

А. П. ЧЕКМАРЕВ  
Р. А. МАШКОВЦЕВ

ИЗНОС  
ПРОКАТНЫХ  
ВАЛКОВ

*Металлургияиздат — 1955*

Действительный член АН Украинской ССР А. П. ЧЕКМАРЕВ  
и канд. техн. наук Р. А. МАШКОВЦЕВ

# ИЗНОС ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*Харьков 1955*

## АННОТАЦИЯ

В книге рассматриваются вопросы, связанные с повышением стойкости прокатных валков. Приводятся основные причины, вызывающие у валков повышенный износ, способы увеличения износостойкости валков, а также дается анализ экспериментальных материалов по исследованию износа валков в процессе прокатки при учете температуры, давления, неравномерности обжатия, твердости поверхностных слоев валков (калибров) и факторов, возникающих при скольжении металла по валкам. Излагаются методы определения и измерения износа в различных калибрах. Указываются способы увеличения износостойкости прокатных валков за счет модифицирования чугуна, применяемого для отливки валков, упрочнения валков при помощи закалки поверхности бочки их, применения чугунных и стальных литых калибров, электронаплавки валков и упрочнения валков обкаткой.

Вопросы теории прокатки и калибровки прокатных валков освещаются в объеме, необходимом для понимания их работы.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, связавших с изготовлением и эксплуатацией прокатных валков.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
Глава I. Процесс прокатки и прокатные валки .....	5
1. Процесс прокатки .....	5
2. Калибровка и прокатка простых и фасонных профилей .....	17
3. Прокатные валки .....	31
4. Факторы, влияющие на износ прокатных валков .....	39
5. Стан «550», на котором производились замеры износа валков .....	43
Глава II. Износ валков при прокатке полос .....	45
1. Температура прокатываемых полос .....	45
2. Твердость валков .....	45
3. Неравномерность деформации при прокатке полос .....	46
4. Данные по износу валков при прокатке полос .....	47
5. Калибровка валков с учетом их износа .....	51
Глава III. Износ калибров при прокатке угловой стали .....	53
1. Скольжение металла в угловом калибре .....	53
2. Твердость валков на поверхности угловых калибров .....	62
3. Температура прокатываемой угловой стали .....	63
4. Неравномерность деформации металла в угловом калибре .....	64
5. Данные по износу угловых калибров .....	66
6. Калибровка валков с учетом износа угловых калибров .....	72
Глава IV. Износ фланцевых калибров .....	74
1. Влияние скольжения металла на износ .....	74
2. Износ калибров в результате неравномерной твердости поверхности валков .....	82
3. Неравномерность температуры прокатываемых швеллеров и балок .....	83
4. Неравномерность деформации металла .....	85
5. Данные об износе фланцевых калибров .....	88
6. Калибровка валков с учетом износа фланцевых калибров .....	98
Глава V. Износ валков при прокатке листов, заготовок, кругов, квадратов, труб, рельсов и других профилей .....	100
1. Листопрокатные валки .....	100
2. Прямоугольные калибры .....	104
3. Квадратные калибры .....	107
4. Круглые и овальные калибры .....	108
5. Рельсовые калибры .....	113
6. Оконнорамный профиль .....	115
7. Пороки проката от износа калибров .....	116
Глава VI. Повышение износостойкости прокатных валков .....	121
1. Валки с литыми ручьями .....	121
2. Легирование и модифицирование валкового металла .....	124
3. Поверхностная закалка валков газовым пламенем .....	128
4. Закалка прокатных валков в кольцевых печах .....	133
5. Электронаплавка валков .....	137
6. Упрочнение валков обкаткой .....	143
Литература .....	146

## ВВЕДЕНИЕ

Различные отрасли народного хозяйства, особенно тяжелая промышленность, потребляют ежегодно миллионы тонн проката. Важнейшей задачей прокатного производства является выпуск и освоение новых профилей. В настоящее время число профилей проката исчисляется сотнями, а число профилирумеров — тысячами.

Для изготовления прокатной продукции необходимо большое число разнообразнейших прокатных валков. Кроме того, в процессе эксплуатации из-за износа и поломок десятки тысяч прокатных валков ежегодно выходят из строя и списываются в лом.

