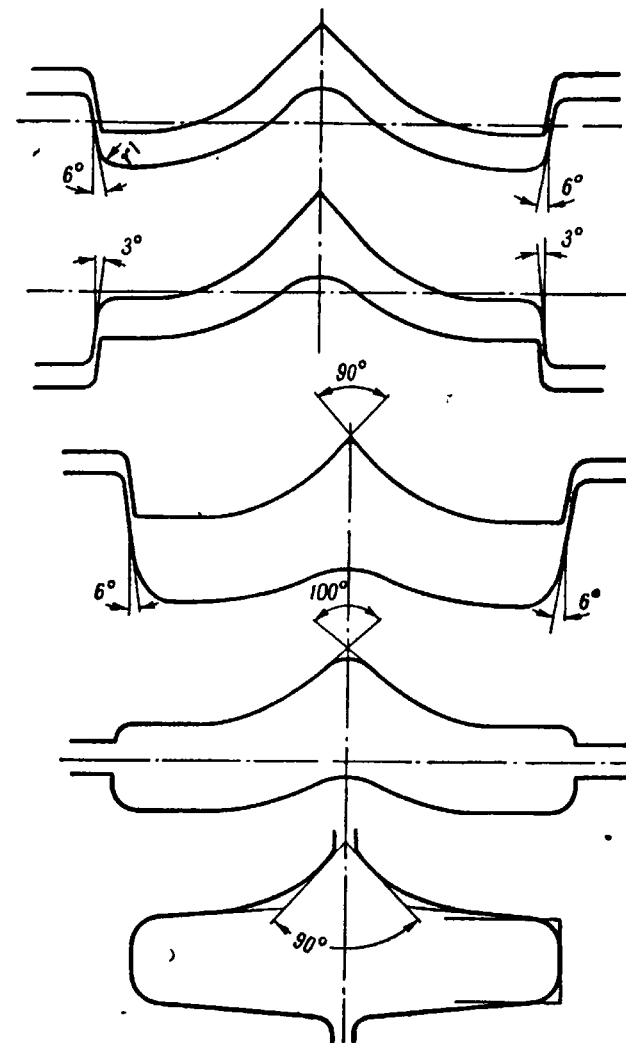


Рис. 5. Последовательные угловые калибры

мо открывать попеременно вверх и вниз. Согласно практическим данным, всегда лучше иметь меньший выпуск ( $3^\circ$ ) для калибров, открытых вниз, и больший ( $6^\circ$ ) для калибров, открытых вверх.

### Ребровой калибр

Описываемая система калибровки вследствие введения калибров, осаживающих профиль, позволяет уменьшить число промежуточных калибров на два или максимум на три калибра. В калибрах, предшествующих ребровому, можно получить два или три размера полки смежных профилей, например № 65, 70, 75.

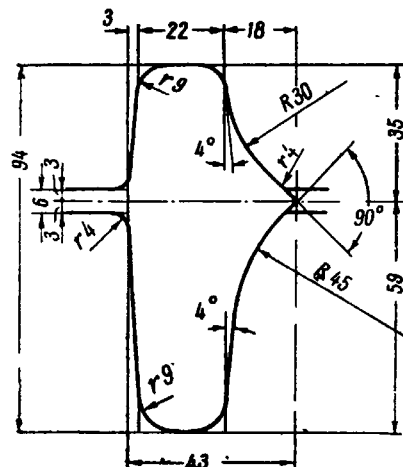


Рис. 6. Ребровой калибр

В случае прокатки неравнобоких уголков также надо обеспечить симметричность угла при вершине относительно горизонтальной плоскости (рис. 6). Чтобы рассчитать калибр, предшествующий ребровому, необходимо поступить следующим образом. Ширина  $B_\alpha$  рассчитывается в зависимости от коэффициента вытяжки  $B_\alpha = \lambda \cdot B_\alpha$ , где  $\lambda = 1,06 - 1,10$ . Величины  $R$ ,  $H$  и  $h$  определяем так же, как и для ребрового калибра. Чтобы выполнение вершины угла было наилучшим, следует принять значение угла  $100^\circ$  вместо  $90^\circ$ . Во избежание получения заусенцев необходимо принять у вершины полки  $r = 1,3 a$ , где  $a$  — ширина бурта ребрового калибра. На рис. 7 показан калибр, предшествующий ребровому, показанному на рис. 6.

Считается нормальным применение одного ребрового калибра. Калибры, предшествующие ребровому, могут быть общими, что возможно при большом радиусе сопряжения полки у вершины. Возможность использования ребровых калибров зависит от особенностей прокатного стана. У непрерывных станов с вертикальными клетями его можно применять почти во всех случаях. У стана линейного или зигзагообразного типа можно применять ребровой калибр в случае, когда длина сторон не превышает

$L_L + L_c \leq 150$  мм, так как в противном случае будет превышено допускаемое отношение  $b/h$ .

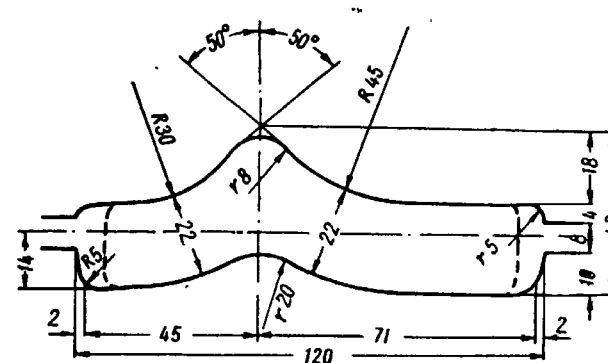


Рис. 7. Пластовый угловой неравнобокий калибр

### Определение нейтральной оси

Можно считать, что наиболее точным методом нахождения нейтральной линии является метод Даля. Вытяжка распределяется достаточно равномерно по ширине калибра, что облегчает решение задачи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Бейнон. Калибровка валков и расположение прокатных станов. Металлургиздат, 1961.
2. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1953.
3. Б. П. Бахтинов. Уточненный метод расчета калибровки угловой стали. Сталь, 1960, № 4.
4. З. Вусатовский. Основы прокатки. Горно-металлургический вестник, Катовице, 1960.
5. М. М. Штернов. К расчету калибров для угловой стали. Сталь, 1960, № 6.

Инж. Х. НОЙМАНН

(Институт по калибровке валков инженерной школы  
по прокатке и металлургии, г. Риза, ГДР)

## ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Инженерная школа в г. Ризе имеет прокатную лабораторию с двумя прокатными установками: малой и большой.

Малая установка представляет собой реконструированную клеть дуо холодной прокатки с валками диаметром 300 мм и длиной бочки 250 мм, мощностью двигателя 60 кВт и скоростью прокатки 0,5 м/сек. Так как длина бочки валков невелика, применяют калибровки, позволяющие при соответствующей настройке валков производить несколько проходов в одном калибре.

Большая установка состоит из черновой клетки дуо с валками диаметром 350—500 мм, длиной бочки 900 мм и чистовой клетки дуо с валками диаметром 450—550 мм и длиной бочки 1500 или 1000 мм, а также с валками диаметром 300—500 мм и длиной бочки 1000 мм.

Возможность прокатки на валках с бочкой различной длины достигается перемещением станины чистовой клетки. После каждого прохода металл по качающемуся столу транспортируется под клетями на сторону задачи. Установка приводится двигателем постоянного тока мощностью 520 кВт; скорость прокатки колеблется в пределах 0—10 м/сек.

Эти две установки обслуживаются газовой и селитровой нагревательными печами. Имеется комплект приборов для измерения давления прокатки, крутящих моментов и других параметров. Кроме того, в плавильной печи готовят из свинца исходный материал для исследований.

### Требования потребителей и возможности станов, прокатывающих особые профили

Возможности использования станов для прокатки особых профилей следует рассматривать прежде всего в связи с допусками на размеры этих профилей. Некоторые профили невоз-

можно прокатать без реконструкции опор и других элементов чистовой клетки. Для профилей, подвергающихся последующей калибровке волочением, большее поле допусков означает увеличение числа протяжек с соответствующей промежуточной обработкой.

Как правило, требования, предъявляемые к размерам особых профилей, выше, чем для обычных профилей; это вызывает дополнительные затруднения при их изготовлении.

Кроме необходимых допусков, на которые большое влияние оказывают вид и размеры элементов профиля, для каждого прокатного стана имеется минимальная толщина, максимальная ширина и максимальная высота фланцев профиля; последняя опре-

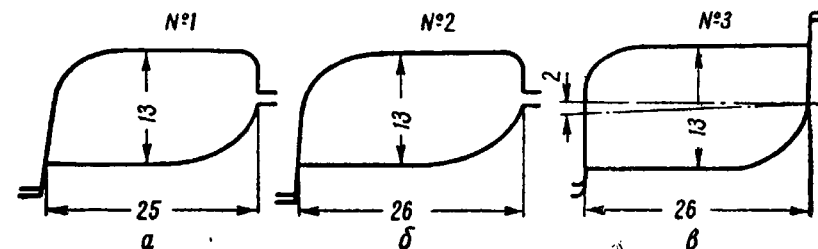


Рис. 1. Различные варианты калибра тормозного кулака для прокатки полуфабриката и дальнейшей протяжки:

а — № 1, заготовка 16 × 23 мм; б — № 2, заготовка 20 × 21 мм; в — № 3, заготовка 22 × 22 мм

деляется максимально допустимым врезом в валки. Часто размеры исходной заготовки ограничивают. Все это определяет наибольшие и наименьшие профили. Калибры должны иметь уклоны (выпуски) на боковых стенках, однако при протягивании профиля через очко это вызывает затруднения. В связи с этим стремятся уклоны делать возможно меньшими, но появляется опасность защемления полосы в ручьях и оковывания валков. Кроме того, с уменьшением уклонов увеличивается съем металла по диаметру валков при обточке.

На рис. 1 показаны три различных калибра для тормозного кулака [5]. Калибр варианта № 1 имеет большой выпуск и поэтому из-за неравномерной толщины нерационален для последующей протяжки. Кроме того, плохо выполнены большие радиусы профиля, так как при заполнении калибра возникала опасность появления лампасов в правом разъеме калибра. Калибр варианта № 2 шире, так что имеется достаточный припуск по радиусам для протяжки. Однако из-за небольшого уклона слева увеличивалось защемление раската в ручье, возникали трудности с верхней направляющей проводкой при прокатке и образовывались лампасы. Поэтому разработали вариант № 3 с разъемом по

диагонали. Этот способ обеспечил параллельность боковых стенок и хорошо выполненные закругления.

Часто для протяжки бывают необходимы черновые профили с возможно более острыми углами, что возможно лишь при очень хорошем заполнении калибров, т. е. при точной калибровке. Это также является усложняющим фактором, требующим постоянного наблюдения и корректировки в процессе производства.

При прокатке полированного профиля дается одинаковый по всем сторонам припуск (рис. 2, а), соответствующий форме про-

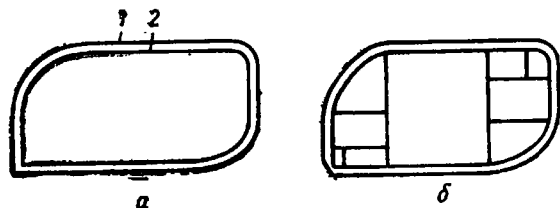


Рис. 2. Тянутый (калиброванный) и прокатанный профиль:

а — обычный допуск: 1 — прокатанный профиль; 2 — чистовой профиль после калибровки; б — допуск с учетом равномерного обжатия (профиль разделен на участки, деформирующиеся равномерно)

катываемого калибра. С точки зрения равномерности обжатия по плоскостям при протяжке это неверно. Лучшая форма прокатываемого профиля, учитывающая деформацию при протяжке (рис. 2, б), связана с дополнительными производственными трудностями.

#### Предпосылки для прокатки особых профилей изготавливаемых в небольших количествах

При прокатке небольших количеств особых профилей необходимы предпосылки, существенно отличающиеся от предпосылок для прокатки обычных профилей. Так, примерно на 1000 т особых профилей должен быть предусмотрен хотя бы один, а лучше два вальцетокарных станка, при работе в три смены. Если в программу вводится много новых профилей, то необходим еще один токарный станок для последующей нарезки и корректировки калибров после первой пробной прокатки. Слесари-шаблонщики и вальцетокари должны работать очень тщательно, так как небольшие отклонения от заданной калибровки могут вызывать значительные изменения течения металла.

Ни в коем случае не следует недооценивать работу по изготовлению валковой арматуры. Для каждого калибра необходим

набор вводных линеек и несколько наборов выводных проводок, так что наряду со значительным парком валков нужно предусматривать такой же запас валковой арматуры. Всего этого нет у обычного стана, так что прокатка небольшой партии особых профилей связана с затруднениями. Так как к точности размеров, остроте ребер и допускам особых профилей предъявляются повышенные требования, выводные проводки испытывают большую нагрузку. Неправильная подгонка проводок неизбежно ведет к оковыванию и поломке валков. Следовательно, постоянный контроль за направляющими проводками на стане неизбежен.

Для упрощения прокатки необходимо предложить потребителям составить унификацию и стандартизацию особых профилей. Типичный пример можно привести из области прокатки оконнорамных профилей в ГДР. Вместо прежних профилей, представленных на рис. 3, по новому стандарту имеются только три прокатных профиля и один гибочный. Это, конечно, большое облегчение, выгодно изменившее производство мелкого сорта.

Заказчик должен помогать прокатчику изменять и упрощать профили. Таким примером изменения профиля, вызванного особенностями прокатки, является электрошина для кранового пути (рис. 4). Прокатка старого профиля происходила с большими трудностями, так как валки имели большое осевое смещение, в закрытых фланцах вследствие заклинивания происходили оковывание и поломки валков, фланцы получались неодинаковой длины и ласточкин хвост зачастую был плохо выполнен.

Измененный профиль имеет более короткие и толстые фланцы с большим уклоном, облегчающим освобождение калибра, и более толстую шейку. Это значительно упростило прокатку на нашем двухклетевом стане без снижения экономичности профиля.

Особых предпосылок требуют профили, изображенные на рис. 5. Скобу для уборочных машин, изображенную на рис. 5, а, получают периодической прокаткой, а ось, показанную на рис. 5, б, — в особых ковочно-прокатных клетях.

Проблема планирования производства особых профилей пока не решена. Расчет по общей массе ( $t$ ) прокатанной продукции является, во всяком случае, неверным. Лучше производить расчет в метрах с двумя-четырьмя степенями трудности для профилей с одинаковой массой 1 пог. м.

Прокатчик вынужден для выполнения плана отказываться от сложных профилей с небольшой массой 1 пог. м и стремится получать заказы на более тяжелую продукцию с простыми условиями производства.

Следующей существенной предпосылкой является каталогизация производимых особых профилей. Постоянно дополняе-

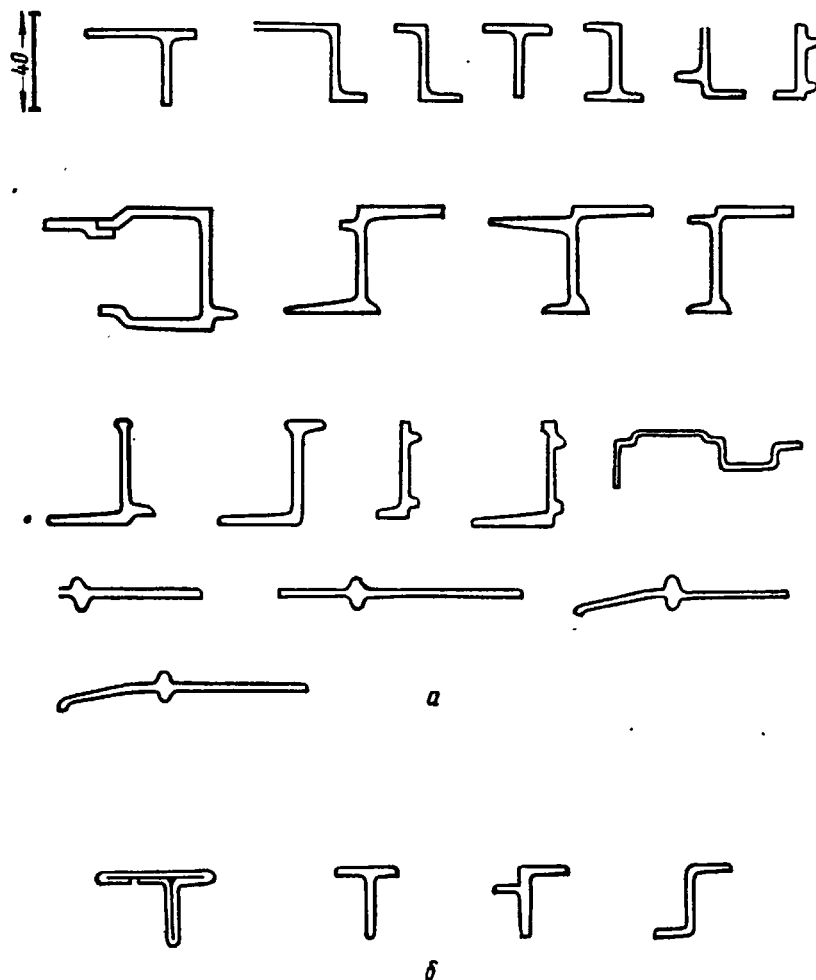


Рис. 3. Оконнорамные профили:  
а — существовавшие ранее; б — по новому стандарту

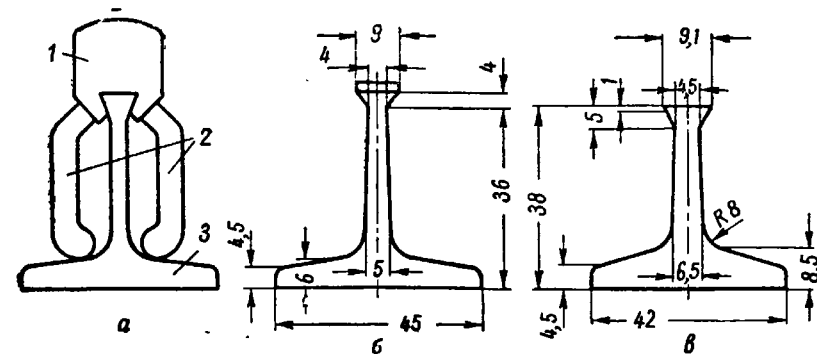


Рис. 4. Изменение формы стального основания для токопроводящей шины крановых путей:

а — общий вид шины; 1 — медная шина; 2 — зажимные накладки из бронзы; 3 — стальное основание; б — старый профиль; в — новый профиль

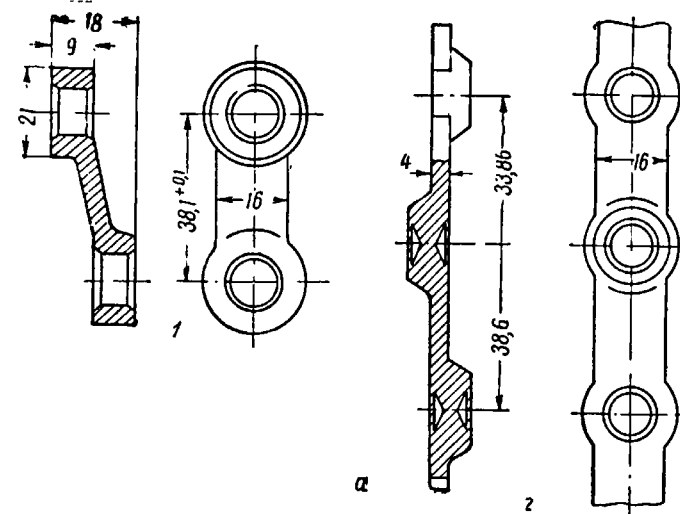


Рис. 5. Периодический и кованно-прокатный профили:

а — пластинка цепи; 1 — готовая деталь; 2 — прокатный профиль; б — ось грузовика



мый каталог показывает заказчику сортамент и облегчает составление заказа.

Не следует забывать большую исследовательскую работу, предшествующую пуску в производство особых профилей. Большой вклад вносит наш Институт калибровщиков, работающий в тесном контакте с производством. Без этой помощи предприятие имело бы значительные дополнительные расходы на проектирование и исследование, что увеличило бы стоимость проката. Затраты на первоначальное оборудование (валки и арматуру), а также затраты на исследования до освоения нового профиля производством осуществляются потребителем.

### Калибровка особых профилей, основанная на калибровке обычных профилей

Ряд особых профилей можно калибровать, исходя из известных методов и калибровок обычных профилей.

В Инженерной школе в г. Ризе студенты-прокатчики достаточно знакомятся с калибровкой обычных профилей. Можно с удовлетворением отметить, что окончившие институт после нескольких лет соответствующей практики в относительно короткий срок могут сами разрабатывать калибровки для прокатки особых профилей.

Способ разбивки профилей на составные части предлагали старые мастера калибровки Брово, Тафель и Крамер (рис. 6). Я доказал, что разбивка фланцевых профилей по схеме рис. 6, *г* более целесообразна и больше соответствует действительности. На рис. 6 этот принцип применен к профилю бокаловидной шахтной стойки. Меня обрадовало, что такой же принцип принял советский калибровщик Б. М. Шум [2] для калибровки облегченной шахтной стойки (рис. 6, *е*).