Эти обстоятельства заставляют изыскивать средства для увеличения износостойкости прокатных валков и, совершенствуя качество их, оснащать ими нашу промышленность.

Износостойкие валки дают возможность вести прокатку изделий с жесткими допусками по размерам и получать изделия с весьма чистой и высококачественной поверхностью. Наряду с этим, увеличение срока службы валков приведет к сокращению времени простоев из-за перевалок, составляющих 5—10% от общего времени работы прокатных станков, и позволит увеличить выпуск дополнительного проката.

Учитывая актуальность вопроса повышения износостойкости прокатных валков, авторы книги предлагают методы и способы для достижения этой цели, основанные на экспериментальных данных, проверенных производственной практикой.

К числу их относятся способ повышения твердости и износостойкости при помощи закалки газовым пламенем поверхности бочки валков, способ электронаплавки при ремонте валков, легирование и модифицирование валкового металла, закалка прокатных валков в кольцевых печах, упрочнение обкаткой и т. д.

Широкое внедрение уже известных и проверенных способов повышения износостойкости прокатных валков может дать снижение расхода их в среднем с 3—5 до 1—1,5 кг на 1 т проката, т. е. в 3 раза.

## ГЛАВА I

### ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ И ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

#### 1. ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ

Процесс прокатки характеризуется тремя стадиями (рис. 1). В первой стадии происходит заполнение металлом щели между вращающимися валками. Первая стадия начинается с момента соприкосновения металла с валками в точках *A* и кончается мо-

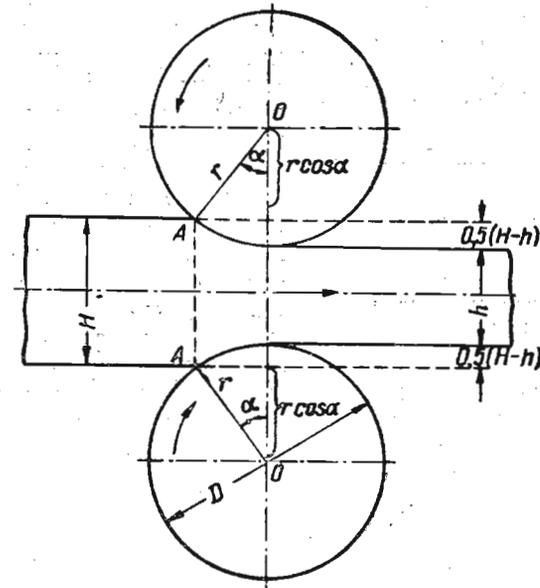


Рис. 1. Схема прокатки

ментом совпадения переднего торца раската с линией центров валков *OO*. Эта стадия прокатки, в связи с различной степенью захвата металла валками в разные моменты, является переменной и поэтому может быть охарактеризована как стадия неустановившегося процесса прокатки. С точки зрения обеспечения за-

хвата металла валками первая стадия является наиболее важным периодом процесса прокатки.

Вторая стадия начинается с момента выхода переднего торца раската за линию  $OO$  и продолжается до момента совпадения заднего торца раската с линией  $AA$ . По времени вторая стадия является наибольшей. В этой стадии условия прокатки остаются постоянными и поэтому она считается установившейся.

В теории прокатки для первой и второй стадий установлены определенные зависимости.

В третьей стадии происходит выход заднего торца раската за линию  $AA$  вплоть до прекращения прокатки, т. е. выхода его за линию  $OO$ . Эта стадия неустановившегося процесса прокатки не имеет практического или теоретического значения и поэтому не рассматривается.

Рассмотрим первую неустановившуюся стадию процесса прокатки. Для возможности прокатки прокатываемый металл (раскат) необходимо подвести к вращающимся валкам и прижать его к последним с некоторым усилием. Без этого усилия в местах контакта не могут возникнуть силы трения, а следовательно, нельзя рассматривать процесс прокатки. Необходимое усилие прижатия металла к валкам может быть получено как за счет силы валь-

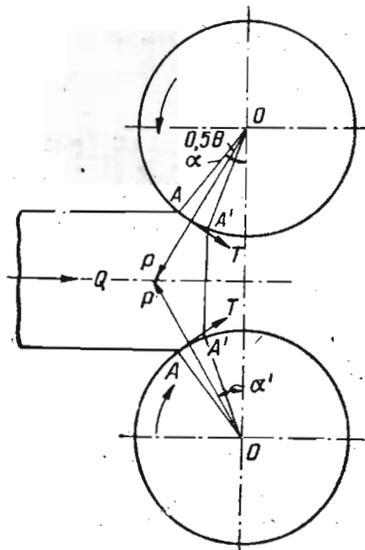


Рис. 2. Захват металла валками

цовщика, подающего клещами раскат к валкам, так и за счет действия рольганга и других устройств, механизмирующих подачу. И в том, и в другом случаях усилие прижатия вызовет некоторое смятие верхней и нижней кромок раската. Это смятие окажется тем больше, чем больше усилие прижатия раската к валкам и меньше его ширина и твердость. Если раскат подводится к валкам с некоторой скоростью (что имеет место при механизмированной подаче), то в момент соприкосновения происходит остановка раската и удар его о валки, возникающая при этом потеря живой силы раската также вызывает смятие кромок, тем большее, чем больше скорость и вес раската и меньше его ширина и твердость.

Следовательно, для рассмотрения условий захвата необходимо пользоваться схемой, на которой соприкосновение металла с валками показано по контактным поверхностям шириной  $B$  (ширина раската) и длиной дуги смятия  $AA'$ , а также приведена сила прижатия  $Q$  (рис. 2). Если бы не было смятия, сила давления в точке

$A$  была бы наклонена к вертикали под углом  $\alpha$ . Наличие смятия уменьшает угол приложения силы давления  $P$  на половину угла смятия  $\theta$  и делает его равным  $\alpha'$ .

Для захвата металла валками необходимо, чтобы сумма всех сил, действующих со стороны валка на раскатываемый металл в направлении прокатки, была равна или больше нуля (за положительное берется направление прокатки). Проекции этих сил в горизонтальном направлении (на ось прокатки) будут равны:  $P_x = P \cdot \sin \alpha'$ ;  $T_x = T \cdot \cos \alpha'$ ;  $Q_x = Q$  (силу прижатия принимаем горизонтальной).

Обозначая коэффициент контактного трения в момент захвата через  $f_3$ , имеем:

$$T = f_3 \cdot P; \quad T_x = f_3 \cdot P \cos \alpha'. \quad (1)$$

В момент контакта возможно наличие следующих условий:

$$f_3 P \cos \alpha' + 0,5Q \geq P \cdot \sin \alpha'. \quad (2)$$

$$f_3 P \cos \alpha' + 0,5Q \leq P \cdot \sin \alpha'. \quad (3)$$

При условии (2) захват осуществится, при условии (3) захвата не произойдет. Проанализируем условия (2) и (3) при крайних значениях:

$$f_3 P \cos \alpha' + 0,5Q = P \sin \alpha'.$$

Введем вместо коэффициента трения  $f_3$  угол трения  $\beta_3$ . Так как коэффициент трения равен тангенсу угла трения, т. е.

$$\operatorname{tg} \beta_3 = f_3,$$

то

$$\operatorname{tg} \beta_3 P \cos \alpha' + 0,5Q = P \cdot \sin \alpha',$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \beta_3 + \frac{Q}{2P \cdot \cos \alpha'}.$$

Так как  $\alpha' = \alpha - 0,5 \theta$ , то:

$$\operatorname{tg} (\alpha - 0,5 \theta) = \operatorname{tg} \beta_3 + \frac{Q}{2P \cdot \cos (\alpha - 0,5 \theta)}. \quad (4)$$

Полученное уравнение представляет зависимость угла захвата от угла трения, угла смятия, а также силы давления и силы прижатия в момент удара при захвате. С увеличением угла смятия, угла трения и силы прижатия максимальное значение угла захвата увеличивается.

Если в указанном уравнении пренебречь величинами угла смятия и силы прижатия (в случае их незначительности), то получим упрощенное выражение:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta_3, \quad (5)$$

откуда  $\alpha = \beta_3$ .