Особое внимание следует уделить выбору правильного режима обжатий. Последние два калибра должны регулироваться независимо от других калибров. Поэтому в последней клети стана три их располагают отдельно.

Особенно затруднительно из-за неодинаковой вытяжки определение ширины отдельных частей профиля с учетом их взаимодействия. По возможности следует для корректировки применять осадку на ребро. Каждый калибр следует конструировать так, чтобы захват происходил без затруднений и не было заклинивания металла в ручьях.

Рассмотрим в общих чертах правила калибровки обычных профилей, которые в какой-либо степени используются для калибровки особых профилей. При прокатке полосы широко используются осадки (рис. 7, *а*). Осадка позволяет корректировать ошибки калибровки, что особенно важно для особых профилей,

так как здесь трудно установить ширину после каждого прохода.

Калибровку угловых профилей, производимую по геометрическим соотношениям Д. И. Старченко [3] для профиля, имеющего

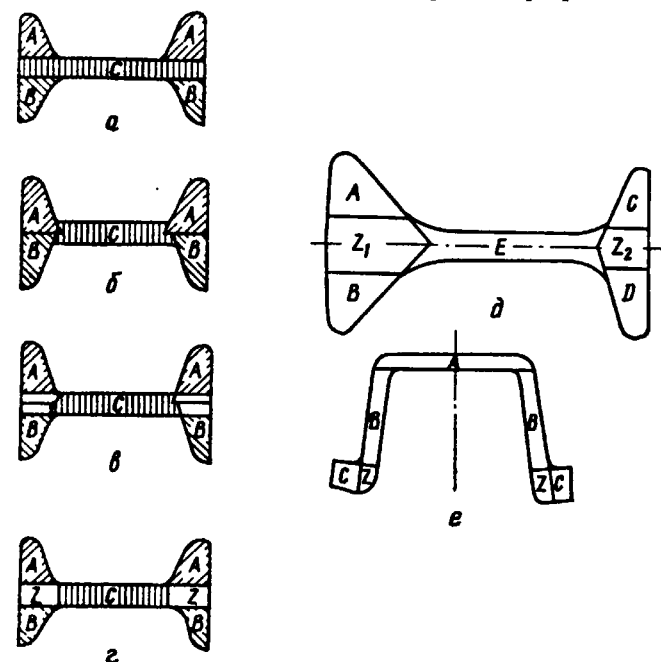


Рис. 6. Разбивка профиля:

*а* — по Брово; *б* — по Тафелю; *в* — по Крамеру; *г* — по Нойману; *д* — шахтная стойка (бокаловидный профиль), ГДР; *е* — советская шахтная стойка СВП 17

вид бабочки (рис. 7, *б*), можно перенести на зетовые профили (рис. 7, *в*). При этом для всех зетовых калибров линия *AB* остается постоянной, а проекции *B* и *H* одинаковы для каждого калибра.

Для особых профилей часто применяют разрезные калибры (рис. 7, *г*). Нужно помнить, что, как правило, они не заполняются. Определение степени заполнения является трудной задачей. Для этой цели в Институте металлургии железа в г. Гливице (ПНР) и у нас в институте проводятся систематические исследования.

На рис. 8, *а* приведены три способа калибровки корытообразных швеллерных профилей: обычный балочный, развернутый (вид бабочки) [4] и развернутый с изгибом стенки. Практическое и теоретическое развитие последнего способа дано инж.

Фрёмелем в его работе, выполненной в инженерной школе г. Риза.

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и в каждом случае используют ребровой проход для гарантии постоянной высоты фланцев.

На рис. 8, б показана схема калибровки тавровых профилей; диагональное положение в обжимной клетке и проходы на ребро

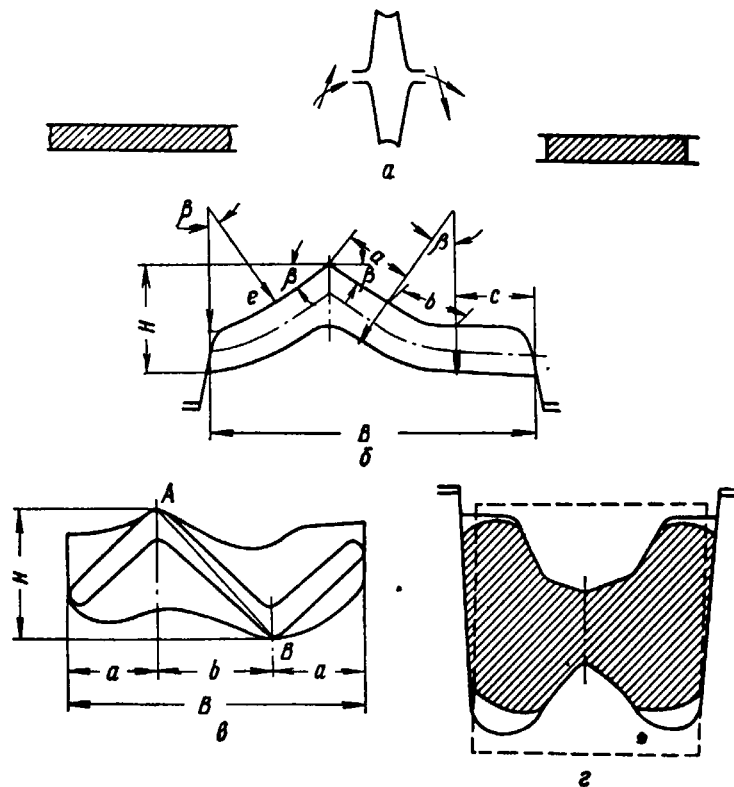


Рис. 7. Типовые калибры для прокатки:

а — полосы; б — углового профиля; в — зетового профиля; г — разрезной калибр

в чистовом калибре следует соблюдать при калибровке всех профилей этого вида.

При прокатке особых профилей часто приходится применять калибр для разгонки фланцев (рис. 8, в), который при небольшом обжатии по середине и большому по краям форсирует образование фланцев. Для калибровки рельсов в настоящее время отказались от такого калибра вследствие большой неравномер-

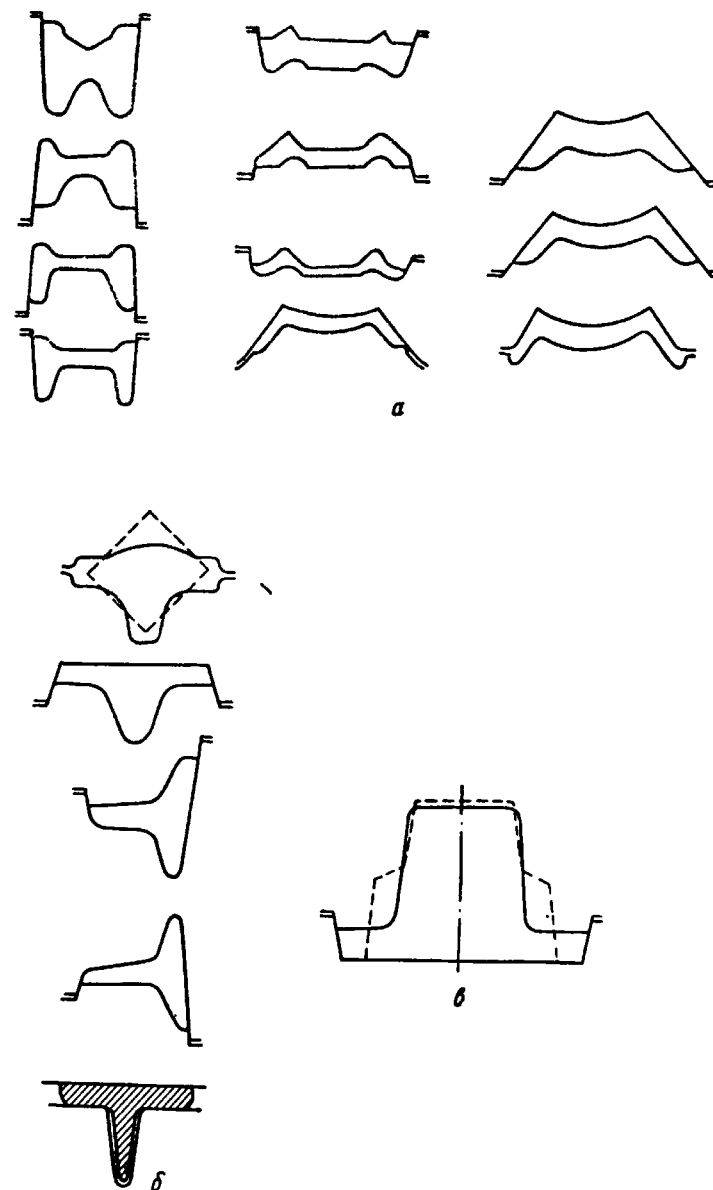


Рис. 8. Типовые калибровки для прокатки:

а — швеллеров; б — тавровых профилей; в — проход для разгонки фланцев

ности вытяжки, однако для особых профилей такой способ является приемлемым и довольно распространенным.

Переходя к калибровке профилей, представленной на рис. 9, следует сказать об определении вытяжки фланцевых профилей. Сечение профиля делится на составляющие элементы (рис. 9, а) и деформируется в соответствии с рис. 9, б. Верхний обжимаемый фланец А должен легко входить в ручей и его высота должна быть уменьшена. Нижний открытый фланец боковым обжатием уменьшается по толщине. Шейка С деформируется пря-

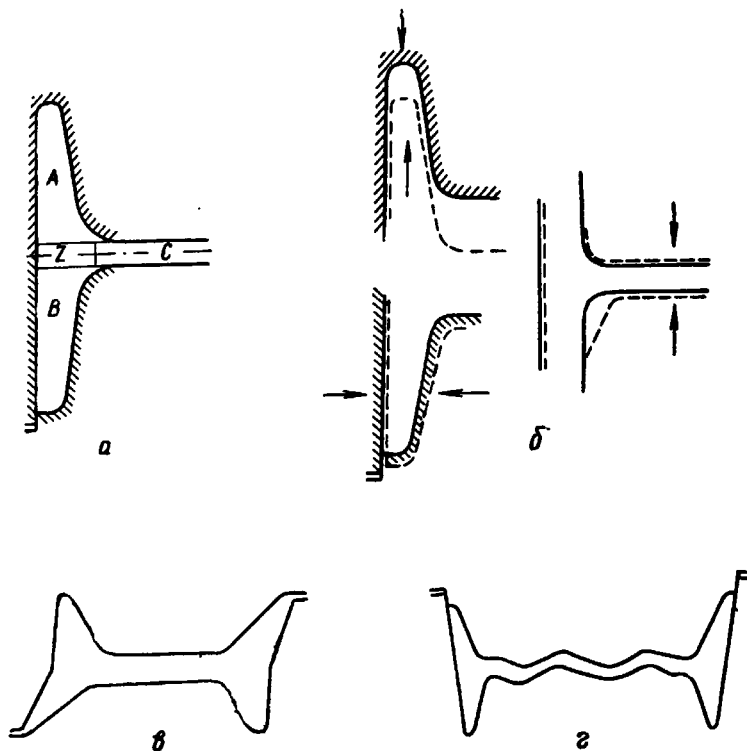


Рис. 9. Калибровка фланцев и определение вытяжек:  
а — двутавровый калибр; б — формоизменение фланцев; в — замок по диагонали; г — волнистая шейка

мым обжатием между параллельными поверхностями валков. Вытяжки выбирают так, чтобы закрытый фланец не защемлялся ( $\lambda_A < \lambda_{ср}$ ), шейка формировалась в первых проходах ( $\lambda_C > \lambda_{ср}$ ) и чтобы в последних проходах вытяжка фланцев была больше вытяжки шейки во избежание ее волнистости ( $\lambda_C < \lambda_{ср}$ ). Кроме того, рекомендуется применить разъем по диагонали для форсированного формирования фланцев и волнистую шейку для

уменьшения задаваемого поперечного сечения полосы и числа проходов. Приведем примеры калибровки особых профилей.

На рис. 10, а показаны калибры колосника, прокатка которого связана с большими трудностями. Черновые калибры — закрытые, чистовой калибр также закрытый, имеется регулируемый ребровой калибр, который подготавливает скос боковых кромок.

Уплотнение для аглолент (рис. 10, б) имеет калибровку, подобную полосе. Предпоследний — ребровой калибр допускает

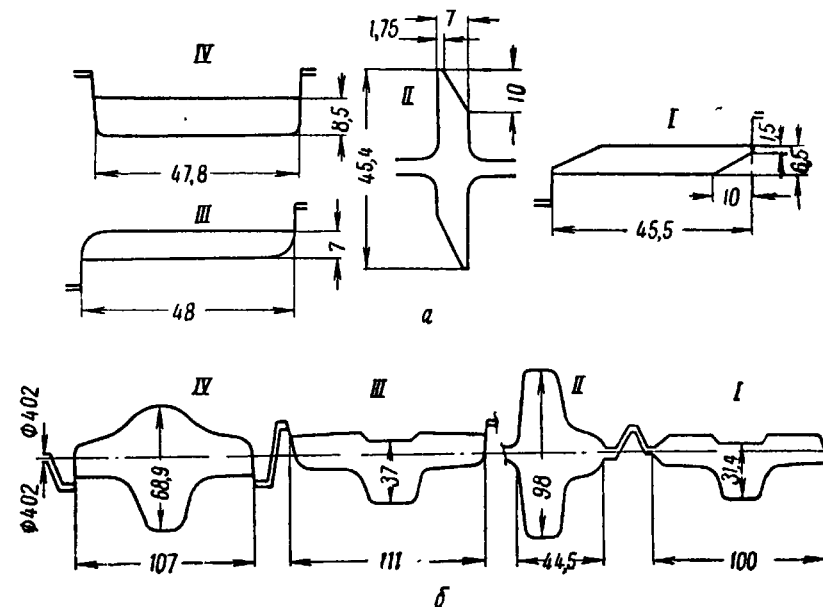


Рис. 10. Особые профили, основанные на калибровке полосы с осадкой на ребро:

а — колосник; б — уплотнение для аглолент

регулировку ширины фланцев, а следовательно, и заполнения чистового калибра. Этот профиль успешно прокатывался на большом опытном стане. Предусмотренная в III калибре для смазки канавка сдавливается в ребровом калибре. Это вызывало опасения, что в чистовом калибре могут появиться закаты. Однако закаты не появлялись, так как размеры канавки хорошо соответствуют условиям прокатки. Исходную заготовку сечением  $65 \times 65$  мм задают в IV калибр на диагональ. Исследования показали, что заготовка сечением  $70 \times 70$  мм слишком велика.

Проводковая арматура представляла собой вводные и выводные линейки и сваренные из трех частей выводные направляющие проводки. Калибры IV, III и I имеют каждый по одной нап-

равляющей проводке для шейки и по две проводки для фланцев, а II калибр имеет одну направляющую проводку для шейки и одну для фланцев.

Насколько выгодна осадка на ребро для получения хорошего заполнения калибра, настолько трудно создавать калибровки для прокатки подобных полос профилей без осадки, так как для такой схемы необходимы точные ширины. Установить их весьма затруднительно из-за неодинакового обжатия в различных частях профиля.

Различают два варианта:

1. Действительное уширение в калибре больше, чем проектируемое, тогда его нужно уменьшить. В этом случае при необходимости можно работать с незаполненным I калибром, а последние калибры заполнять. Такое мероприятие обычно себя оправдывает.

2. Действительное уширение меньше запроектированного, калибры не заполняются и грани получаются плохими. Некоторую корректировку можно внести переточкой сторон калибра черновой клети с уменьшением уклонов и радиусов. Значительные коррективы невозможны, так как калибры закрытые. Этот случай, когда уширение недостаточно, является значительно более сложным.

Если при прокатке поперечного зажима (рис. 11, а) появляются лампасы, то следует уменьшить обжатие. Если же в калибрах I или II происходит незаполнение по ширине, то наилучшим мероприятием является уменьшение уклона и радиусов в черновых калибрах.

Донное кольцо бидонов для молока (рис. 11, б) было запроектировано так, что большие и неравномерные обжатия должны были производиться в первых калибрах, когда металл еще сохраняет высокую температуру. Такая форма калибра обеспечивает одновременно нормальную прокатку профиля в следующих проходах. При прокатке этого профиля обнаружилось, что действительное увеличение ширины в последних калибрах было большим, чем принятое, и поэтому образовывались лампасы. Изменение размеров исходной заготовки с сечения  $30 \times 30$  на  $24 \times 24$  мм хотя и привело к незаполнению промежуточных калибров, как показано пунктиром на рис. 11, б, но дало хороший чистовой профиль в I калибре. Решающее значение имело, кроме того, соответствующее положение вводной проводки, что позволило получить хорошее правое закругление в чистовом проходе.

При прокатке горизонтальной шины для чертежной машины (рис. 11, в) по первоначальной калибровке чистовой калибр не заполнялся. Причина этого — недостаточное заполнение черновых калибров. Уменьшение уклонов и радиусов хотя и привело

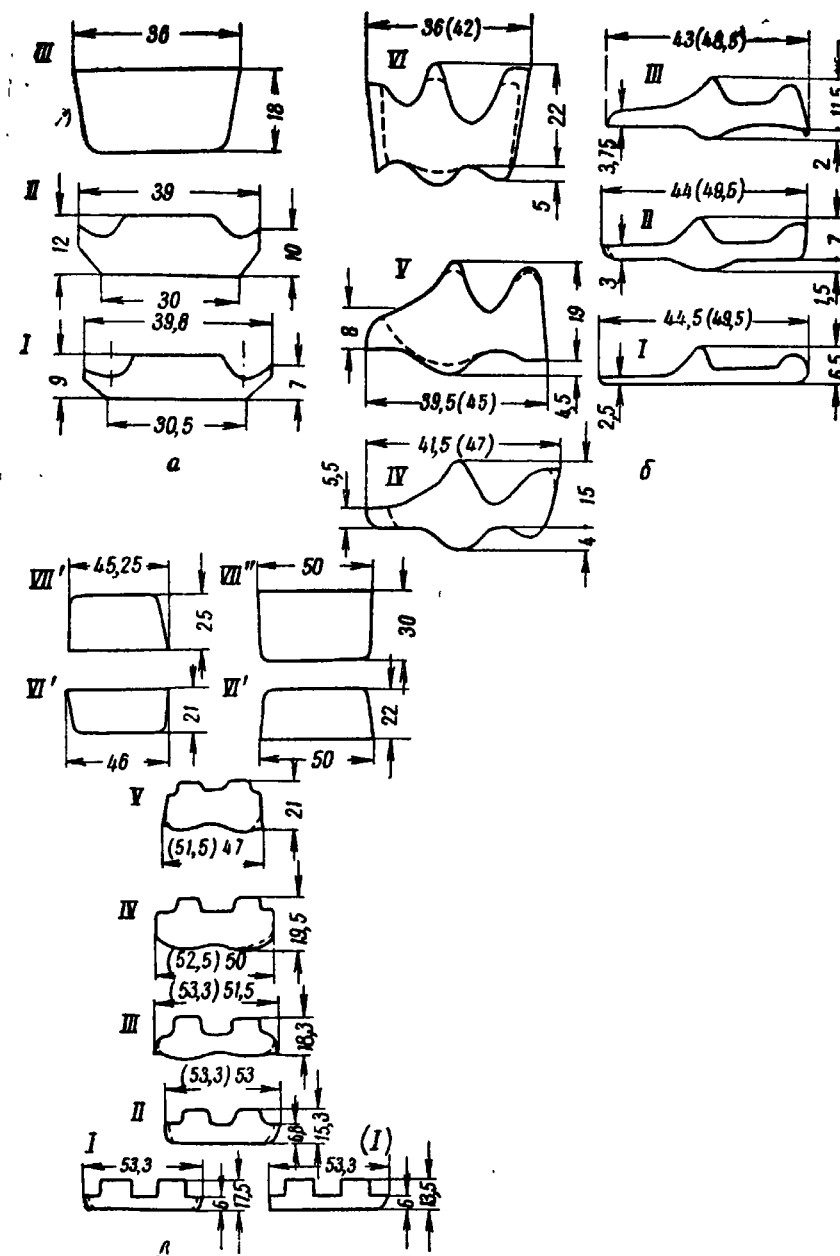


Рис. 11. Калибровки особых профилей, основанные на прокатке полосы без осадки на ребро:

а — поперечный зажим; б — донное кольцо для бидонов; в — горизонтальная шина

к некоторому улучшению, однако необходимая ширина все же не была получена. Следующим мероприятием была кантовка профиля перед задачей в V калибр, что также дало некоторое улучшение, однако это не было все же хорошим решением.

Вторая схема с размерами калибров, обозначенными на рис. 11, в цифрами в скобках, предусматривала прежде всего

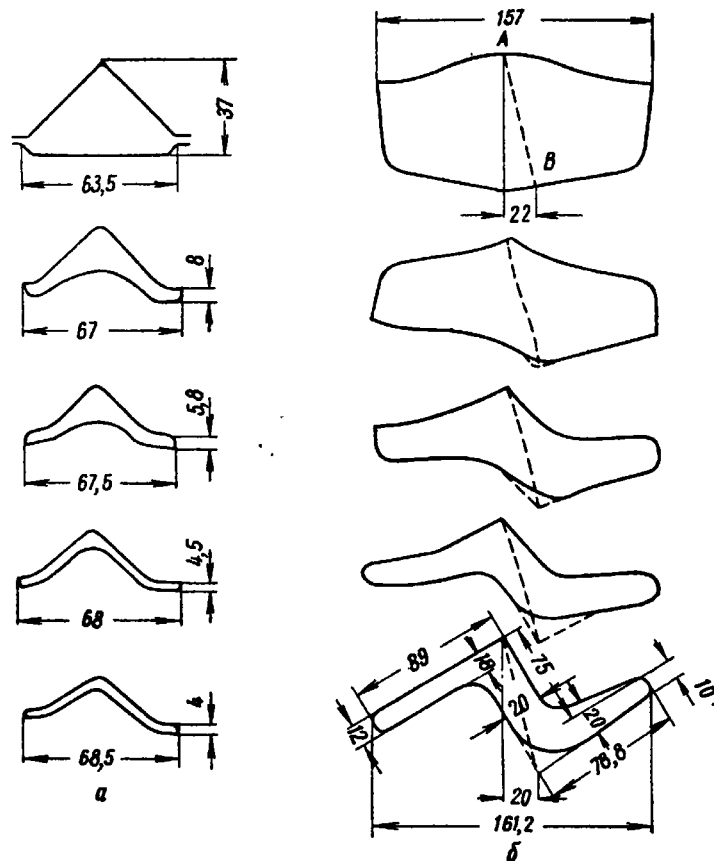


Рис. 12. Угловые и зетовые особые профили:  
а — бортокольцо; б — зетовый особый профиль

более широкий черновой калибр и одинаковое положение разреза калибров VI и V для хорошего заполнения в черновых проходах. Такая калибровка привела к успешному решению задачи. Одна из многих калибровок особых профилей, основанная на калибровке уголков, показана на рис. 12, а. Это борт-кольцо для обода грузовика. Ясно видно, что здесь преобладают конструктивные линии угловых профилей. То же можно сказать о

зетовом профиле, представленном на рис. 12, б. Постоянная линия АВ является как бы хребтом схемы. Вертикальные и горизонтальные проекции всех калибров почти одинаковы.

Прокатка особых профилей, которые напоминают разрезные, характеризуется значительными трудностями. Как известно, составление схемы для разрезных калибров балок, швеллеров и других фланцевых профилей расчетным путем является неразрешимой задачей, поэтому калибровщик руководствуется интуитивным знанием течения металла. Во всяком случае, он должен уметь определить, насколько будут заполнены фланцевые ручки вследствие значительно большей деформации шейки. К сожалению, еще нет надежных формул для расчета этих калибров хотя многие занимаются этим вопросом.

Большое влияние на заполнение оказывает форма разрезного калибра. Из рис. 13 видно, что при прокатке корытного профиля (рис. 13, а) и канатного шкива (рис. 13, в) осадка фланцев больше, чем у ковша (рис. 13, б) или профиля № 27 (рис. 13, г), так как у первых подвергающаяся давлению поверхность шейки значительно больше поверхности фланцев. У профиля № 27 фланцы почти не осаживаются, так как их поверхность значительно больше, чем поверхность шейки; они задерживают удлинение шейки и вызывают этим перетекание металла во фланцы.

Двутавровый профиль (рис. 13, д) для электрической промышленности (распорные детали при изготовлении двигателей) мы не смогли получить горячей прокаткой, так как не удалось улучшить заполнение фланцев, применяя соответственные черновые калибры. Металл из фланцев уходит вместе с шейкой. Однако можно прокатывать приближенный профиль, а затем подвергать его механической обработке.

Направляющую для сейфа (рис. 14, а) лучше всего калибровать, опираясь на калибровку швеллерного профиля. Закругления внутри фланца следует выполнять механической обработкой. Можно прокатывать эти углубления начерно в развернутом калибре типа бабочки, однако мы этого делать не пытались. Здесь уместно вспомнить масляную канавку на детали для аглоленты (см. рис. 10, б).

Шахтная стойка СВП 17 (рис. 14, б) имеет сравнительно со схемой для швеллерного профиля особо выполненные концы фланцев.

Балка специального назначения (рис. 15, а) и бокаловидный профиль (шахтная стойка, рис. 14, б) прокатывают аналогично двутавровым профилям. Очертания темплетов показаны пунктиром на шаблонах. Незаполнение металлом сохраняется до последних калибров. Бокаловидный профиль подобен двутавровому профилю № 12 (Германские промышленные стандар-



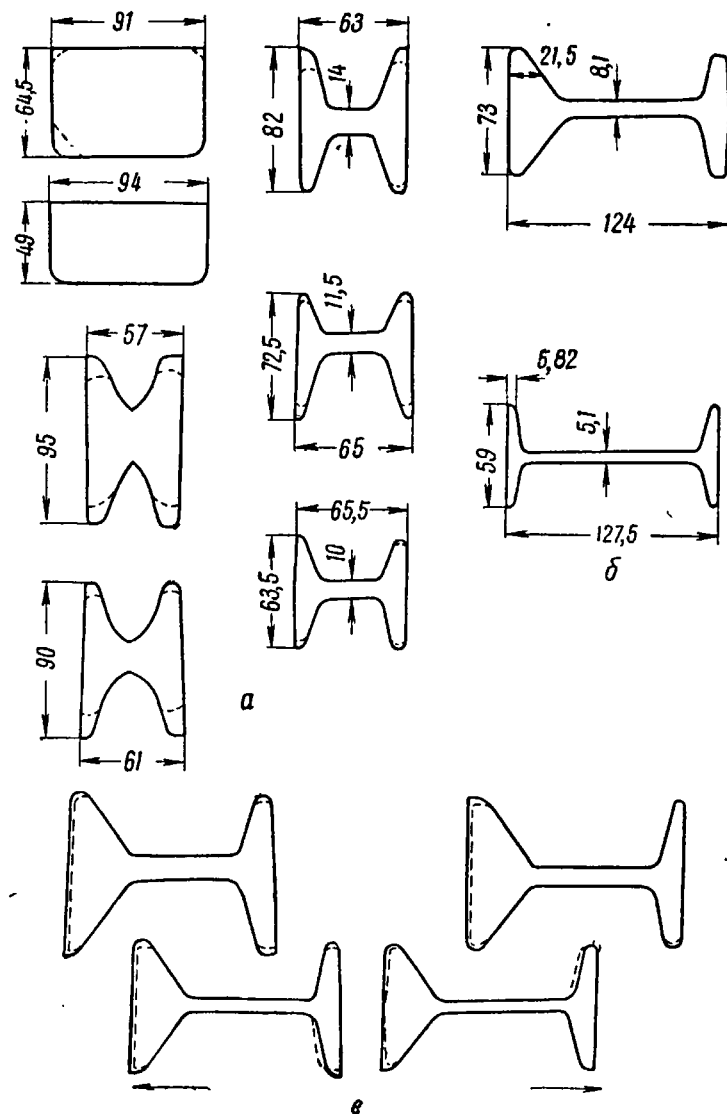


Рис. 15. Особые профили двутаврового типа:  
 а — балочка специального назначения; б — бокаловидный профиль и, для сравнения, балка № 12; в — последние четыре бокаловидных калибра

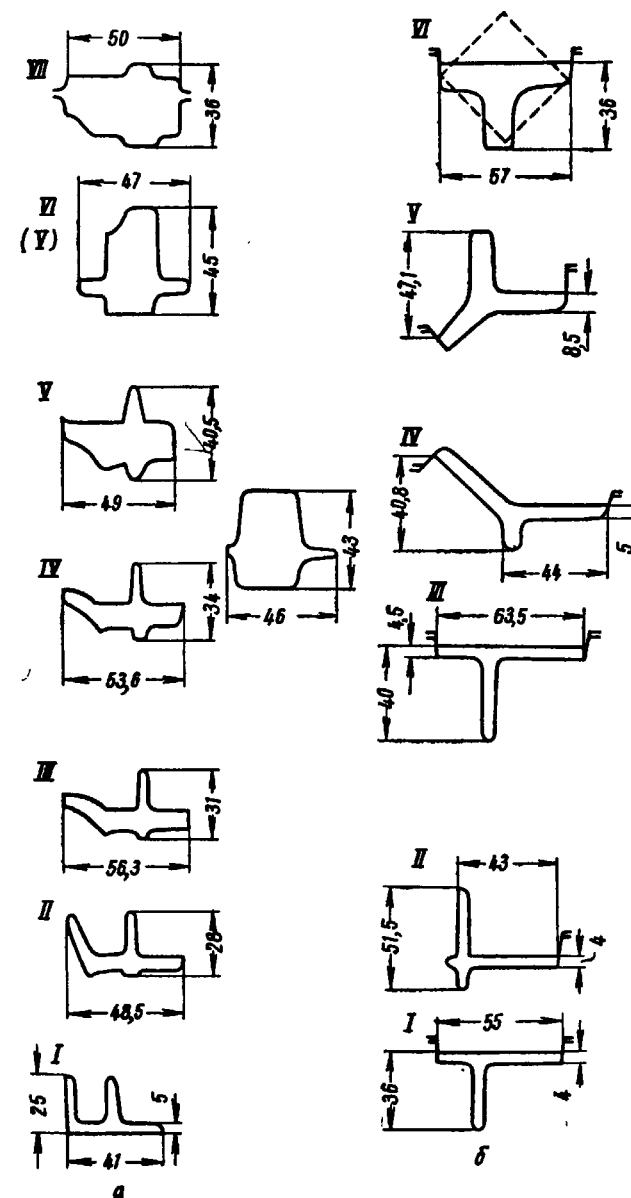


Рис. 16. Особые профили с неравными фланцами:  
 а — F — обрезный профиль; б — оконный профиль

с последующей их склепкой или сваркой. Чтобы заменить этот способ более экономичным, нами в настоящее время подготовлена опытная прокатка F-образного профиля на большом опытном стане по приведенной схеме. Если возникнут затруднения при задаче в V калибр, следует между IV и V калибрами поместить ребровой калибр S, при помощи которого будут достигнуты необходимые размеры шейки, фланца и фланцевого выступа. Калибр VI выполняется также ребровым.

Интересным профилем рассматриваемого вида является оконнорамный профиль (рис. 16, б). Из-за глубины вреза 60 мм его нужно было бы прокатывать на стане 500. Однако из-за небольшой потребности это неэкономично. Для прокатки на мелкосортном стане нужно иметь возможно малую глубину вреза. На рис. 16, б показано решение с интересным положением зазора, которое вызывает лишь незначительное ослабление валков. Обслуживающий персонал должен тщательно задавать раскат в калибры.

В противоположность швеллерным и двутавровым профилям тавровый профиль находится в валке только одним своим фланцем, что вызывает осевое смещение валков. Поэтому открытый фланец получается более толстым, чем нужно; он заклинивается в следующем калибре, где должен прокатываться на ребро. Это может вызвать оковывание валков или другие неполадки.

Еще большие затруднения вызывают особые тавровые профили. Оконнорамный профиль Т35 (рис. 17, б) после некоторых исследований для получения совершенной калибровки смогли прокатать лишь при постоянном контроле положения валков и проводок и частом отборе темплетов от каждого калибра.

На рис. 17, в показан профиль для автобусов. После многих опытов был разработан комплект валков (рис. 17, г) для малого опытного стана. Исходная заготовка принята с размерами  $28 \times 28$  мм. Вскоре после этого на стане для особых профилей завода Ордруф этот профиль прокатывали по калибровке, изображенной на рис. 17, г, с учетом накопленного опыта. Проставленные на элементах профиля коэффициенты вытяжки (рис. 17, д) показывают, что течение металла происходит всегда от шейки к фланцу, следовательно, фланцы не могут ни заклиниваться, ни образовывать лампасы. В первых калибрах V и IV шейка уширяется свободно и фланцы еще не заполняются. Во II калибре профиль в основном готов, так что чистовой проход его только полирует и изгибает конец шейки.

Особенно большие трудности вызвала прокатка токопроводящей шины для крановых путей (рис. 18). Опытная прокатка показала необходимость изменения формы профиля. Но и изменение формы профиля и приспособление его к нашему большому опытному стану не оказалось законченным решением.

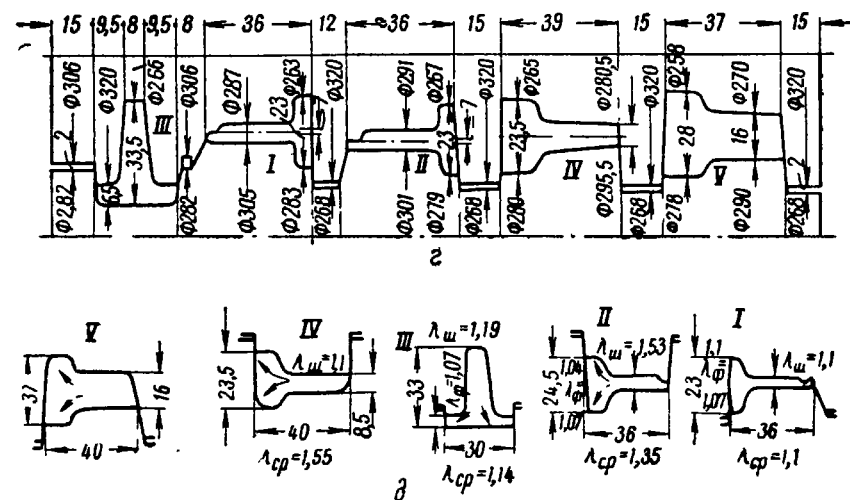
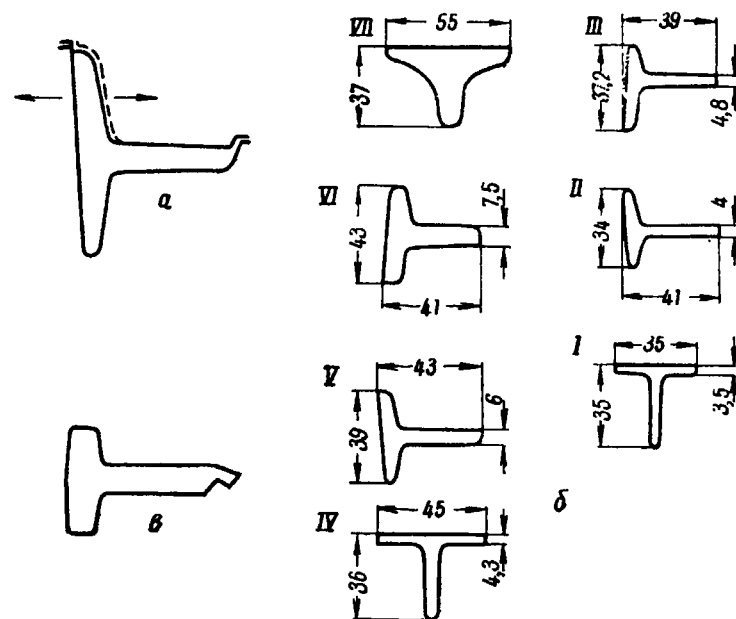


Рис. 17. Тавровые особые профили:

а — смещение валков при прокатке тавровых профилей;  
б — оконнорамный Т-35; в — профиль для автобустроения;  
г — комплект опытных валков для автобусного профиля;  
д — распределение вытяжек при прокатке автобусного профиля



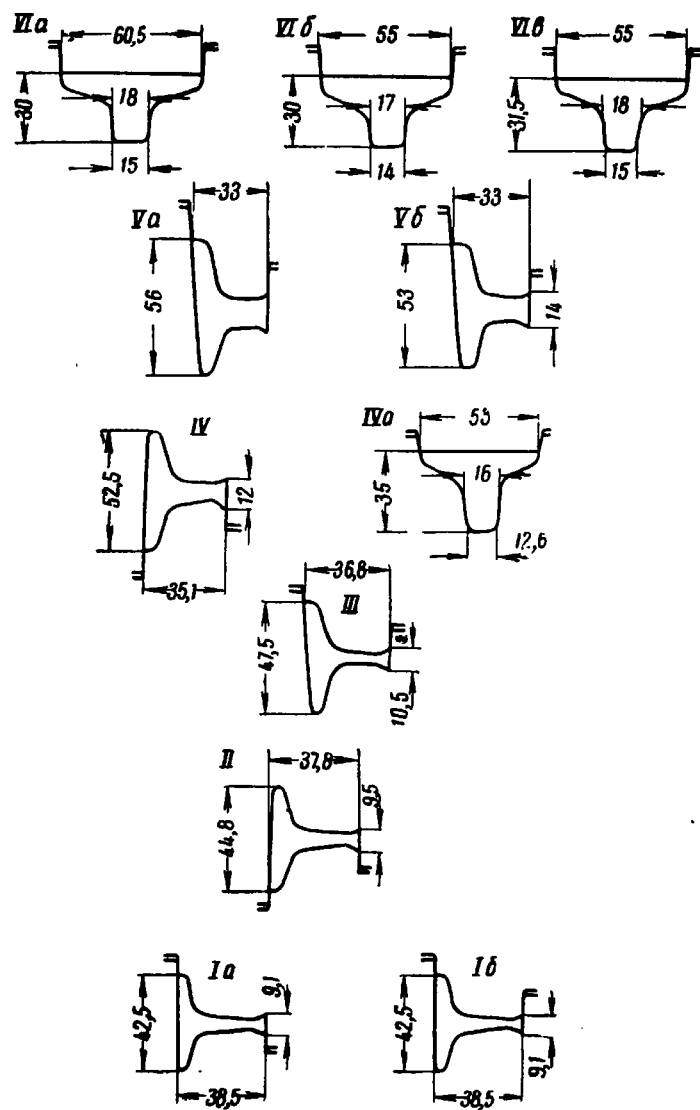


Рис. 18. Токосоводящая шина для крановых путей

Опыты с использованием ряда калибров VIв, Vб, IV—I не дали хорошо выраженного ласточкина хвоста на конце шейки. Последний, однако, должен был быть точно выполнен для насадки медной головной части. Причину неудачи обнаружили в плохом заполнении VI калибра. После корректировки размеров калибра VIв, а также применения диагонального прохода квадрата стороной 38—39,5 мм и изогнутыми гранями удалось получить хороший профиль.

Калибры VIа и Va с более широкими фланцами оказались ненужными. Ребровой проход IVа между IV и V калибрами следует применять лишь тогда, когда затруднена задача в калибр IV. В нашем случае этого не наблюдалось. При прокатке с незначительно увеличенной стороной квадрата (40 мм) от калибра IV откололся кусок. По условиям размещения на бочке этот калибр был только один на валках. В качестве замены применили ребровой калибр IVа. Эта калибровка дала также хорошие результаты.

Чистовые калибры Ia и Ib с различным расположением разъемов сразу хорошо себя зарекомендовали. Следует, однако, отметить, что калибры I и II были расположены на валках косо, чтобы облегчить выход раската. Общеизвестно, что тавровые профили склонны к заклиниванию.

По старым калибровкам для образования фланцев применяли большое обжатие посередине и по краям. Этот способ из-за значительной неравномерности обжатия не является идеальным решением для калибровщика. Однако для профилей, подобных приведенному на рис. 19, а, он необходим для образования фланцев.

На рис. 19, б показаны калибры для прокатки полюсного профиля. В калибре IV большое обжатие справа позволяет начать формирование фланцев, тонких в чистовом калибре; фланцевые выступы еще, конечно, не заполняются. Калибры III и I предназначены для разгона фланцев; здесь имеется большое обжатие фланцев и поэтому масса сердцевин заставляяет фланец вынужденно уширяться. В ребровом калибре вытяжки почти одинаковы.

Особые трудности связаны с выполнением фланцев в калибрах I—IV (рис. 19, б), которые вначале плохо заполнялись. Разрез по ширине этого элемента в I калибре не принес значительного улучшения. Это наблюдалось в калибрах III и II и чистовом, где правый фланец не получал нужной ширины. Профиль оставался несимметричным, пока валки были гладкими. После некоторого времени работы ставшие шероховатыми валки увеличивают уширение и получается желаемый профиль.

Для калибровки шарнирного профиля (рис. 19, в) с семью проходами мы также применяем калибр для разгонки фланцев.

### Специальная калибровка особых профилей

Рассмотрим калибровки особых профилей, которые не базируются на известных способах калибровки обычных профилей. Разумеется, в этом случае в основе лежат научные предпосылки, но весьма существенную роль играет интуиция калибровщика, его опыт и экспериментальные данные. Очень важно правильно разбить профиль на элементы и определить их вытяжку.

В качестве примера рассмотрим калибровку бортолца 10" (рис. 20, а). Темплеты показаны пунктиром на шаблонах. Особой трудностью является та, что все калибры — открытые, и применить ребровой проход не представляется возможным. Разбивка профиля на элементы еще в известной степени возможна до IV калибра.

Однако при прокатке наконечника (рис. 20, б) это уже невозможно. Этот профиль на вид не особенно сложный. Однако его прокатка оказалась сложнее, чем какого-либо иного профиля. Первая калибровка (рис. 20, в) дала конечный профиль в соответствии с рис. 20, г с закругленными краями. Этот профиль не был принят. На том же комплекте валков был врезан калибр по рис. 20, д и были испробованы все возможные варианты второй и первой калибровок. Все время получались профили с острыми краями и с лампасами с одной или с обеих сторон (рис. 20, е).