Из уравнения (5) следует, что при отсутствии смятия кромок и прижатия металла к валкам при угле захвата, большем угла трения, захвата металла валками произойти не может.

Найдем теперь выражение для максимального угла захвата во второй установившейся стадии процесса прокатки. Предполагая, ради упрощения, что давление одинаково во всех точках контактной поверхности, будем иметь приложение полной силы давления  $P$  под углом  $\frac{\alpha}{2}$  (рис. 3). Предельным, очевидно, будет угол захвата, при котором горизонтальные проекции полных сил

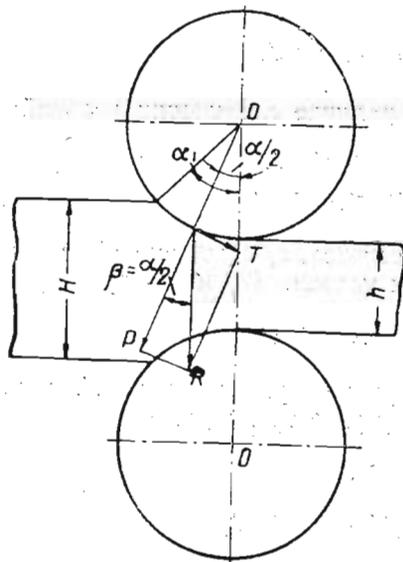


Рис. 3. Схема для установившегося процесса при максимальном угле захвата

давления  $P$  и трения  $T$  уравниваются, т. е. их равнодействующая  $R$  проходит вертикально. В этом случае

$$\beta_y = \frac{\alpha}{2}, \text{ или } \alpha = 2\beta_y, \quad (6)$$

где  $\beta_y$  — угол трения в установившемся процессе прокатки.

Таким образом, условия захвата для неустановившегося процесса прокатки (если пренебречь ударом и смятием) создаются при

$$\alpha \leq \beta_3, \quad (7)$$

а для установившегося процесса — при

$$\alpha \leq 2\beta_y. \quad (8)$$

Как показали опыты,  $\beta_3 \neq \beta_y$ . Чаще всего  $\beta_y = (0,7 \div 0,8) \beta_3$  и для установившегося процесса прокатки

$$\alpha \leq (1,4 \div 1,6) \beta_3. \quad (9)$$

Следовательно, условия захвата в установившемся процессе можно назвать облегченными. Отсюда и возникает стремление осуществить захват при  $\alpha > \beta_3$ , для чего требуется создание специальных условий во время начала захвата. Такими условиями является применение удара (разгона) и прижатие раската к валкам. Практикуется также повышение коэффициента трения в начале захвата (т. е. увеличение  $\beta_3$ ) путем понижения в этот момент числа оборотов валков, а также насыпания песка на передний конец раската. Для увеличения коэффициента трения  $\beta_3$  поверхность валков делают шероховатой и в некоторых случаях на ней делают специальные насечки и наварку. Указанные меро-

приятия проводятся с целью обеспечения захвата металла валками при угле,  $\alpha$  приближающемся к  $2\beta_y$ , чтобы тем самым полностью использовать условие максимального угла захвата  $\alpha = 2\beta_y$ , используемое установившимся процессом.

В практических условиях пока сравнительно редко применяется заталкивание металла в валки (например, при прокатке труб в автоматических станках). Но если учесть, что повышение угла захвата на каждый дополнительный градус сверх  $\beta_3$  дает существенное увеличение обжатия, то станет ясным большое значение этого фактора для повышения производительности прокатных станов, в особенности прокатывающих крупные сечения (бюльмы, заготовки, сортовые профили и др.).

Не во всех случаях, однако, приходится прибегать к использованию максимальных углов захвата. Часто, особенно при прокатке листов (лент), когда решающим фактором является точность профиля или давление металла на валки, обжатия принимаются меньше максимальных, а захват металла валками при  $\alpha < \beta_3$  не вызывает затруднений. В этом случае сил трения более чем достаточно для осуществления установившегося процесса прокатки и равновесие сил в очаге деформации возможно только при наличии опережения, т. е. скольжения металла вперед по валкам на некоторой длине дуги захвата у выхода.