На основании этих данных прокатали модель в масштабе 1:1,33 на малом опытном стане по калибровке с несимметричными вырезами (рис. 20, ж). Расстояние между вершинами в трех калибрах одинаково. Эта калибровка дала те же результаты. По неизвестным причинам при одинаковых режимах обжатий чистовые профили получались различными.

Так как была срочная потребность в этом профиле, выбрали первый способ прокатки — с лампасами, которые удаляли механическим путем. Дальнейшая прокатка на большом опытном стане проводилась по калибровкам, показанным на рис. 21.

Ряд калибров I—VII хотя и привел к некоторым улучшениям, однако в IV калибре образцы часто скручивались, особенно в том случае, если задаваемый конец был выполнен не точно. Образец защемлялся в левом зазоре. Кроме того, имела место подрезка и риски. Последние следует отнести за счет проводок в различных калибрах. Размеры полок готового профиля 44,2 и 37 мм из стали Ст.3 получить было либо затруднительно, либо вовсе невозможно.

После многих исследований в различных комбинациях для стали с содержанием 0,45% С удовлетворительные результаты получены при прокатке в калибрах IIa, IIIa, IVa, V, VIa, VII.

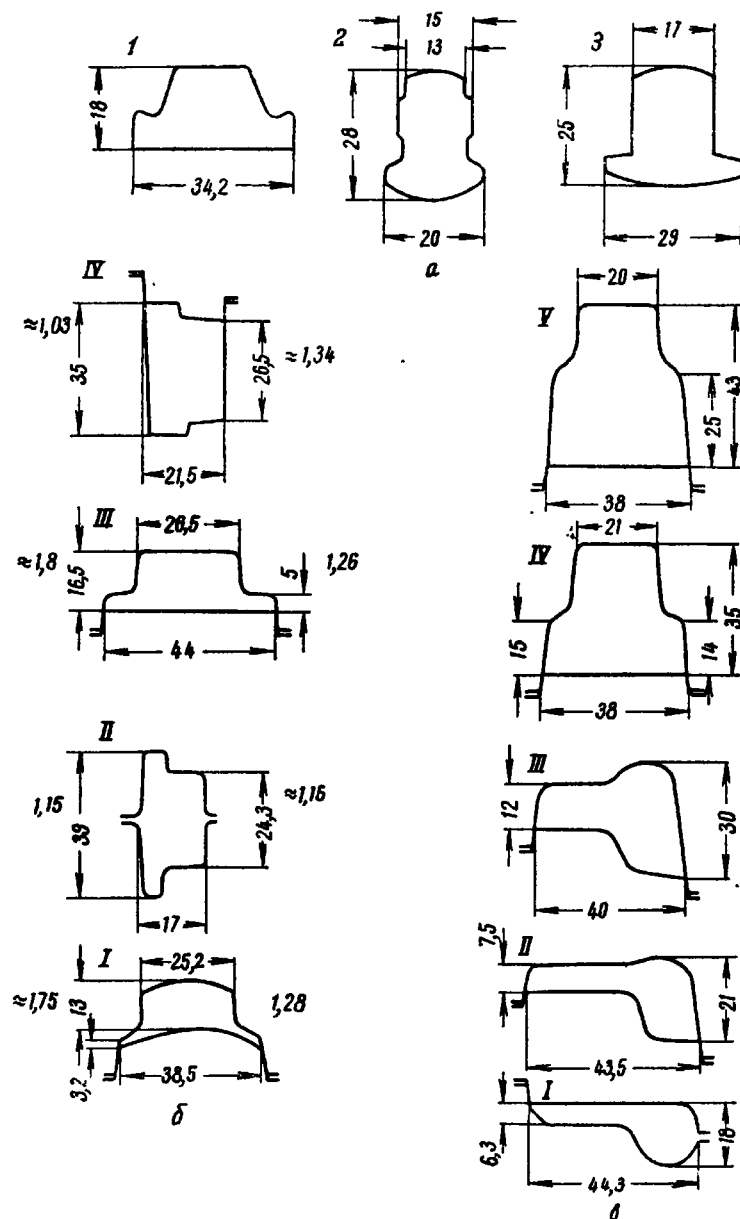


Рис. 19. Калибры для разгонки фланцев при получении особых профилей:

а — профили: 1 — петлевой; 2 — фигурный; 3 — полюсный; б — полюсный профиль; в — шарнирный лист

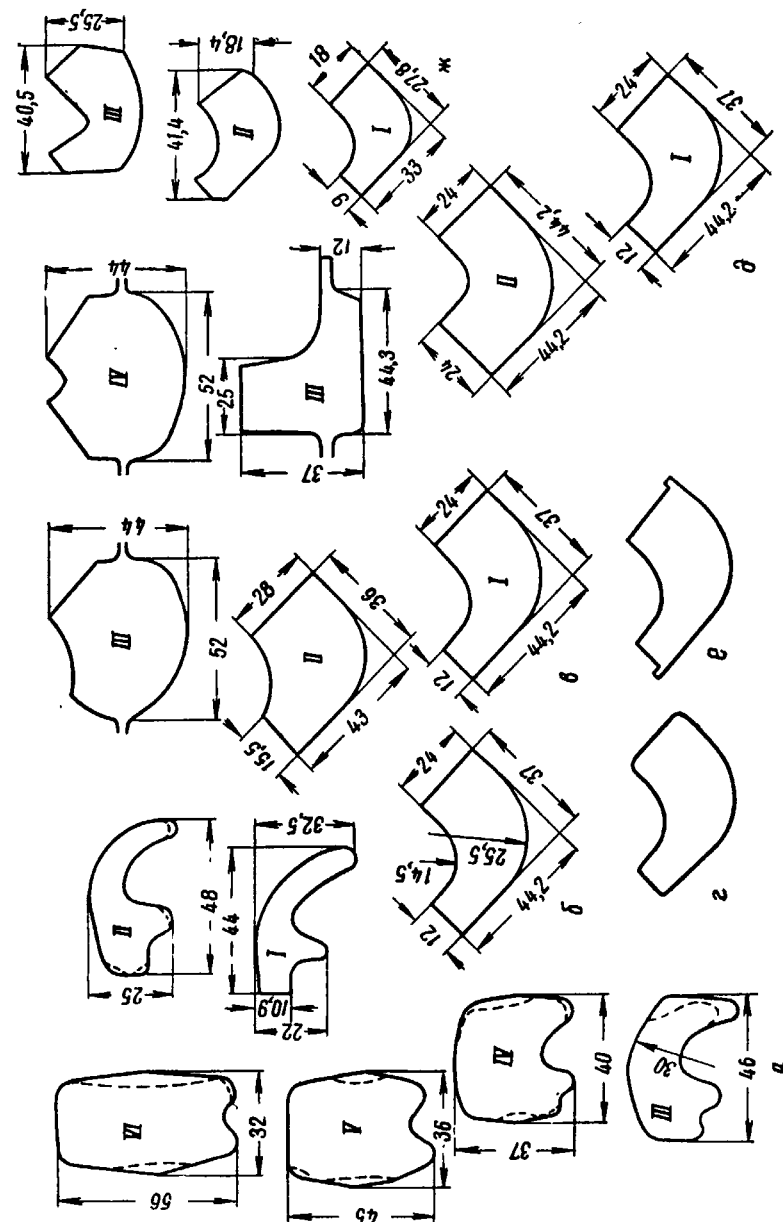


Рис. 20. Особые профили

а — бортовыми 254 мм (10"); б — наконечник; в — первая калибровка; г — профиль с закругленными гранями; ж — вторая калибровка; з — профиль с лампасами; и — калибровка для прокатки моделированного профиля

Калибр Va с чугунным верхним валком оказался ненужным, так как валки получали большое осевое смещение и ударялись друг о друга. Принята была заготовка  $45,8 \times 45,8$  мм.

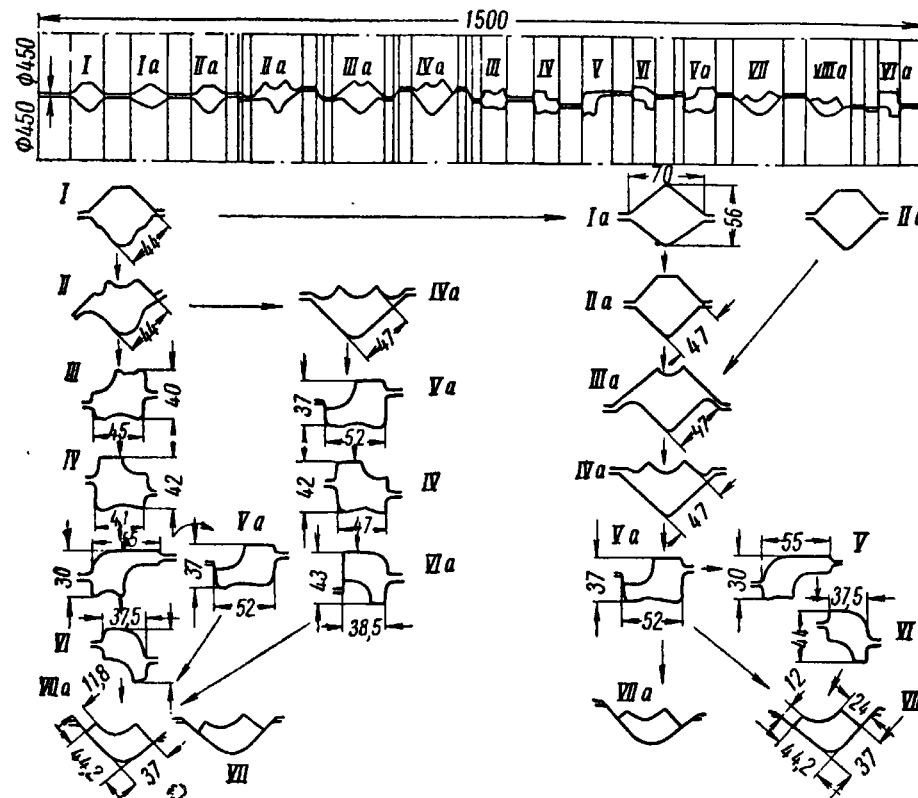


Рис. 21. Комплект опытных валков для прокатки наконечника

## ЛИТЕРАТУРА

1. H. Neumann, Zerlegung der Profile in Teile beim Kalibrieren von I — Stahl 2. Zeitschrift «Neue Hütte», 7 (1962), Heft 8, S. 480—486.
2. B. M. Schum. Kalibrierung des Leichtprofils SWP 17 für den Gruben- ausbau, Zeitschrift «Stahl in Deutsch», 2 (1962), Heft 3, S. 859—862.
3. D. I. Startschenko, Klappkalibrierung der Formprofile, Metallurg- isdas, Moskau, 1952.
4. O. Müller, G. Beier. Die Anwendung der Schmetterlingskalibrierung für U — Profile, Zeitschrift «Neue Hütte» (1960), Heft 9, S. 543—548.
5. H. Neumann. Lehrbriefe für das Ingenieur — Fernstudium, Lehrbrief Kalibrieren 7. Herausgeber: Ingenieurschule für Aufbereitung und Hüttentechnik Unterwellenborn, als. Manuskript gedruckt, 1958, Zwickau.

Инж. Е. УНГЕР

(Металлургический комбинат «Озд», ВНР)

## ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

В каждом случае специальный профиль требует от калибровщика специального решения. Если специальные профили незначительно отклоняются от обычных профилей, то чаще всего их прокатывают на одних и тех же станах. Однако трудностей при этом возникает не меньше, чем при прокатке сложных профилей на специальных станах.

Проектирование калибровки происходит значительно проще, если новый профиль приспособить к калибровке какого-либо обычного профиля. Исходя из экономических соображений, применили почти на всех станах несколько черновых вытяжных систем калибровок, каждая из которых служит для прокатки нескольких профилей. Поэтому необходимо, чтобы калибровка специального профиля была приспособлена к одной из существующих черновых вытяжных систем калибровок для уменьшения затрат времени при перестройке и перевалках валков. Вследствие этого случается, что калибровка оказывается приспособленной к существующей системе при меньшем или большем несоблюдении общих правил калибровки. Малое отклонение от этих правил не сказывается отрицательно на формировании готового профиля. Однако, как показывает опыт, с течением времени прокатываемый профиль может иметь недостатки. Причиной этих недостатков чаще всего могут быть относительно большой и очень неравномерный износ валков или трудности захвата полосы в каком-либо калибре.

Такой случай наблюдался при прокатке зетобразного профиля для строительства (рис. 1). Длительное время этот профиль прокатывали из полосы  $78 \times 24$  мм, полученной на четырехклетевом непрерывном стане. Чистовая линия состоит из пяти клеток: I клетка — трио, последующие клетки — переменное дуо.

Профиль, который заказывали обычно в малом количестве, не получался без брака. При проверке калибровки обнаружили ошибку в I фасонном калибре (относительно предыдущего пря-

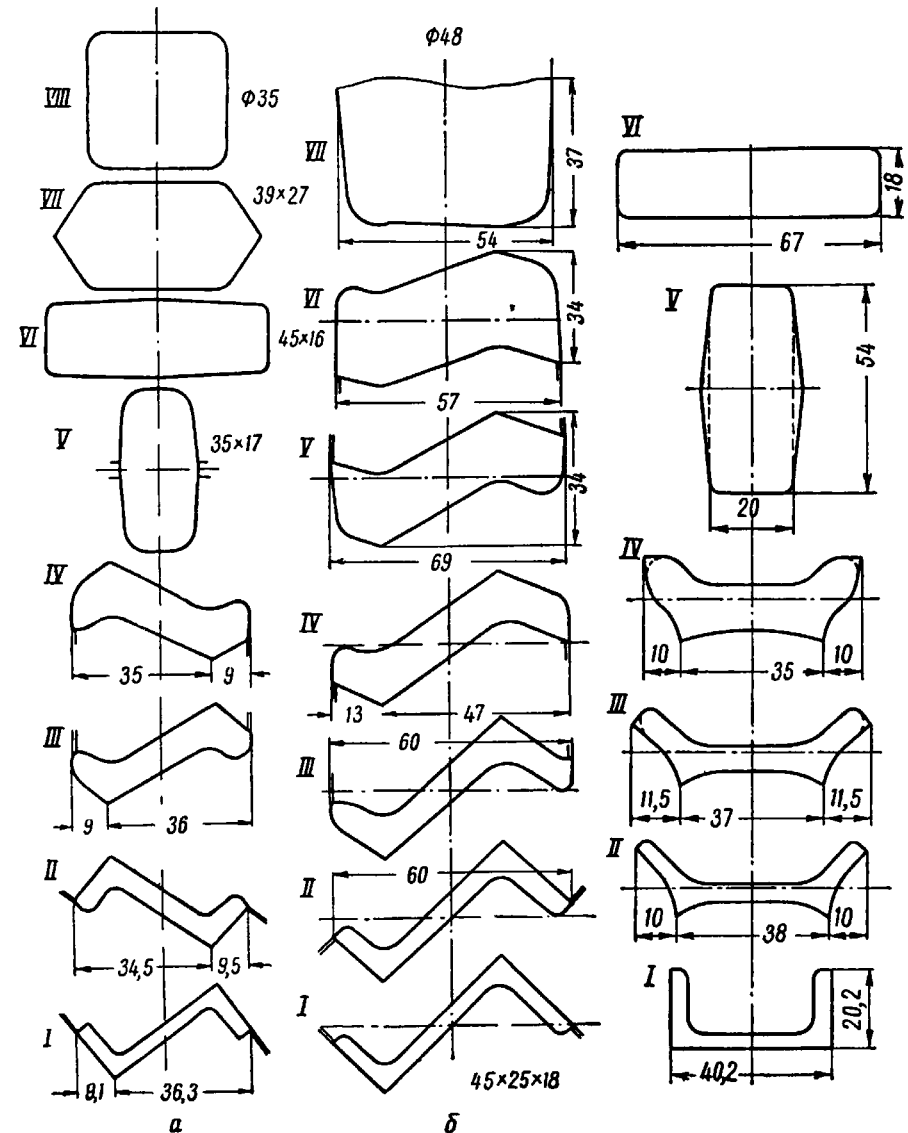


Рис. 1. Калибровка для прокатки зетового профиля:

а — старая; б — новая

Рис. 2. Калибровка швеллера  $40 \times 20$  мм

моугольника). Калибровка выполнена принципиально так, как это показано на рис. 1, а. Обжатие составляло почти 50% и появляющееся осевое давление было настолько велико, что боковые винты не могли удерживать валки. В результате получалось, что середина профиля была толще, а полки короче, чем предусмотрено калибровкой. В последующих калибрах все это усугублялось и в результате длинная полка была не выполнена, а короткая переполнена, середина была толще, чем предполагалось. При этом чистовые валки часто ломались.

Новая калибровка (рис. 1, б) предусматривала семь фасонных калибров. Однако это требовало специальной калибровки черновой непрерывной группы клетей, в которой из заготовки  $80 \times 80$  мм получали заготовку  $48 \times 48$  мм. Требовалось увеличение числа черновых калибров на один. Это изменение уменьшило трудности прокатки, но ограничило программу прокатки в непрерывной группе клетей. Калибры VII и VI (рис. 1, б) имеют такую форму, чтобы можно было между ними применить обводки Шепфа. Задача раската в чистовую клеть осуществляется вручную.

При обычной прокатке часто относительно простые профили принимают за специальные, если заказанная партия очень мала или профиль имеет специальное назначение. Таким примером из нашей практики может служить швеллер  $40 \times 20$  мм (рис. 2). Этот профиль вначале был отнесен к обычным, так как потребитель не ставил перед цехом никаких специальных требований. Ввиду его особого назначения этот профиль называли специальным и разработали для него особую калибровку. Позже выяснилось, что этого делать, не следовало. Была предусмотрена прокатка профиля в семи фасонных калибрах из полосы  $59 \times 22$  мм. Большое число фасонных калибров привело к недостаткам. Один из них — это большие теплотери, приводившие к неравномерному заполнению калибров, так как уширение раскатов по длине было неодинаково. Другой недостаток — малые обжатия в отдельных калибрах, из-за чего раскат не имел достаточной устойчивости. Незаполнение калибра по ширине вызывало изменение размеров фланцев по длине швеллера. При этом одна полка получалась с переполнением, а другая не была выполнена. На готовом раскате были также участки с хорошим выполнением обоих полок. В новой калибровке применено только четыре фасонных калибра и взято плоское исходное сечение  $54 \times 20$  мм, что обеспечило получение готовой продукции в соответствии с требованиями.

Необходимо отметить, что ценность даже наилучшей калибровки может быть снижена, если валки не имеют соответствующего качества. Рассмотрим для примера прокатку таврика  $40 \times 40$  мм с высоким ребром. Из-за высокого ребра таврик от-

несли к специальным профилям. Десятки лет этот профиль прокатывали на полутвердых чистовых валках с малой производительностью. Наибольшие затруднения получались из-за валков. Они часто ломались, хотя обжатие в чистовом калибре было небольшое.

Верхний валок в чистовой клетке был неприводным. Если между валками не находился раскат, то нижний валок увлекал верхний, едва его касаясь, что сопровождалось повреждением ручья нижнего валка. Затруднения были устранены применением валков из отбеленного чугуна, что удвоило срок службы валков.

В докладе Х. Нойманна<sup>1</sup> рассматриваются упрощения окончорамных профилей с точки зрения экономичности прокатки. Подобный случай был и в нашей практике. На рис. 3 изображена специальная калибровка профиля двутаврика, предназначенного для обручей к бочкам.

Было прокатано четыре варианта профиля с небольшой разницей размеров: два с неодинаковыми основаниями  $40 \times 30 \times 26$  и  $40 \times 32 \times 28$  мм и два с симметричными  $29 \times 26$  и  $30 \times 25$  мм. Наиболее рациональным признан вариант с размерами  $29 \times 24 \times 4$  мм. Калибровка его запроектирована с открытием по диагонали. Заготовкой служила полоса  $39 \times 22$  мм.

При применении этой калибровки не было аварий из-за заклинивания закрытых фланцев, что происходило при старой калибровке обычного типа. Наклон и положение калибра относительно линии прокатки требуют не только тщательности в выборе конструкции выводных проводок, но и в их установке. Наклонное положение калибра вызывает скручивание раската при выходе из него и в случае отсутствия противодействия скручиванию со стороны проводок раскат оставался бы после прокатки скрученным. В данном случае главным назначением выводных проводок является выравнивание раската.

Необходимо обратить особое внимание на боковое крепление валков, так как из-за наклонного положения калибра происходит перемещение валков в направлении оси.

Рассмотрим еще прокатку высоких тавриков (рис. 4 и 5). Тщательная настройка валков и непрерывный контроль ее являются непременными условиями успешной прокатки этих профилей. При этом также велика роль выводных проводок. Необходимо, чтобы проводка фланцев была слегка скошена сверху для уменьшения возможности оковывания валка. Значительно облегчает прокатку этих профилей применение нижнего давления. Преимущество нижнего давления особенно заметно при

<sup>1</sup> См. настоящий сборник, стр. 212.

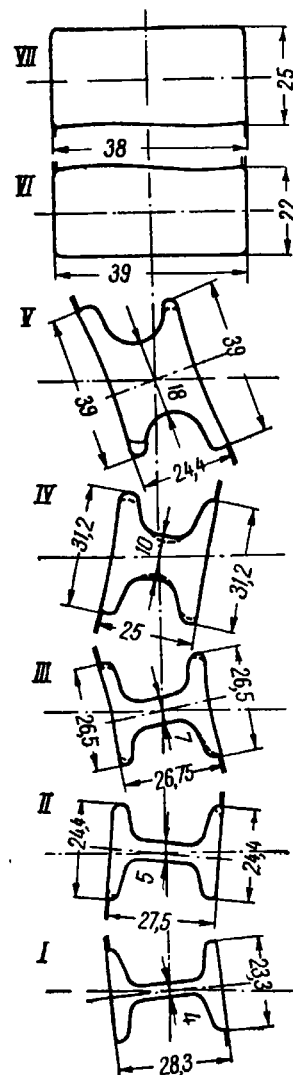


Рис. 3. Калибровка двутаврового профиля для обручей  $29 \times 24 \times 4$  мм

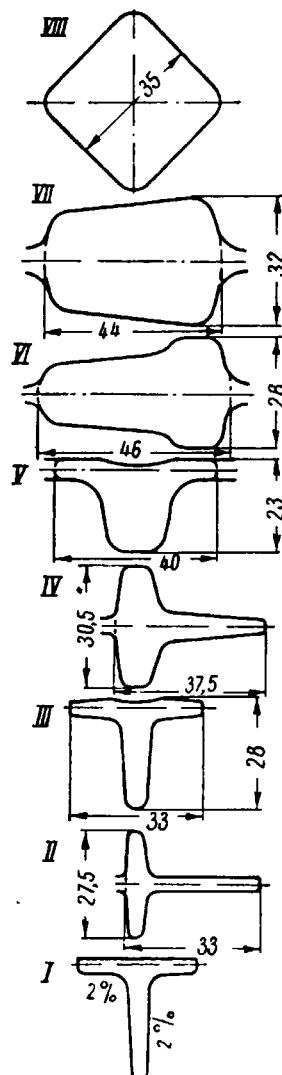


Рис. 4 Калибровка таврика  $30 \times 30 \times 4$  мм

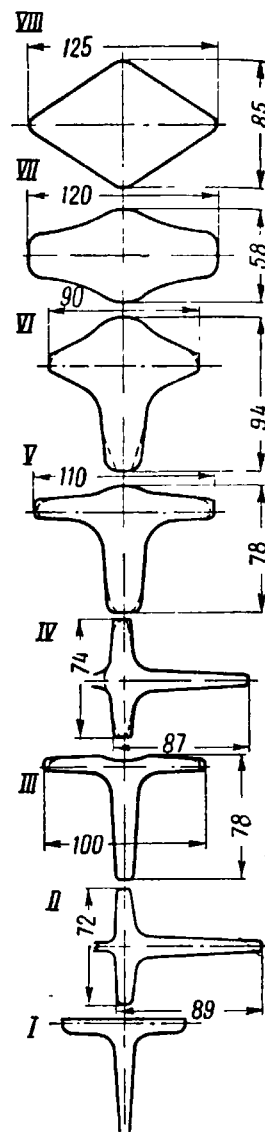


Рис. 5. Калибровка таврового профиля  $75 \times 75 \times 8$  мм

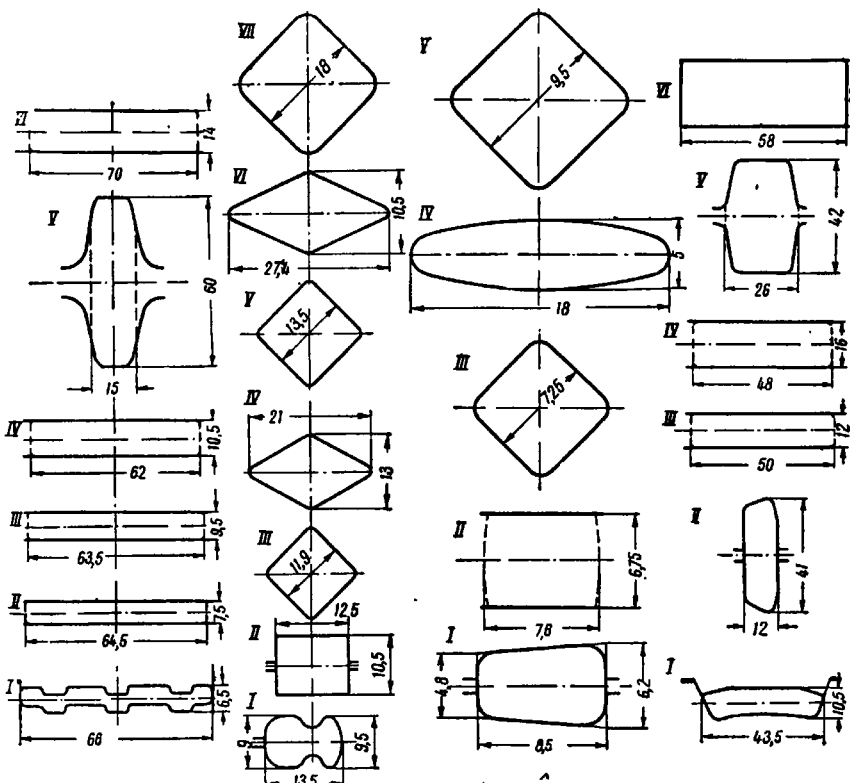


Рис. 6. Калибровка специальных профилей

глубоко врезанных фланцевых ручьях, так как при этом уменьшается действительный диаметр нижнего валка.

Применяемая у нас калибровка отличается от калибровки, представленной в докладе Х. Нойманна, так как нами использованы открытые калибры. Ранее мы применяли закрытые калибры, однако при этом было много затруднений. Износ валков был большой вследствие значительного трения на замках. В ре-

зультате изменялась толщина открытого фланца, который в следующем калибре входил в закрытый ручей и там заклинивался.

Представленные калибровки обеспечивают выполнение фланцев и позволяют получить высококачественный готовый профиль. Обе калибровки тавриков являются примерами приспособления калибровки к существующим условиям. В представленной на рис. 5 калибровке предусмотрено больше на один проход, чем

это требуется, так как в первой клетки, в которой выполняются проходы № 7 и 6, имеются обводки Шепфа.

Подобное положение возникает при прокатке таврика  $75 \times 75$  мм. Сечение, получаемое из VIII калибра, можно непосредственно задать в VI калибр. Однако в связи с тем, что только с передней стороны клеток имеются шлепперы, вынуждены были в первой клетки предусмотреть еще один проход.

На рис. 6 показаны калибровки еще нескольких профилей, которые являются специальными профилями, но калибровка валков для их прокатки простая.

Многочисленные профили, которые ранее производили только прокаткой, получают методом гибки в холодном состоянии из полос или выдавливанием. Несмотря на это, многие специальные профили, вероятно, еще длительное время будут получать прокаткой, поэтому необходимо эту область прокатки и калибровки и далее развивать.

Инж. ДЖ. МАК ЛАУХЛАН

(Сталеплавильное общество Еплби-Фродингем, Англия)

## КАЛИБРОВКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

### Балочный стан

Блюмы для стана дуо поступают с блюминга 1050, на котором прокатывают слитки массой 4 и 6 т. После обрезки концов полосу разрезают на части, длина которых зависит от назначения блюмов.

Ножницы спроектированы для резки сечений до  $16\,500\text{ см}^2$  при максимальной ширине 560 мм. Наибольшая длина блюма равна 7600 мм.

Блюмы перед подачей к стану дуо нагревают в методической печи.

Балочный стан дуо 770 с длиной бочки 2260 мм состоит из расположенных в линию трех клеток дуо: черновой, подготовительной и чистовой.

Мощность двигателя равна 3678 кВт, а число оборотов в минуту равно 0—50—140.

Все клетки с обеих сторон оборудованы манипуляторами и шлепперами.

Сортамент стана включает двутавры, тавры, швеллеры, полосы, равнобокие и неравнобокие уголки, полосу-бульбовые, углобульбовые и зетовые профили, а также шпунты, башмаки тракторов и другие специальные профили.

Некоторые профили прокатывают только в чистовой клетки, а заготовку получают в предчистовой. Другие фасонные профили прокатывают в двух клетях, а самые большие фасонные профили в трех клетях.

Программу прокатки устанавливают такую, чтобы перевалка никогда не производилась более чем в двух клетях. После перевалки трех клеток назначают профиль, который можно прокатывать в двух или одной клетки. При прокатке в двух клетях проводят перевалку черновой клетки. При всех перевалках брусья

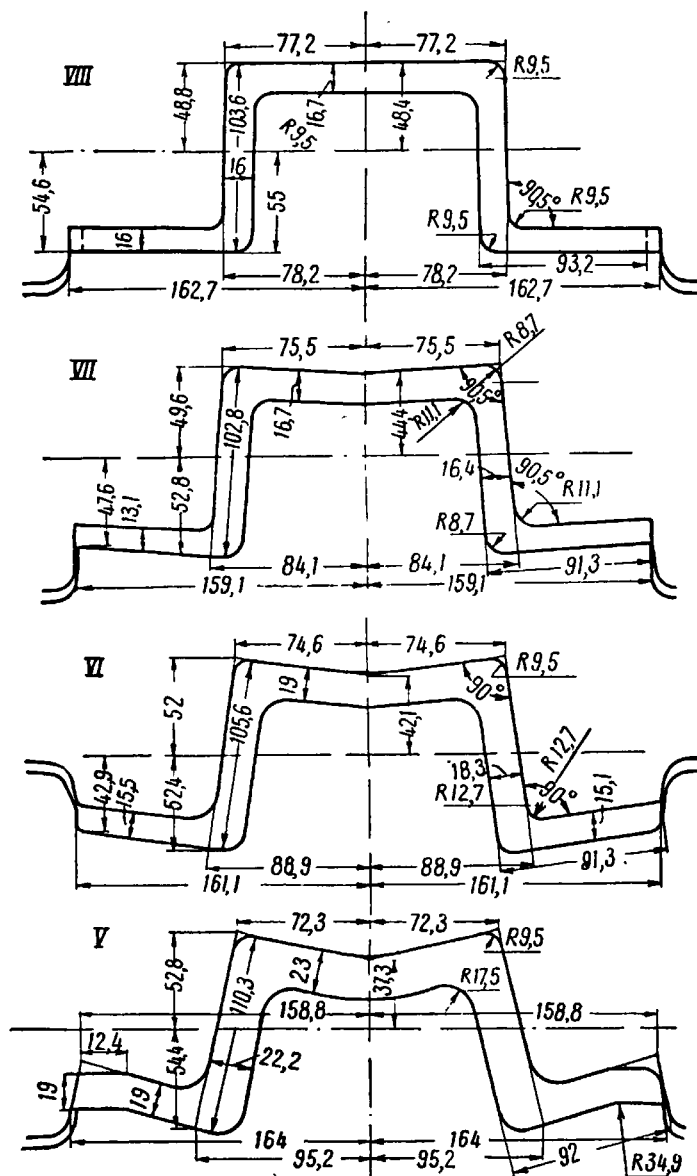
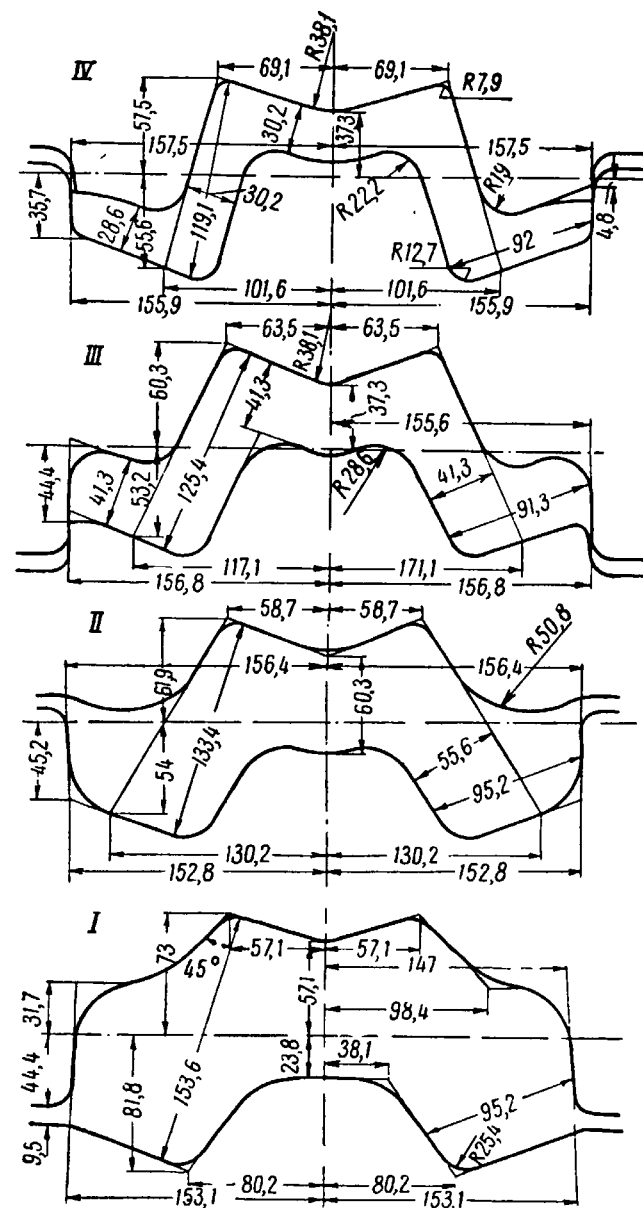


Рис. 1. Калибровка железнодорожного



швеллерного профиля (шпалы)



крепления остаются; заменяют только проводные коробки и проводки. Средняя продолжительность перевалки одной клетки равна 46 мин.

### Калибровка валков

В качестве примеров калибровки выбраны четыре специальных профиля.

**Железнодорожный швеллерный профиль** (рис. 1) симметричен относительно вертикальной оси. Его фланцы направлены под углом  $90^\circ$  к горизонтальной плоскости, поэтому при разработке калибровки эту часть профиля следует отгибать.

**Гусеничный профиль** (рис. 2) не имеет какой-либо оси симметрии. Его можно прокатывать в положении, показанном на рис. 2, или выступами вверх. Изгиб профиля необходим для формирования выступа обоими валками, что удобнее производить в открытой части калибра, чем при большом числе проходов в закрытом ручье.

Необходимо обратить внимание, как и в остальных калибровках, на чередование мест разъема валков, чтобы предупредить возможность переполнения калибров металлом.

**Полособульбовый профиль** (рис. 3). Способ калибровки этого профиля отличается от способов, примененных в двух предыдущих случаях. В отличие от фасонных профилей, размеры сечения которых должны соблюдаться, полособульбовый профиль может поставляться по массе 1 пог. м, которая достигается изменением толщины плоской части профиля. Этот фактор был принят во внимание при выборе расположения калибров на валках. Необычной является прокатка профиля такого типа головкой вверх.

Калибры выбраны так, чтобы часть полосы с сечением, почти равновеликим сечению головки, изогнуть с целью получения почти симметричного первого прохода<sup>1</sup>. Монтаж калибров и местоположение разъема валков предупреждают переполнение калибров металлом.

**Шпунтовая свая** (рис. 4) — профиль, части которого имеют форму, исключающую возможность его полного соприкосновения с одним из валков. Вследствие этого профиль имеет ограниченную вытяжку в чистовом проходе. Этим профиль отличается от полособульбового и гусеничного профилей. Железнодорожный швеллер также ограничен весьма небольшими коэффициентами вытяжки, однако причина здесь иная: в параллельности фланцев, перпендикулярных к горизонтальной плоскости.

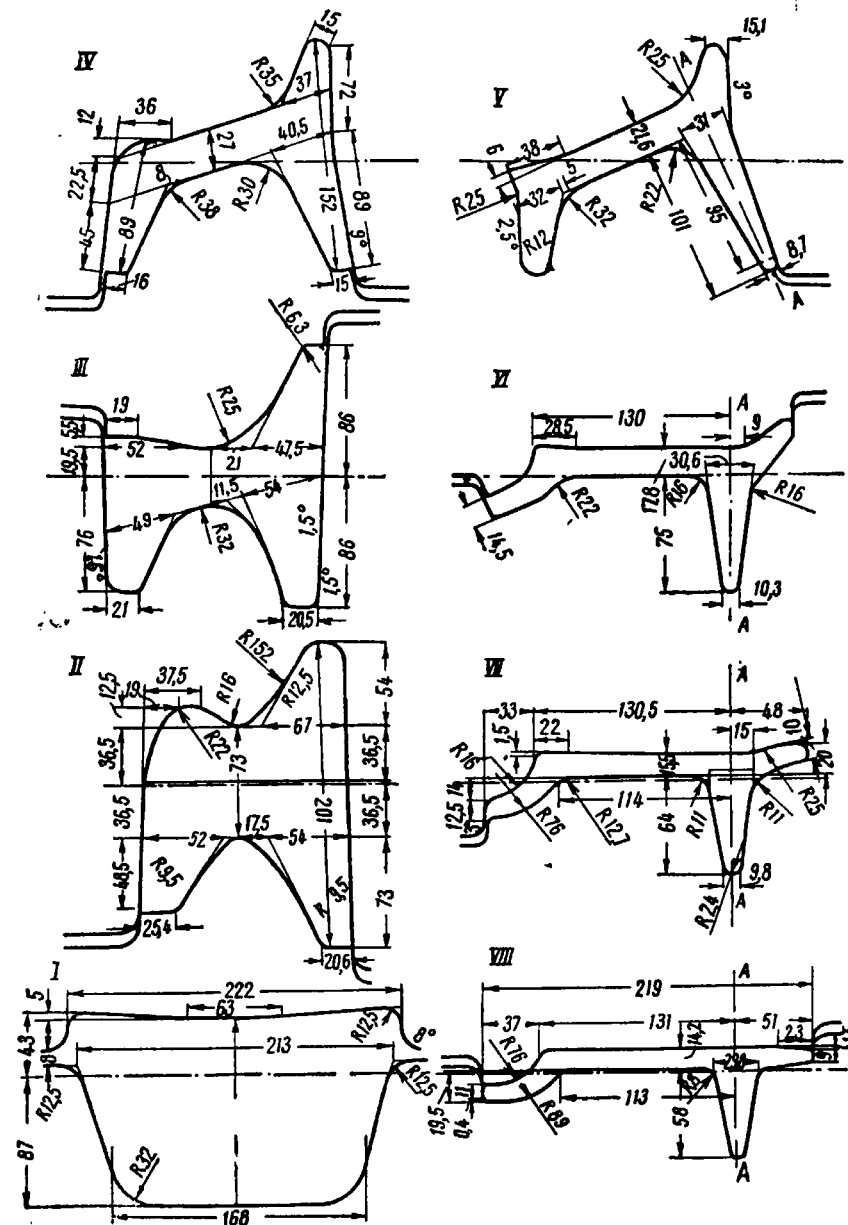
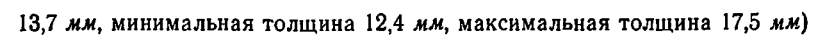
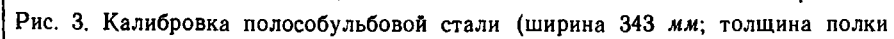
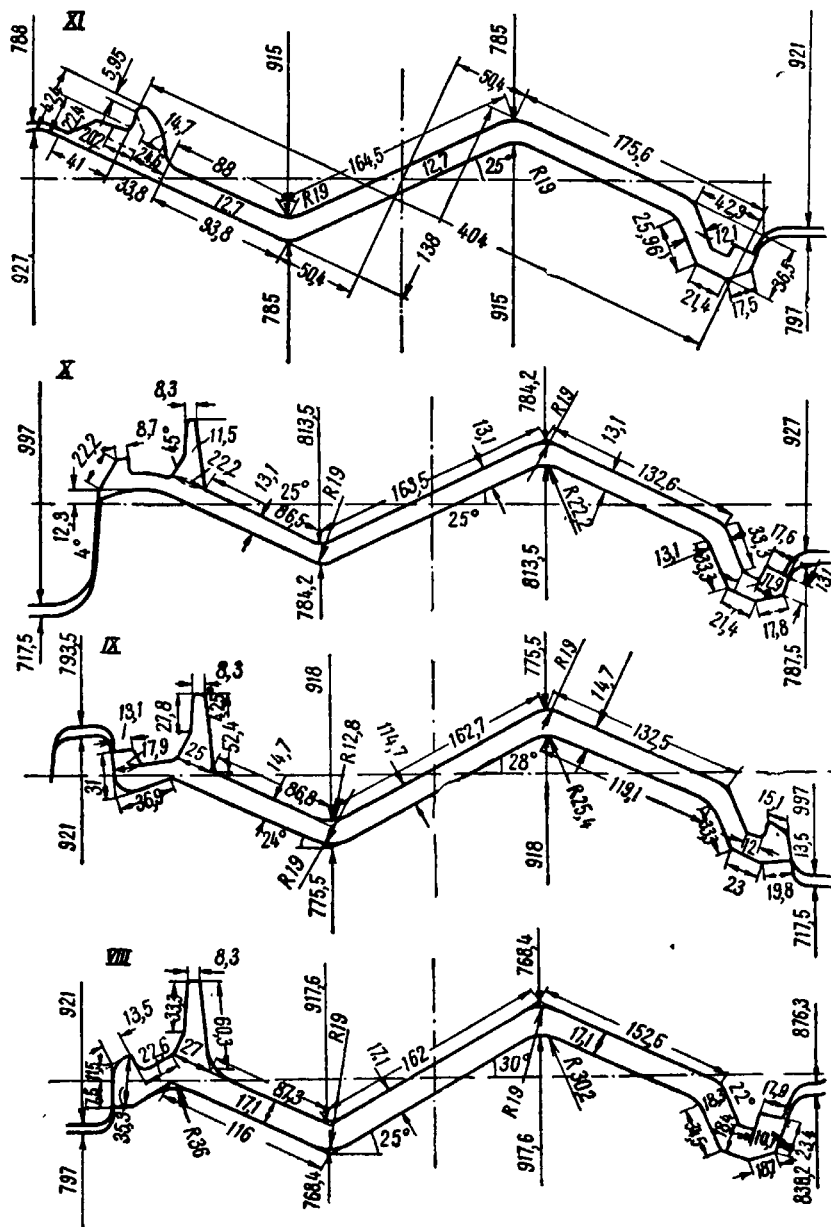


Рис. 2. Калибровка гусеничного профиля (башмака)

<sup>1</sup> Аналогичный прием был предложен в СССР проф. Д. И. Старченко. Пер.