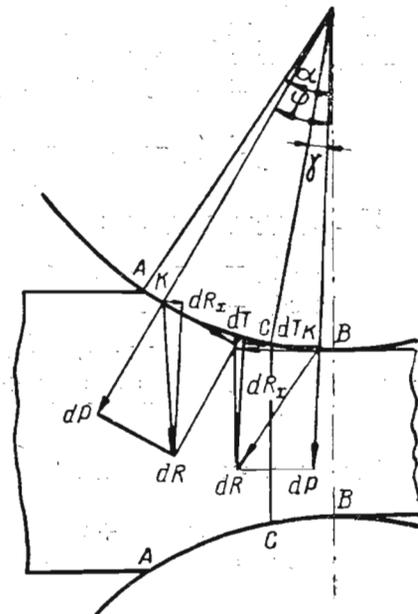


Рис. 4. Схема прокатки с опережением

На рис. 4 представлена схема прокатки при условии  $\alpha < \beta_y$ .\*

Линия раздела истечения (критического сечения)  $CC$  делит очаг деформации на две зоны: зону отставания от  $A$  до  $C$  и зону опережения от  $C$  до  $B$ . В зоне отставания металл отстает от валков; в зоне опережения металл движется быстрее валков, а в критическом сечении горизонтальные скорости металла и валков одинаковы. Исходя из сказанного, силы трения, приложенные от валков к металлу, в зоне отставания направлены по ходу прокатки, а в зоне опережения — против хода прокатки.

\* Приведенный ниже вывод справедлив также при  $\beta_3 \leq \alpha \leq 2\beta_y$ .

Возьмем произвольно точки  $K$  в каждой зоне на контактной поверхности и проведем векторы бесконечно малых сил давления  $dP$ , трения  $dT$  и равнодействующей  $dR$ .

Проекция равнодействующей  $dR$  на горизонтальное направление равна:  
в зоне отставания

$$dR_x = dR \cdot \sin(\beta_y - \varphi), \quad (10)$$

в зоне опережения

$$dR_x = dR \cdot \sin(\beta_y + \varphi). \quad (11)$$

Поскольку прокатка происходит при постоянной скорости и действующие силы уравниваются, приравняв нулю суммы всех сил (силы  $dR$  при этом сокращаются), получим:

$$\int_{\gamma}^{\alpha} \sin(\beta_y - \varphi) d\varphi - \int_0^{\gamma} \sin(\beta_y + \varphi) d\varphi = 0. \quad (12)$$

Интегрируя, получим:

$$\begin{aligned} \cos(\beta_y - \alpha) - \cos(\beta_y - \gamma) + \cos(\beta_y + \gamma) - \cos\beta_y &= 0; \\ \cos(\beta_y - \alpha) - \cos\beta_y \cos\gamma - \sin\beta_y \sin\gamma + \cos\beta_y \cos\gamma - \\ &- \sin\beta_y \sin\gamma - \cos\beta_y = 0; \\ \sin\gamma &= \frac{\sin\alpha \sin\beta_y + \cos\alpha \cos\beta_y - \cos\beta_y}{2 \sin\beta_y}. \end{aligned}$$

Разделив числитель и знаменатель на  $\cos\beta_y$ , получим:

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha \operatorname{tg}\beta_y + \cos\alpha - 1}{2 \operatorname{tg}\beta_y} = \frac{\sin\alpha \operatorname{tg}\beta_y - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \operatorname{tg}\beta_y}. \quad (13)$$

Упрощая и принимая  $\sin\gamma \approx \gamma$  и  $\operatorname{tg}\beta_y \approx \beta_y$ , получаем:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{\beta_y} \left( \frac{\alpha}{2} \right)^2, \quad \text{или} \quad \gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta_y} \right)^*. \quad (14)$$

Из выражения (14) видно, что угол критического сечения  $\gamma$  принимает максимальное значение, равное  $0,25 \beta_y$  при  $\alpha = \beta_y$ , и нулевое значение — при  $\alpha = 2\beta_y$ . При  $\beta_y < \alpha < 2\beta_y$  имеем  $0,25 \beta_y > \gamma > 0$ ; при  $0 < \alpha < \beta_y$  получаем  $0 < \gamma < 0,25 \beta_y$ . Таким образом, наибольшее опережение получается при  $\alpha = \beta_y$ . В практике это условие часто имеет место.