Следует считать ненормальным, если расположение профиля в валках иное, чем показано на рис. 4 (замком вверх). Однако этот профиль можно в известных пределах повернуть вокруг нейтральной точки в направлении, обратном движению часовой стрелки, и в значительно меньшей степени — в противоположном направлении.

При подборе калибров было приложено много усилий, чтобы получить почти симметричный первый калибр, в котором прокатку ведут в двух или четырех проходах, так как требуется их четное число.

(Продолжение рис. 4)

*Инж. А. МАКОМАСКИ*

(Объединение металлургии железа и стали, ПНР)

### О КАЛИБРОВКЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Дж. Мак-Лаухлан представил нам несколько очень интересных калибровок, из которых по двум калибровкам после небольшой корректировки размеров производят прокатку в Польше. Соответствующие профили прокатывают в Англии на трех-клетевом реверсивном крупносортом стане 860.

Главная линия стана 860 состоит из блюминга и трех линейно расположенных клетей. Привод черновой линии расположен на стороне, противоположной приводу блюминга. Это расположение идентично расположению, которое будет иметь наш реверсивный стан на металлургическом заводе им. Дзержинского после предусмотренной модернизации.

Заслуживает внимания усовершенствование английского прокатного стана, выразившееся в добавлении двух универсальных клетей, что позволяет прокатывать широкополочные двутавровые балки. Эти экономичные профили находят все большее распространение (в Англии работают четыре стана такого типа). Так как широкополочные двутавровые балки будут, несомненно, изготавливать и у нас, то было бы очень желательно обсудить калибровку и способы получения также и этих профилей.

Представленная калибровка обладает той особенностью, что профили производят изгибом полок или шеек. Особенно интересной является калибровка весьма несимметричной полособульбовой стали. Калибровка начинается с совершенно симметричного калибра, подобного тому, какой обычно применяют для швеллера, а конечную форму получают прокаткой на гладкой бочке с последующим изгибом полки. При сравнении с калибровкой подобного бульбового профиля, который прокатывают у нас на реверсивном стане металлургического завода им. Дзержинского, надо отметить рациональное расположение чистового калибра относительно линии прокатки, показанное Дж. Мак-Лаухланом.

Если обстоятельства позволяют, то рекомендуется располагать калибры так, чтобы главная ось профиля совпадала с линией прокатки.

Хотя такое решение и связано с некоторыми трудностями в изготовлении валковой арматуры (особенно направляющих проводок), однако оно обеспечивает устойчивое положение профиля без вертикального давления и является более правильным.

Если применяемое у нас положение калибра относительно линии прокатки оправдывается, то только потому, что толщина профиля сравнительно велика. Однако сомнительно, чтобы при таком расположении более тонкий профиль вообще можно было прокатывать. Как обоснование моей точки зрения я могу упомянуть о калибровке автообода, которая не позволяла надежно вести прокатку. Шейка профиля была расположена параллельно оси прокатки. Лишь после того как положение профиля изменили относительно линии прокатки, стало возможным прокатывать по этой калибровке. Окончательный профиль получают холодной формовкой.

Второй профиль, который прокатывают и у нас, — гусеничный трак (башмак). При прокатке гусеничного трака по английской калибровке первые калибры напоминают рельсовые, а готовый профиль получают изгибом и прокаткой в ребровых калибрах. Наша калибровка этого профиля, прокатываемого на металлургическом заводе Новотко, основывается на общепринятых соображениях. В калибровке имеется один ребровой калибр. Однако ребровой проход очень трудно осуществить при работе вручную. В связи с этим представленную калибровку следует считать лучшей.

В дополнении следует отметить, что очень важным является правильное распределение металла во II калибре, так как перемещение металла слева направо и наоборот в последующих калибрах весьма затруднительно и даже вообще невозможно.

Калибровки двух остальных профилей также очень интересны и основываются на постепенном изгибе полок профиля. Особенно достойна внимания калибровка шпунтового профиля.

Таким образом, все представленные Дж. Мак-Лаухланом калибровки достойны внимания и их можно рекомендовать для практического использования.

Инж. Ф. БЛЕХА

(Тржинецкий металлургический завод, ЧССР)

## КАЛИБРОВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Развитие железнодорожного транспорта требует применения вагонов большой грузоподъемности, что сопровождается увеличением давления на ось и скорости движения до 150 км/ч и более. Во всех странах мира ищут пути для обеспечения надежности работы рельсов с учетом повышенных требований. Эти задачи решают повышением массы 1 пог. м рельсов, усовершенствованием профиля, улучшением химического состава стали и применением термической обработки рельсов.

Химический состав стали для рельсов не имеет международных стандартов и зависит от задаваемых механических свойств, а также от термической обработки. С целью улучшения качества рельсов стремятся к увеличению природной твердости всего сечения повышением содержания углерода и марганца или легированием хромом и ванадием.

В докладе рассматривается калибровка рельсов Р-50. Эти рельсы прокатывают главным образом на дуо-реверсивных трех-четырехклетевых станах 800—900, станах трио 750—850 и комбинированных станах (например, стан завода Гери).

Рельсы являются асимметричными профилями относительно вертикальной оси. Распределение металла в его элементах неравномерно: имеются рельсы, в которых площадь сечения головки равна площади сечения подошвы, и рельсы, в которых площадь сечения головки равна сумме площадей сечений шейки и подошвы. В связи с этим добиться всегда одинакового обжатия всех элементов рельса невозможно. Наибольшее обжатие приходится на шейку, для головки и подошвы рельса оно меньше.

Метод калибровки рельсов зависит от расположения и оборудования стана, технологии производства и вспомогательного оборудования. Задача калибровщика состоит в том, чтобы правильно установить число проходов в черновой, предчистовой и чистовой группах клетей стана, а также определить обжатия, форму и размеры калибров. Правильная калибровка обеспечит

в результате необходимые размеры профиля в пределах допусков, а также максимальную производительность стана с учетом требуемого качества.

Величина обжатия должна устанавливаться с учетом числа проходов, температуры и скорости прокатки и пластических свойств прокатываемого металла. В первых проходах температура металла выше и сопротивление его деформации меньше. Поэтому обжатия в них должны быть большими, чем в предчистовых и чистовых проходах. Длина проката также оказывает влияние на калибровку: чем она больше, тем больше разность температур между передним и задним концами и тем больше различие размеров обоих концов. Следует установить также оптимальную температуру конца прокатки, так как она оказывает большое влияние на конечную структуру и качество поверхности рельсов.

Известные методы калибровки рельсов можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся старые методы калибровки (рис. 1, а). Вторая группа (рис. 1, б) характеризуется применением разрезных калибров.

### Первая группа методов калибровки (рис. 1, а)

*Тип А.* Этот тип характерен тем, что раскат не кантуется. Здесь нет ребрового калибра, поэтому проработка металла подошвы и ее прочность недостаточны. При прокатке рельсов с широкой подошвой следует опасаться плохого заполнения частей калибров, образующих подошву рельса. От такой калибровки обычно отказываются.

*Тип Б.* Это обычный способ калибровки, по которому можно получить достаточно широкую подошву рельса и лучшую проработку металла. Главные оси калибра параллельны осям валков, поэтому осевые давления невелики и износ опорных поверхностей также мал. Ребровые калибры заполняются хорошо, поэтому можно правильно подобрать обжатия. Закрытые калибры расположены попеременно в верхнем и нижнем валках. Необходимо выбирать правильный уклон головки рельса и подошвы с учетом обжатия и уширения металла, чтобы при прокатке не было слишком большого износа боковых стенок калибра.

*Тип В.* Для образования достаточно широкой подошвы рельса применяют два ребровых калибра. В калибре, предшествующем ребровому, выполняют углубление для образования шейки рельса. Поэтому следующие ребровые калибры заполнены хуже, давление для проработки металла в направлении шейки профиля значительно меньше и, кроме того, в формующих калибрах могут обнаружиться скрытые пороки. Остальные калибры подобны калибрам предыдущего типа. Эта калибровка устарела.

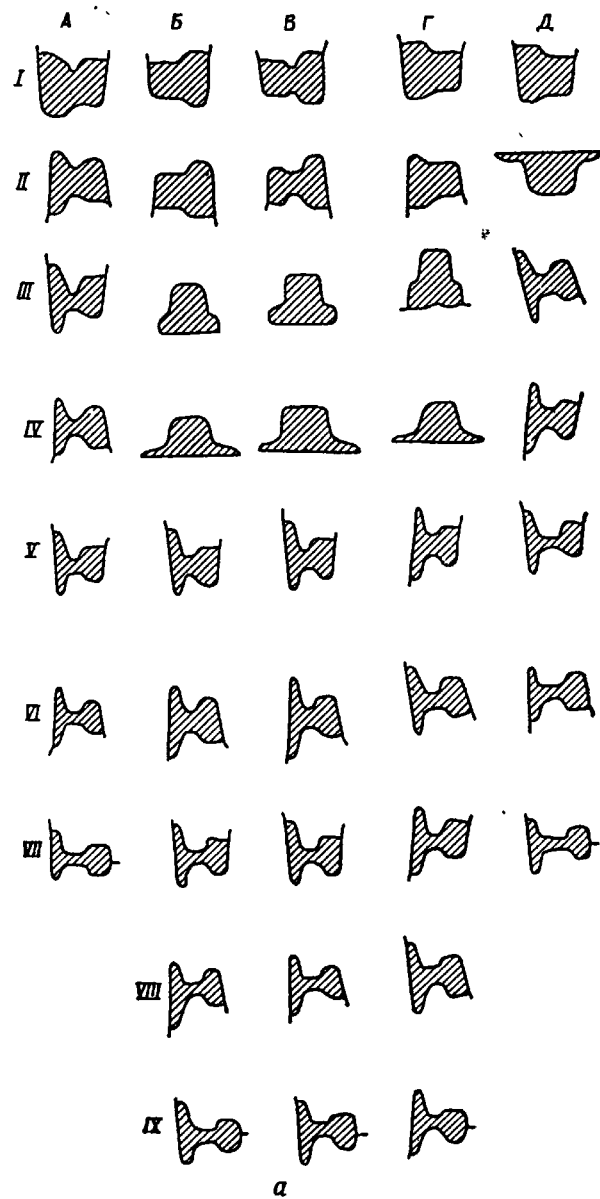
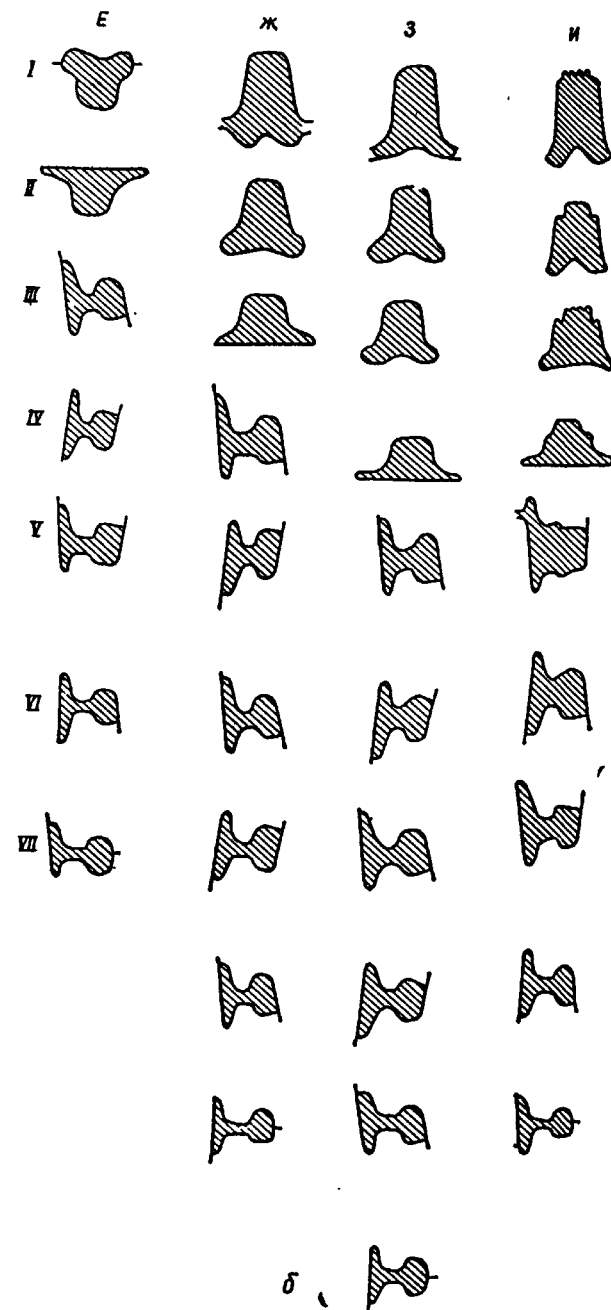


Рис. 1. Типы калибровок



для прокатки рельсов

**Тип Г.** По выполнению эта калибровка подобна калибровке типа В. Однако в I и II калибрах не делают углубления для шейки рельса, в результате чего в ребровых калибрах получают хорошее заполнение (калибры III, IV). В ребровом калибре III часть металла отделяется плоским клином снизу для образования подошвы рельса.

**Тип Д.** После ребрового калибра формирование профиля осуществляется в наклонно расположенных калибрах. Для осуществления большого прямого давления на подошву рельса ее изгибают в открытой части калибра. В таких калибрах получают лучшую проработку металла в местах касания шейки и подошвы. Этот способ применяют для прокатки тяжелых рельсов с более широкой подошвой при минимальном числе проходов (семь) в формирующих калибрах.

### Вторая группа методов калибровки (рис. 1, б)

**Тип Е.** В первом проходе применяют клин на верхнем валке. Это приводит не только к лучшей проработке металла подошвы рельса, но и к изменению направления первичных кристаллов (они не будут иметь вертикального направления, как у рельсов, прокатанных по калибровкам типа А—Д). В первых двух проходах производится прямое обжатие подошвы. Следующие черновые калибры расположены диагонально с целью интенсивной проработки металла. Калибры V—VII имеют обычную конструкцию. Эта калибровка имеет минимальное число проходов (семь).

**Тип Ж.** Калибровка имеет три ребровых калибра, из которых I и II являются разрезными для лучшей проработки подошвы и головки рельса. Остальные черновые калибры (IV—VIII) имеют диагональное расположение. Результаты прокатки по этой калибровке хорошие.

**Тип З.** В калибровке применены четыре ребровых калибра, из которых первые три — разрезные. Последующие калибры имеют диагональное расположение.

**Тип И.** Эта калибровка в принципе похожа на калибровку типа З. По патенту № 917062 она должна быть выполнена так, чтобы на профиле не получались закаты. Благодаря волнистой форме головки калибровка должна обеспечить лучшую проработку металла. Черновые калибры показаны на рис. 2.

На рис. 3 представлены два черновых калибра. Калибр I выполнен с прямыми выпусками подошвы рельса (2,3%). Изгиб подошвы рельса, как это показано во II калибре с большим уклоном (в открытой части калибра), не дал хороших результатов. Этот способ на практике себя не оправдал.

Конструкция предчистовых калибров имеет большое влияние на правильность формы чистового профиля в пределах допусков.

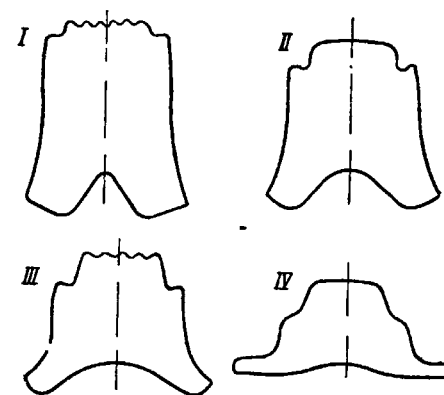


Рис. 2. Черновые калибры по патенту № 917062

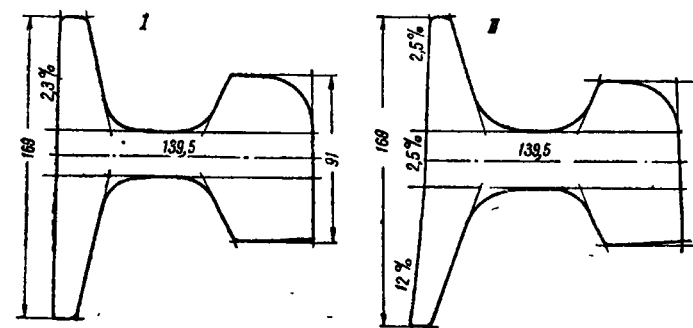


Рис. 3. Калибровка подошвы рельса:  
1 — нормальная; 2 — с увеличенным уклоном

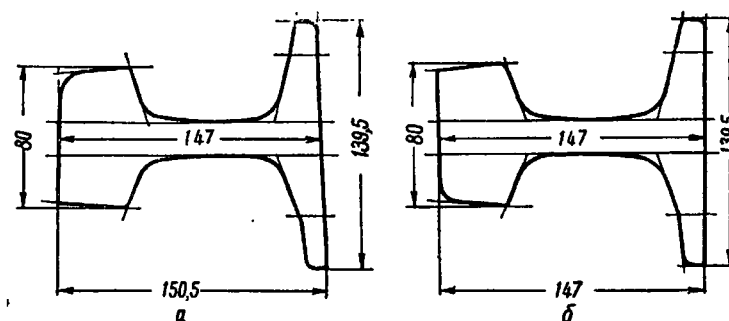


Рис. 4. Расположение предчистового калибра



Имеется два варианта выполнения предчистовых калибров (рис. 4). По первому варианту (рис. 4, а) калибр закрыт у головки и у подошвы рельса в верхнем валке и осевое давление равно разности давления на головку и подошву. При правильном выборе обжатия обеспечиваются хорошие результаты прокатки. Стойкость чистового калибра на нелегированных валках

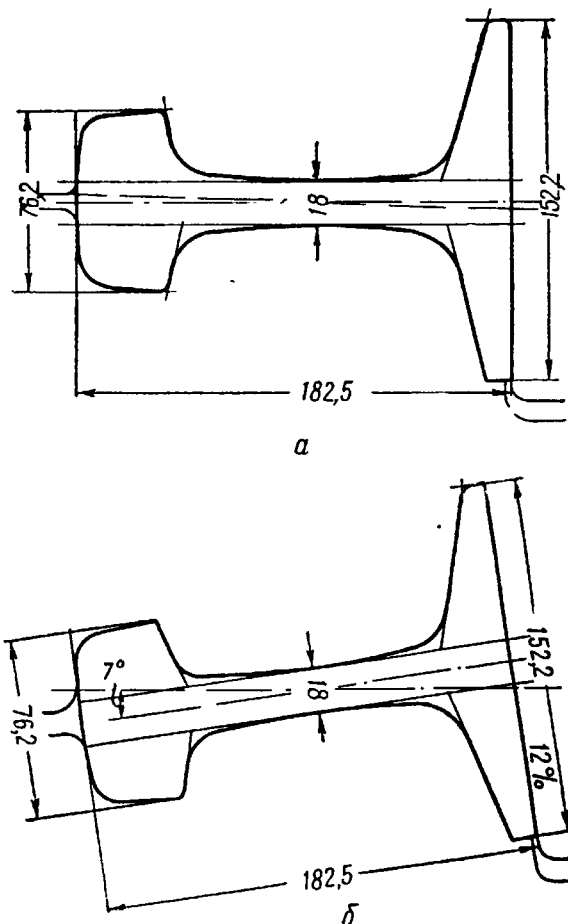


Рис. 5. Расположение чистового калибра

составляет в среднем 400 т при прокатке рельсов Р-50. По второму варианту (рис. 4, б) предчистовые калибры имеют диагональный врез с уклоном 3—15%.

На рис. 5 представлено два варианта косого расположения чистового калибра. Первый вариант — с небольшим наклоном

калибра к горизонтальной оси (рис. 5, а) — допускает симметричное небольшое раскрытие у головки рельса. Второй вариант (рис. 5, б) с большим уклоном (до 12%) можно применять только в том случае, если большое раскрытие у головки рельса не мешает сохранению правильной формы.

На рис. 6 представлено несколько схем монтажа валков: а) прокатка по устаревшему способу осуществляется в шести калибрах балочного типа; б) калибровка, хорошо оправдавшая себя на практике благодаря удобству настройки стана; в) два варианта калибровки: более старый за семь проходов по типу Е и улучшенный благодаря помещению на месте первого плоского калибра двух разрезных ребровых калибров и плоского калибра; г) калибровка рельсов Р-65, имеющая два ребровых и пять диагональных калибров; д) калибровка для прокатки рельсов Р-65.

Хотя прокатка рельсов с одним нагревом требует меньше производственных затрат, однако при вторичном нагреве возможно улучшение поверхности заготовки; это устраняет поверхностные пороки готового профиля и улучшает процесс прокатки, так как при равномерном высоком нагреве уменьшается износ калибров и достигаются более узкие допуски.

Для реконструированного стана нами выполнена новая калибровка рельсов Р-65 (рис. 7—10). Валки первой клетки имеют плоский и два разрезных ребровых калибра. Такая калибровка позволяет применить высокую заготовку, задаваемую в I разрезной калибр, что имеет решающее значение для уменьшения волосянин на поверхности рельсов. Чем хуже качество прокатываемого металла, тем эффективнее большое обжатие его по высоте. Следует отметить, что на появление волосовин также оказывает влияние повышение температуры начала прокатки. Большое обжатие и высокая температура способствуют свариванию волосовин. Применение больших обжатий повышает также производительность блюмингов.

В закрытой части ребрового калибра при его расчете учитывают уширение металла. Это делается для того, чтобы избежать большого износа боковых стенок. Во II ребровом калибре также предусматривают большое обжатие. Это делают для разрушения первичной структуры металла в верхних слоях.

Всего в этой калибровке имеются три ребровых и шесть пластовых калибров, которые обеспечивают равномерное заполнение подошвы (вверху, внизу). На рис. 11 показана схема калибровки рельсов, применяемая на заводе Гери.

В докладе рассмотрены различные способы калибровки рельсов, однако вопросы калибровки решены далеко не полностью. На развитие калибровки будут влиять возрастающие требования, предъявляемые к рельсам. Простые способы калибровки с

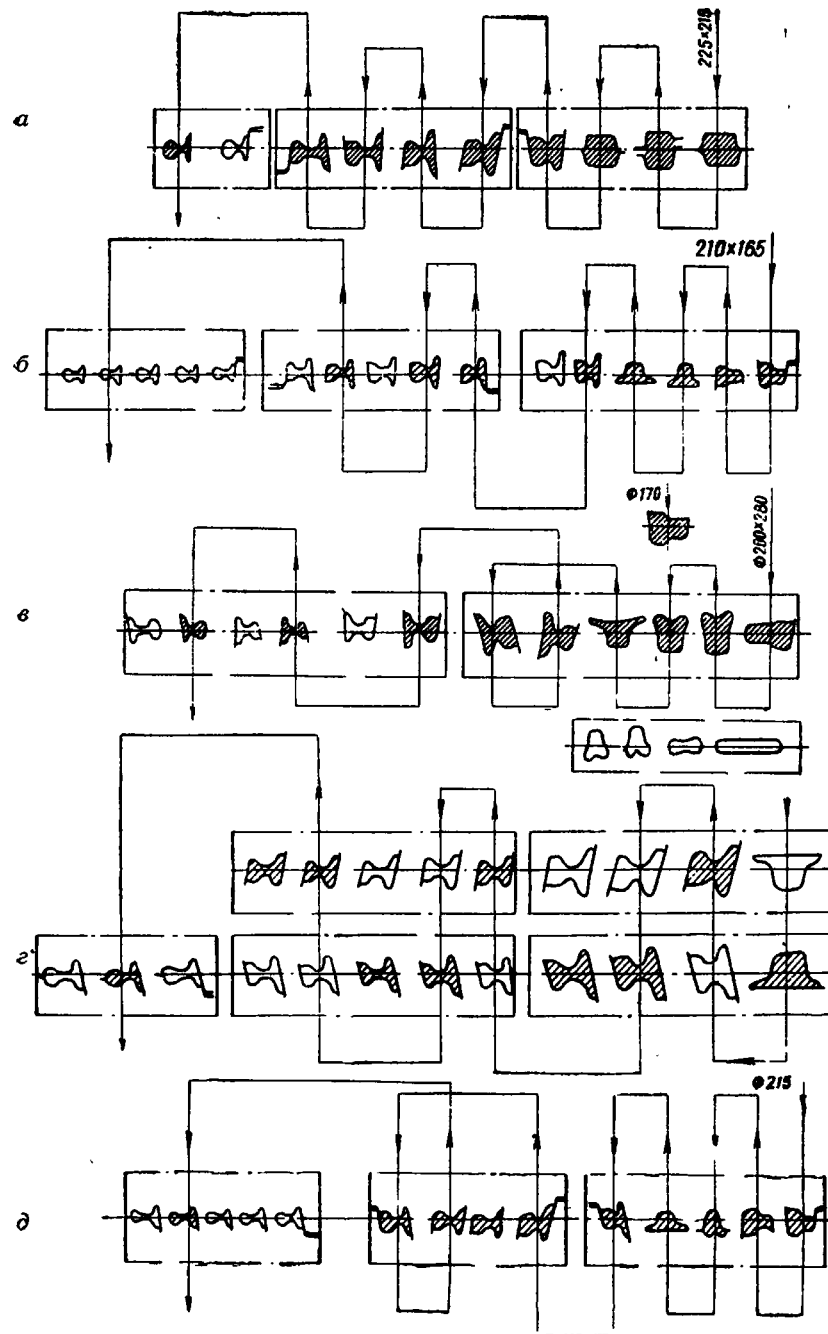


Рис. 6. Схемы прокатки рельсов:

а — Р-50, старая калибровка; б — Р-50, хорошая калибровка; в — семи- и девятипроходные калибровки; г — Р-65; д — Р-65

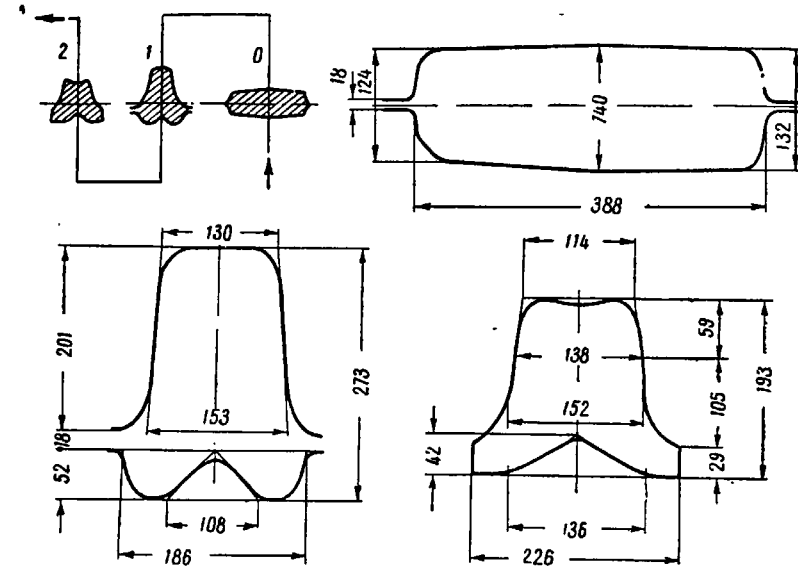


Рис. 7. Валки и калибры I клетки для прокатки рельсов Р-65

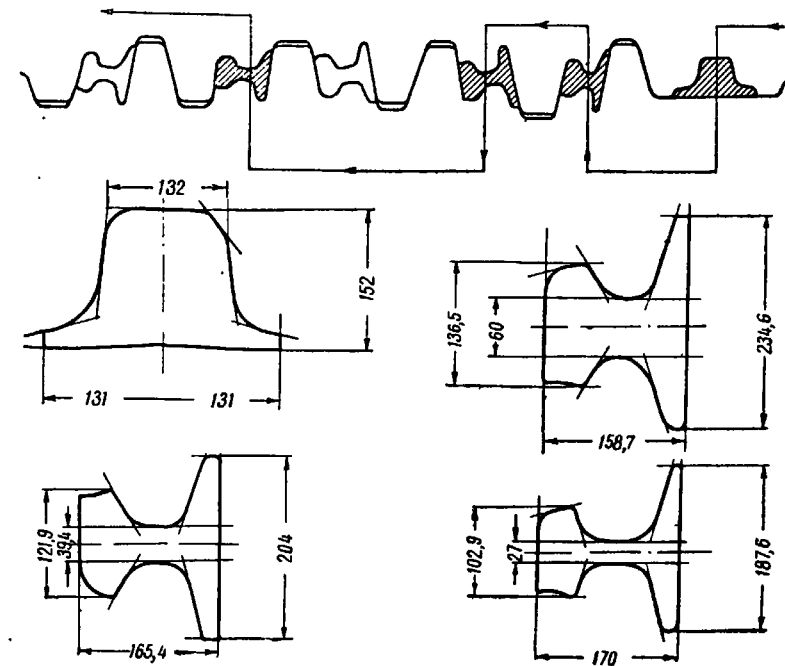


Рис. 8. Валки и калибры II клетки для прокатки рельсов Р-65

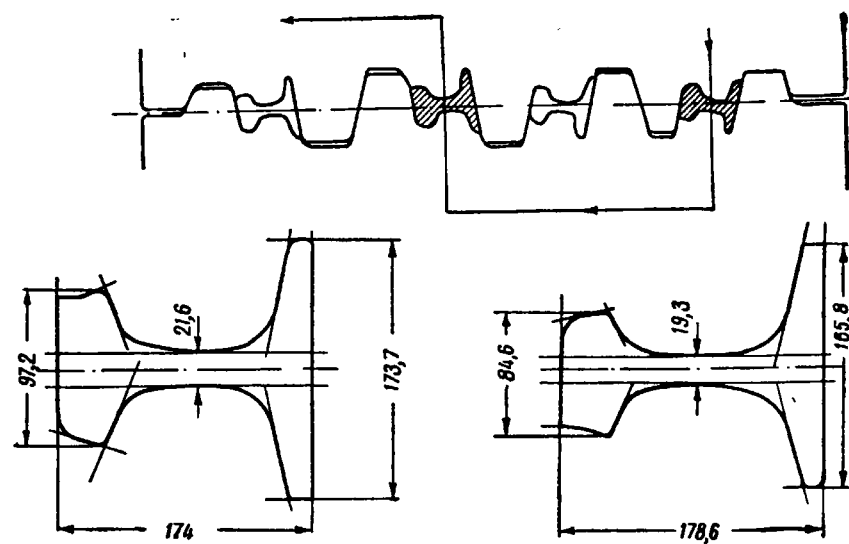


Рис. 9. Валки и калибры III клетки для прокатки рельсов Р-65

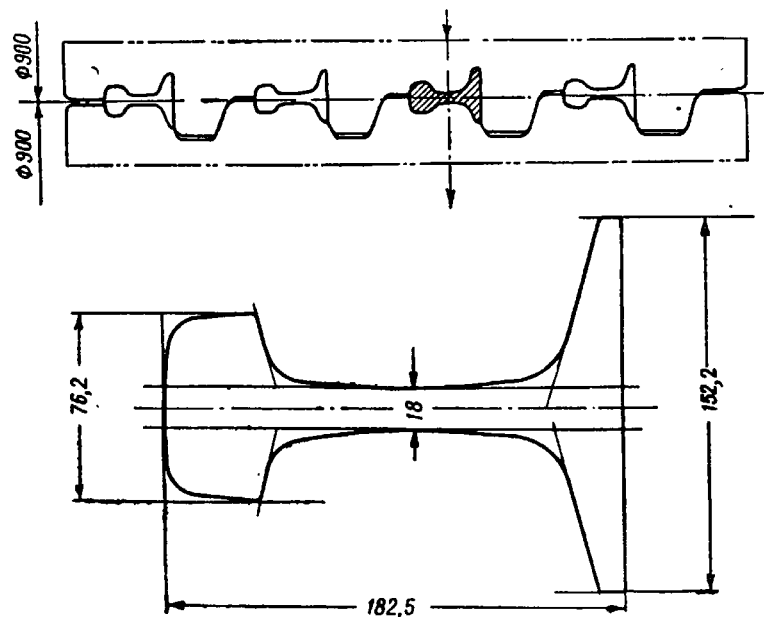


Рис. 10. Валки и калибры IV (чистовой) клетки для прокатки рельсов Р-65

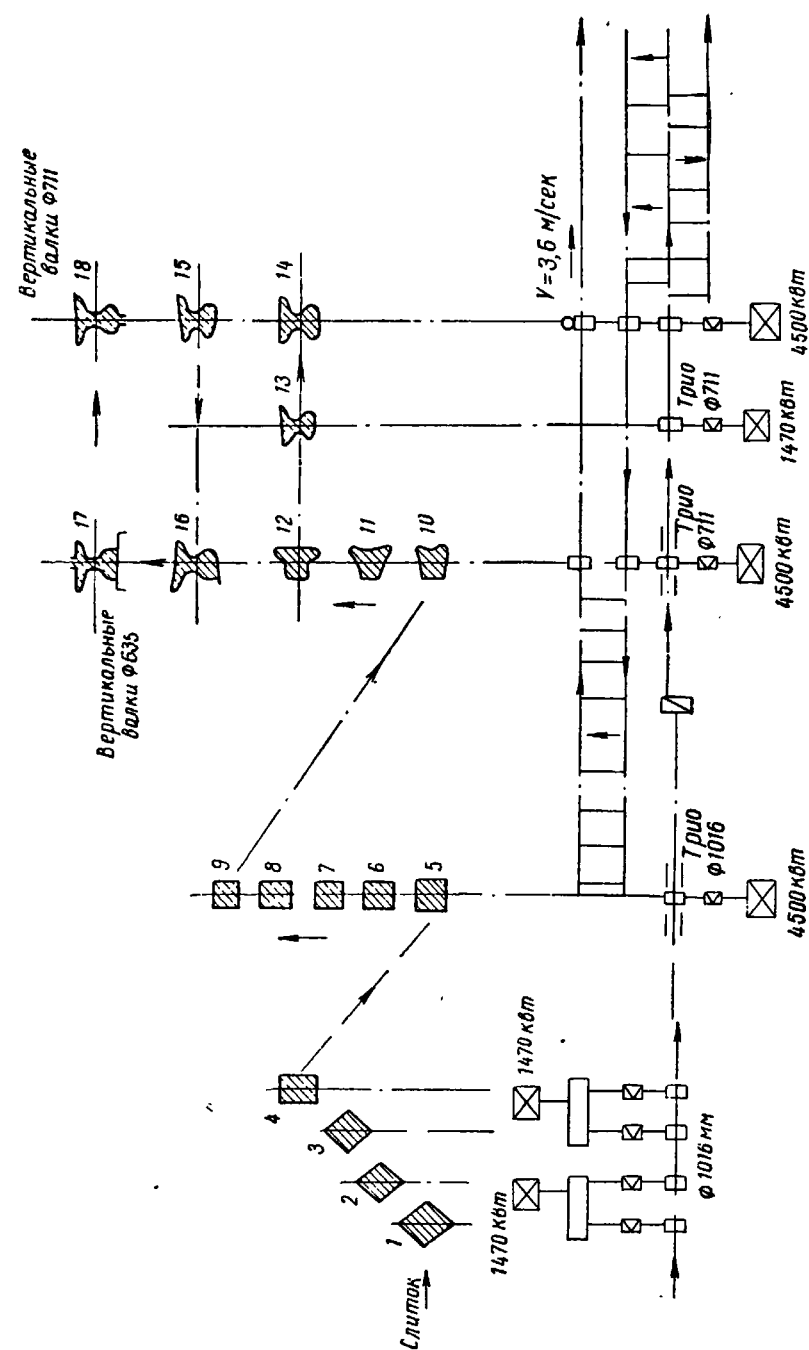


Рис. 11. Схема прокатки рельсов на рельсобалочном стане завода Гери

одним разрезным калибром и с минимальным числом (семь) проходов хотя и целесообразно применять с точки зрения производства, однако они не отвечают повышенным требованиям, которые теперь предъявляют в качеству рельсов. Необходимо применять такие способы калибровки, которые соответствовали бы не только производственным требованиям, но и требованиям, предъявляемым к качеству рельсов. На основании производственного опыта установлено, что для получения хорошей структуры металла рельсов, особенно в головке рельса, достаточно применять три ребровых калибра с большими обжатиями.

Рациональность калибровки следует рассматривать не только с точки зрения качества продукции, но также учитывать расход валков. При большем сроке службы калибров уменьшается число смен калибров в процессе прокатки. Производительность стана должна соответствовать производительности вспомогательных его устройств (пил, холодильника, правильной машины и т. д.), чтобы при работе они не ограничивали пропускную способность. Если это условие не выполняется, то все старания калибровщика повысить производительность стана будут бесполезны.

Из-за ограниченности времени в докладе не приведено описание конструкций калибров, способов выполнения и расчета их. Даже в одной и той же стране, но на различных заводах калибровки отличаются друг от друга. Это объясняется тем, что мнения калибровщиков по этому вопросу различны; они решают одинаковые проблемы по-разному на основании собственных наблюдений и имеющегося теоретического и практического опыта.

*Инж. Я. ВОЙКОВСКИЙ*

(Витковицкий металлургический комбинат, ЧССР)

### НОВАЯ КАЛИБРОВКА РЕЛЬСОВ

Наиболее важными пороками, встречающимися при прокатке рельсов, являются риски по середине пяты. Эти риски часто приводят к поломкам рельсов. По данным опубликованных работ, риски появляются там, где во время прокатки раскрываются газовые пузыри. Возникновению рисков и поломкам благоприятствует структура поперечного сечения рельса. Она в свою очередь зависит от системы калибровки, по которой прокатывают рельсы. Лучше всего применять калибровку с большим числом ребровых калибров, в которых подвергается обработке первичная дендритная структура металла.

Обычно придерживаются мнения, что калибровку такого типа нельзя применять на старых станах, так как тогда трудно будет сохранить прежнюю технологию. Однако мы применили новую калибровку для трехклетевого реверсивного стана с диаметром валков 900 мм и длиной бочки валков 2300 мм.

По старой калибровке рельсовые калибры монтировали на валках двух клеток, так как третья клетка предусматривалась для прокатки круглых профилей. Такое решение удобно для завода, так как прокатывают попеременно рельсы и круглые профили, что обеспечивает необходимое охлаждение рельсов на холодильнике.

Прежняя семипроходная калибровка была выполнена так, что на валках первой клетки были размещены четыре калибра, из которых III и IV были дублированные, а на валках второй клетки — дублированные калибры V—VII. Черновые валки между переточками прокатывали 1500—2000 т металла, чистовые — 150—200 т. Партия прокатки составляла 400—600 т. Таким образом, чистовые валки надо было менять три-четыре раза, в то время как черновые валки меняли только один раз.

На большом количестве прокатанных рельсов были обнаружены риски и трещины. Поэтому перешли на калибровку с девятью проходами и тремя ребровыми калибрами. Чистовые валки остались прежними, а черновые изготовили новые. Калибры

IV—VI новой калибровки идентичны калибрам II—IV прежней калибровки; новые валки имеют по одному калибру V и IV, поэтому срок их службы снижается на 50%. Несмотря на это, срок службы валков достаточен для прокатки рельсов одного заказа, а большие затраты на валки на 1 т прокатанных рельсов компенсируются лучшим их качеством.

Новая калибровка предусматривает получение в третьей клети круглых профилей, что делает программу прокатки на стане более гибкой и повышает коэффициент использования стана.

Некоторые специалисты придерживаются мнения, что поверхностные пороки можно устранить увеличением высоты заготовки до 400 мм. Однако трехклетевой реверсивный стан может работать на заготовке высотой 305 мм.

После испытания новой калибровки исследовали прежде всего макроструктуру наиболее часто встречающихся пороков и получили положительные результаты. Провели механические испытания. В отличие от рельсов, прокатанных по прежним калибровкам и имевших изломы, рельсы, прокатанные по новой калибровке, претерпевали только изгиб.

Хотя мы не можем с уверенностью утверждать, что опасность поломки подошвы рельсов устранена, однако исследования показывают, что рельсы, прокатанные по новой калибровке, являются более стойкими.

Результаты службы рельсов в пути в дальнейшем позволят сделать окончательные выводы о преимуществах новой калибровки.