От определения угла критического сечения  $\gamma$  нетрудно перейти к определению величины опережения. Для этого необходимо воспользоваться уравнением объема прокатываемого металла  $V_\gamma$ , вычисляемого по критическому сечению, в котором скорость ме-

талла  $v_\gamma$  и горизонтальная проекция скорости валков  $v \cos \gamma$  одинаковы.

$$V_\gamma = v \cdot \cos \gamma \cdot h_\gamma \cdot b_\gamma. \quad (15)$$

Из графических построений имеем:

$$h_\gamma = h + D(1 - \cos \gamma). \quad (15a)$$

Выражение  $D(1 - \cos \gamma)$  представляет обжатие от критического сечения до выхода металла из валков.

Аналогично (см. рис. 1) можно получить полное обжатие за проход:

$$H - h = D(1 - \cos \alpha). \quad (15b)$$

Тот же объем металла, выраженный через скорость  $v_h$  и размеры выходящего сечения  $h$  и  $b$ , составит:

$$V_h = v_h \cdot h \cdot b. \quad (16)$$

Приравнявая (15) и (16), получим:

$$v \cos \gamma [h + D(1 - \cos \gamma)] b_\gamma = v_h \cdot h \cdot b. \quad (17)$$

Разделив обе части уравнения (17) на  $h \cdot b$ , получим:

$$v_h = v \frac{h + D(1 - \cos \gamma)}{h} \cos \gamma \frac{b_\gamma}{b}.$$

Коэффициент опережения  $S$  равен:

$$S = \frac{v_h}{v} = \frac{h + D(1 - \cos \gamma)}{h} \cos \gamma \frac{b_\gamma}{b}. \quad (18)$$

Принимая  $b_\gamma = b^*$  и имея в виду, что угол  $\gamma$  невелик, упростим выражение (18), принимая  $1 - \cos \gamma \approx \frac{\gamma^2}{2}$ ;  $\cos \gamma \approx 1 - \frac{\gamma^2}{2}$ .

После подстановки и преобразования уравнение (18) получает вид:

$$S = \left( 1 - \frac{\gamma^2}{2} \right) \left( 1 + \frac{D}{h} \frac{\gamma^2}{2} \right). \quad (19)$$

Величина  $1 - \frac{\gamma^2}{2}$  мало отличается от единицы, поэтому выражение (19) можно упростить и окончательно представить так:

$$S = 1 + \frac{r}{h} \gamma^2. \quad (20)$$

\* Формула (14) получила название формулы Павлова.

\* О ширине контактной поверхности и уширении металла см. ниже.

Опережение в процентах по отношению к окружной скорости валков составляет:

$$\text{S\%} = \frac{r}{h} \gamma^2 100\%. \quad (21)$$

При прокатке малых толщин (листов, полос и пр.) опережение может достигать 10—15%, обычно же оно находится в пределах 3—5%.

Одновременно с обжатием при прокатке металла имеет место не только его удлинение, но и уширение, т. е. истечение металла поперек направления прокатки, характеризуемое увеличением конечной ширины  $b$  по сравнению с начальной  $B$ .

Уширение при прокатке может быть выяснено на основе применения известного в механике принципа минимального периметра или минимальной работы при пластической деформации.

Сравним прокатку полос различной ширины при одинаковой толщине и одинаковых обжатиях в одних и тех же валках (рис. 5). Ширина полос в очаге деформации окажется разной при одинаковой длине очага деформации.

Рис. 5. Схема зависимости уширения от ширины полосы

Проведя биссектрисы в углах  $A, A_1, B, B_1$  до их пересечения, разобьем очаг деформации на две трапеции и два треугольника.

Согласно принципу минимального периметра, истечение частиц тела при пластической деформации будет происходить в направлении кратчайшего расстояния до выхода из очага деформации. Это значит, что металл заштрихованных участков будет стремиться смещаться в направлении ширины полосы, а незаштрихованных — вдоль полосы. Хотя эта схема является упрощенной, потому что на нее накладывается достаточно сложное взаимодействие всех частиц сплошного тела, однако она позволяет дать не только качественную картину уширения, но и получить известные количественные зависимости для расчета уширения.