Инж. Д. НЕРГЕР

(Институт по калибровке валков  
инженерной школы по прокатке и металлургии г. Риза, ГДР)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ВАЛКОВ

Исследование и использование закономерностей износа валков имеет для прокатных станов большое значение. Систематические замеры износа в процессе его нарастания — трудоемкая работа. До настоящего времени имеется мало данных по износу. Рост производительности прокатных станов, увеличивающиеся требования к точности проката и переход на производство тонкостенных профилей требуют значительно большего внимания к износу валков.

В результате анализа характера износа калибров, а также проведения на основе его корректировки калибровки и условий прокатки можно добиться повышения стойкости валков и более полного их использования. Одновременно увеличится производительность прокатных станов и повысится точность размеров проката. Результаты исследования износа, проведенного в прокатных цехах, будут использованы также на вальцелитейных заводах с целью улучшения качества валков<sup>1</sup>.

### Причины износа валков

Износ вызывается рядом совместно действующих факторов. Форма калибра и переменные условия прокатки являются факторами, имеющими решающее значение на величину износа.

На величину износа влияют: качество валков, сопротивление пластической деформации прокатываемого металла, режим обжатий, скользящее прокатываемого металла по валкам, продукты истирания, окалина и водяной пар, тепловая нагрузка поверхности валков.

Неравномерность износа вызывается неодинаковой работой трения в разных частях калибра, различием температуры на

<sup>1</sup> Исследованию износа прокатных валков посвящена специальная монография А. П. Чекмарева и Р. А. Машковцева «Износ прокатных валков», Металлургияиздат, 1955.

поверхности прокатываемого металла, неравномерной твердостью поверхности калибра, поперечным течением металла, вызываемым неодинаковыми частными коэффициентами вытяжки в отдельных частях калибра и др.

Определить степень влияния на износ каждого из указанных факторов затруднительно.

### Износ фасонных калибров

Одним из факторов, вызывающих неравномерность износа, является работа трения. Трение возникает вследствие скольжения прокатываемого металла в калибре. Исходя из вытяжки и опережения можно рассчитать скорость скольжения характерных точек поверхности прокатываемого металла относительно соответствующих точек валков. Величина этой скорости, отнесенная к сечениям входа и выхода металла, характеризует работу трения скольжения.

Распределение работы трения, показанное на рис. 1, очень неравномерное. Вследствие этого неравномерен и износ калибров. Наибольшая работа трения наблюдается при прокатке уголков на краях полок, а при прокатке швеллеров и балок на концах фланцев.

Другим фактором, вызывающим неравномерный износ фасонных калибров, является неодинаковая твердость поверхности калибра. При расточке калибров на гладких отбеленных чугуновых валках твердость поверхности калибра уменьшается с увеличением глубины вреза. В результате увеличивается износ закрытой части калибра (рис. 2).

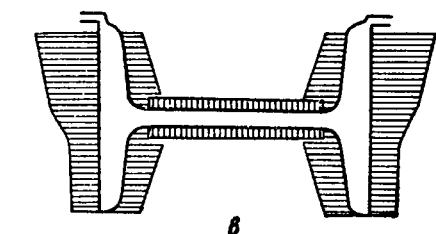


Рис. 1. Распределение работы трения скольжения в различных фасонных калибрах:

а — уголкового; б — швеллерного; в — балочного

При использовании валков из отбеленного чугуна с готовыми калибрами можно получить в 3—5 раз большую износостойкость валка, чем при использовании валков, отлитых с гладкой бочкой.

Третьим фактором, влияющим на износ калибра, является неодинаковая температура по контуру прокатываемого профиля. А. П. Чекмаревым и Р. А. Машковцевым установлен значительный перепад температуры: при прокатке швеллера разность температур составила на фланце около  $30^{\circ}\text{C}$  и на стенке около  $62^{\circ}\text{C}$ , а при прокатке балки на фланце около  $20^{\circ}\text{C}$  и на стенке толщиной 4,5 мм около  $102^{\circ}\text{C}$ .

На концах фланцев и в середине стенки профиля при пониженной температуре истирание увеличивается вследствие повышения сопротивления деформации. Известно, что при падении температуры на  $150\text{—}200^{\circ}\text{C}$  сопротивление деформации увеличивается почти в два раза.

Одним из главных факторов, влияющих на неравномерный износ калибров, является неравномерная вытяжка отдельных

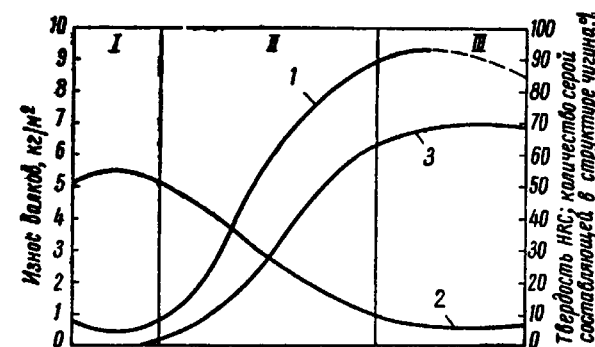


Рис. 2. Зависимость износа контактной площади от твердости различных зон валка:

1 — износ; 2 — твердость литого отбеленного чугуна; 3 — количество серой составляющей структуры; I — отбеленный слой; II — переходный слой; III — серый чугун

частей сечения полосы. При калибровке иногда неизбежен выбор разных коэффициентов вытяжки для отдельных частей полосы. В результате появляется поперечное течение металла, вызывающее износ калибра. Однако при хорошей калибровке это неблагоприятное явление можно ограничить. Неравномерность вытяжки в калибре зависит от уклона фланцев и износа предшествующих калибров. Если, например, прокатка начинается в новом чистовом калибре с использованием уже изношенного предчистового калибра, то неравномерность вытяжки в чистовом калибре неизбежна.

Рассмотренные факторы являются главными причинами неравномерного износа фасонных калибров и действуют совместно с факторами, вызывающими равномерный износ.

### Износ фланцевых калибров

Замеры износа на металлургическом заводе в г. Ризе были проведены при прокатке швеллера № 10. Для верхнего и нижнего ручьев каждого вала изготовлены специальные шаблоны, при помощи которых точно определяют профиль изношенных ручьев.

Износ измеряли на чистовых валках (рис. 3), имеющих два чистовых (VII), предчистовой (VI) и предшествующий контрольный (V) калибры. Измерительные шаблоны (рис. 4) устанавливали в ручьях после расточки валков для проверки их при

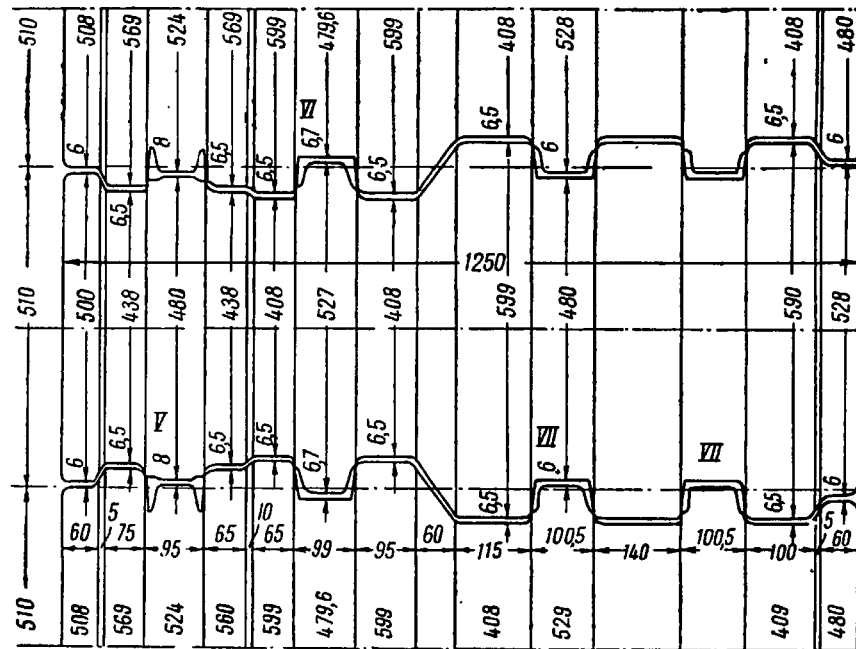


Рис. 3. Валки чистовой клетки среднесортного стана металлургического завода в г. Ризе

помощи щупа с точностью 0,05 мм. Затем шаблоны устанавливали в ручьях после кампании валков и с той же точностью щупом измеряли износ в различных местах калибра.

При применении этих шаблонов необходимо, чтобы бурты не стачивались и не истирались. Для этого зазор между крайними буртами (рис. 3) был сделан меньше (6 мм), чем между промежуточными (6,5 мм).

На чертеж калибра наносили величину износа. На рис. 5 показан износ двух чистовых калибров: левого после прокатки

310 т и правого после прокатки 418 т. Валки изготовлены из отбеленного чугуна следующего химического состава: 3,33% С, 1,22% Si, 0,66% Mn, 0,28% P, 0,094% S, 0,91% Cr, 0,36% Mo, 1,16% Ni.

Твердость валков равна 455 HBR. Распределение износа в обоих калибрах одинаково. Причиной сильного износа с наруж-

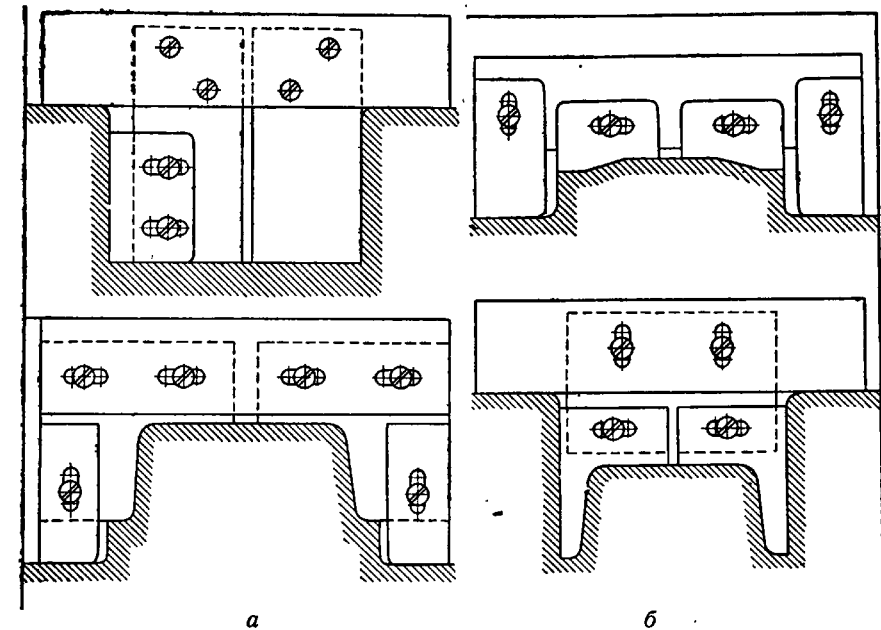


Рис. 4. Шаблоны для замера износа валков:

а — для швеллерных предчистового VI и чистового VII калибров (см. рис. 3);  
б — для швеллерного контрольного калибра V

ной стороны концов фланцев, где твердость валков была высокой, является большая работа трения скольжения и прокатка холодных концов фланцев. Незначительный износ нижнего вала по шейке можно объяснить его большей твердостью по сравнению с твердостью верхнего вала. Имеющийся на шейке верхнего вала максимум износа — это результат разницы температур середины и конца шейки.

Большой износ на внутренней стороне основания фланцев трудно объяснить. Если учесть характер изменения твердости и работы трения скольжения, то износ должен быть большим на концах фланцев, чем у их оснований<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Повышенный износ у оснований фланцев был вызван, по-видимому, поперечным перемещением металла в калибре. *Перев.*

Износ V и VI калибров показан на рис. 6. Сильный износ основания фланцев VI калибра вызван, по-видимому, неравномерностью деформации. В открытых фланцах VI калибра происходит большая осадка. Необходимо несколько повысить осадку в V калибре без увеличения деформации ложного фланца.

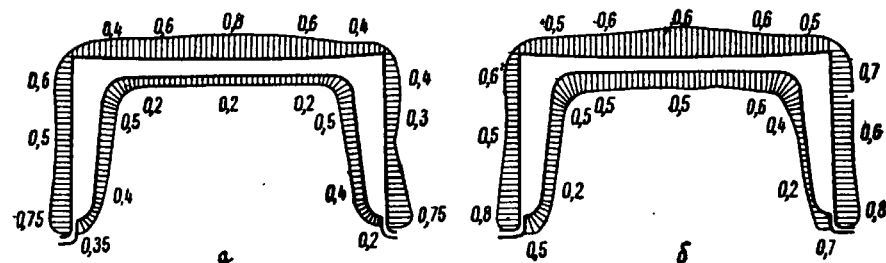


Рис. 5. Величина износа чистового швеллерного калибра:  
а — левого; б — правого

Следует обстоятельно изучить причины износа предчистовых калибров, так как их износ имеет решающее влияние на износ чистовых калибров.

Нами был замерен также износ стальных валков. Эти валки по сравнению с валками из отбеленного чугуна оказались на 80% более износостойкими. В связи с этим предполагается более широкое использование стальных валков на среднесортном стане.

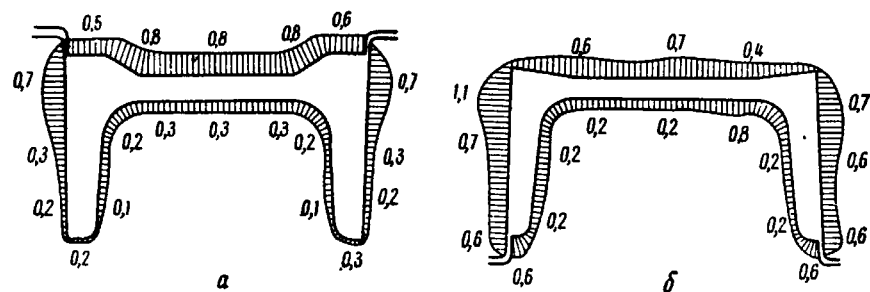


Рис. 6. Величина износа швеллерных калибров:  
а — V контрольного; б — VI предчистового

Стальные валки имели следующий химический состав: 2,07% С, 0,64% Si, 0,59% Mn, 0,026% P, 0,033% S, 0,76% Cr, 0,13% Mo, 0,84% Ni.

Твердость валков равна 400—450 HBR.

Результаты замеров износа показали, что увеличение стойкости калибров можно получить не только улучшением качества

валков и применением более износостойких материалов для валков, но также и улучшением условий деформации металла в калибре.

Из приведенных данных ясно, что на основе учета и анализа результатов замера износа, произведенных за большой период времени, можно уменьшить или даже устранить влияние некоторых факторов, вызывающих износ.

При оценке износа необходимо учитывать разницу температуры прокатываемого профиля в разных частях, неодинаковую твердость валков по периметру калибра, работу трения скольжения и неравномерность деформации металла в калибре. Анализ этих совместно действующих факторов позволит установить, за счет каких изменений калибровки валков можно добиться увеличения стойкости калибров.

• Следует отметить необходимость непрерывных замеров износа в процессе работы валков, несмотря на значительные трудности замеров. Исследование износа надо организовать так, чтобы замеры и оценка их результатов требовали минимальной затраты времени.

Можно рекомендовать при проведении исследования следующие мероприятия:

- 1) замеры износа записывать не в таблицы, а для наглядности непосредственно на чертеже калибра;
- 2) обнаруженные при помощи шаблонов неточности обработки валков наносить также непосредственно на чертеж калибра, чтобы это можно было учесть при определении износа;
- 3) характер износа дополнять оценкой поверхности калибра;
- 4) если имеется несколько чистовых калибров, то для каждого из них изготавливать отдельный шаблон;
- 5) кроме обычного шупа, применять для измерения концов фланцев заостренный шуп;
- 6) при измерении устанавливать шаблоны в калибре так, чтобы износ фланцев был поровну поделен на обе стороны; изменение бокового крепления шаблона для выяснения, какой из фланцев изношен сильнее, является слишком сложным и не обязательным;

7) обязательно установить, какой из двух чистовых калибров работал первым; это необходимо знать, так как для второго чистового калибра вследствие износа предшествующих калибров, условия работы изменяются;

8) рекомендуется точная запись количества прокатанного металла в каждом калибре и равномерное использование всех чистовых калибров; часто случается, что один калибр используют больше другого, что приводит к большему уменьшению диаметра валков при переточке;



9) необходимо рассчитывать величины переточки валков и допускаемого расширения калибров и сообщать эти величины токарю.

Таким образом, уменьшение износа и величины переточки валков — это обязанность не только калибровщика, но и обслуживающего персонала стана, который должен способствовать повышению срока службы валков.

### Износ простых калибров

На обжимных станах применяют кованные и литые стальные валки. Из факторов, вызывающих износ обжимных валков, первыми следует назвать химический состав валков и их тепловую нагрузку. Большая тепловая нагрузка поверхности валков вызывается их местным нагревом и последующим охлаждением водой. Местный нагрев может достигать 700—800°С, в то время как температура поверхности вала вследствие охлаждения немного превышает температуру сердцевины. Вследствие этого на поверхности валков образуется сетка разгара.

Доказано многократно, что легированные валки меньше подвержены разгару, чем нелегированные. Стальные валки необходимо перед применением подвергнуть термической обработке для уменьшения их склонности к разгару, который нередко может быть причиной поломки валков. Кованные валки стоят дорого, поэтому в наших прокатных цехах чаще применяют литые валки.

Охлаждению валков водой необходимо уделить большее внимание, так как при недостаточном и неравномерном охлаждении можно уменьшить их долговечность. Рекомендуется двустороннее охлаждение валков с достаточным расстоянием водяных трубопроводов от бочки вала, чтобы избежать местного охлаждения. При выборе охлаждения фланцев калибра необходимо учитывать влияние их охлаждения на уширение металла.

Для замеров износа калибров обжимных станов можно также использовать шаблоны. В работе советских авторов<sup>1</sup> использовано специальное устройство, которое вычерчивает действительный профиль калибра на бумажной ленте. При прокатке полос наибольший износ получается около краев вследствие разницы температур между серединой и краями прокатываемой полосы. При прокатке сугунки 200 × 10 мм разница температур составила около 25°С.

Влияние неравномерного износа можно учесть при расточке калибра, делая его с целью увеличения стойкости немного вогнутым. Неравномерность износа калибров вызывается неравно-

мерностью распределения вытяжек в калибре. Например, овальный калибр имеет наибольший износ в местах касания квадратной полосы с валками. Для простых калибров неравномерность износа по отношению к абсолютному износу не играет большой роли, поэтому замеры износа при помощи шаблонов можно не производить. Достаточно будет общей оценки их износостойкости. Последняя в виде отношения расхода валков к количеству прокатанного металла необходима для планирования и расчета затрат. Целесообразно учитывать расход валков, вызванный поломками, и нормальный расход вследствие износа.

Для оценки износа валков рекомендуется пользоваться следующими показателями: 1) количество проката ( $\tau$ ), отнесенное к уменьшению диаметра ( $\text{мм}$ ) при переточке валков; 2) разность масс новых (перед укладкой в клеть) и старых валков (после перевалки), отнесенная к количеству проката ( $\tau$ ); этот показатель рекомендован проф. Вусатовским в 1960 г.; 3) показатель определяют по формуле

$$q = \frac{A}{GD_k},$$

где  $A$  — производительность валков,  $\frac{T}{\text{мин}} \cdot 100$ ;

$G$  — масса 1 пог. м проката, кг;

$D_k$  — катающий диаметр, м.

В шведской литературе предложен метод определения износа калибров проволочных прокатных станов. Абсолютный износ измеряют глубиномером, а распределение износа определяют при помощи оловянных и серных отпечатков. Эти методы, однако, не пригодны для непрерывных замеров.

В заключение отметим, что имеются большие возможности для снижения износа валков наших прокатных станов. Для этого необходимо систематически и правильно измерять износ и оценивать полученные результаты. Затраты на замеры износа окупаются благодаря использованию результатов замеров для улучшения качества валков, условий прокатки и калибровки, что приводит к увеличению стойкости калибров, снижению времени на перевалки валков и увеличению тоннажа металла, прокатанного каждым валком. Требуемые результаты получаются, однако, только тогда, когда руководство завода понимает значение исследований износа валков и оказывает соответствующую помощь. В последнее время на ряде станов ГДР студенты-заочники проводят исследования износа валков для своих дипломных работ. Необходимость исследования износа валков неоднократно отмечалась в программах наших съездов по калибровке валков.

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 275.

Редактор издательства *В. М. Горобинченко*

Технический редактор *В. В. Михайлова*

Переплет художника *Е. В. Никитина*

---

Сдано в производство 3/II 1965 г.  
Подписано в печать 31/V 1965 г.  
Бумага 60 × 90<sup>1/16</sup> — 8,88 бум. л. 17,75 печ. л.  
Уч.-изд. л. 15,54  
Заказ 1034 Изд. № 4464  
Тираж 2380 Цена 1 р. 29 к.  
Св. тематический план по металлургии 1965 г.  
№ 191 1965 г.

---

Издательство «Металлургия»  
Москва Г-34, 2-й Обыденский пер., 14  
Московская типография № 12  
«Главполиграфпрома» Государственного комитета  
Совета Министров СССР по печати  
Цветной бульвар, 30