Сравнивая узкую и широкую полосы, т. е. узкий и широкий очаги деформации, можно сказать, что относительное уширение при одинаковом обжатии будет большим при узком очаге, т. е.:

$$\frac{b_1 - B_1}{B_1} > \frac{b_2 - B_2}{B_2},$$

поскольку в этом случае заштрихованные площадки составляют больший процент от площади прямоугольника  $A_1 A B B_1$ , чем для случая широкого очага деформации. Абсолютное же уширение  $b - B$  зависит как от величины заштрихованных площадок, так и от явления утяжки кромок, поскольку при большой ширине полосы вытяжка ее средней части вызывает значительное растяжение боковых частей. Известно, что при ширине полосы больше длины очага деформации уширение уменьшается (от утяжки кромок), при ширине полосы меньше длины очага деформации уширение также падает (так как резко уменьшаются заштрихованные площадки). Таким образом, при ширине полосы, примерно равной длине очага деформации, уширение достигает наибольшего значения.

Для расчета уширения может быть применена формула А. П. Чекмарева [50]:

$$b - B = \frac{2(H - h) b_c k}{(H + h) \left[ 1 + (1 + \alpha) \left( \frac{b_c}{rx} \right)^n \right]}, \quad (22)$$

в которой  $rx$  — длина дуги захвата, равная приблизительно длине хорды  $\sqrt{r(H - h)}$ . Это выражение легко получить из графических построений.

Выражение  $\frac{b_c}{rx}$  учитывает влияние соотношения ширины и длины очага деформации (что соответствует относительной величине заштрихованных на рис. 5 площадок); показатель  $n$  берется равным единице при  $b_c \leq rx$  и равным двум при  $b_c \geq rx$ . Выражение  $1 + \alpha$  учитывает влияние формы инструмента, т. е. кривизну прокатных валков, при увеличении которой (увеличении угла  $\alpha$ ) увеличивается вытяжка и уменьшается уширение. Величина  $k$  представляет коэффициент ограничения уширения за счет боковых стенок калибров. При прокатке на гладких валках  $k = 1$ ; при несвободном уширении в калибрах значение  $k$  может колебаться от 1 до 0 (в последнем случае ширина калибра равна ширине задаваемой полосы и уширение полностью ограничено). Для упрощения расчета в случае широких полос вместо  $b_c$  можно принимать  $B$ .

Как видно из уравнения (22), уширение повышается с увеличением обжатия и снижается с увеличением толщины. Выражение  $\frac{2(H - h)}{H + h}$  носит название относительного обжатия. Следовательно, величина уширения зависит не от обжатия и толщины металла, а от величины относительного обжатия. Это значит, что при прокатке тонких полос с малым обжатием уширение может быть таким же, как и при прокатке толстых полос с большим об-

\*  $b_0 = 0,5(B + b)$  — средняя ширина очага деформации.

жатием; при этом имеется в виду, что остальная часть выражения (22) также остается одинаковой.

Явление уширения зависит от многих факторов прокатки и до настоящего времени полностью не изучено. Для расчета уширения многими авторами предложены различные формулы, которые, однако, не дают точных данных, а некоторые из них приняты, исходя из недостоверной картины уширения и являются непригодными.

Для примера определим уширение при прокатке полосы  $H \times B = 14 \times 50$  мм, прокатываемой в калибре с обжатием 4 мм на стане с валками диам. 300 мм.

Определяем:  $H - h = 4$  мм;  $h = 14 - 4 = 10$  мм;  $H + h = 14 + 10 = 24$  мм;  $r = 0,5 \cdot 300 = 150$  мм;  $\alpha = \arccos \left(1 - \frac{H-h}{D}\right)^* = \arccos \left(1 - \frac{4}{300}\right) = \arccos 0,9867$ ;  $\alpha = 9^\circ 20'$ ; или  $\alpha = 0,163$  радиана;  $r\alpha = 150 \cdot 0,163 = 24,4$  мм.

Принимаем коэффициент ограничения уширения  $k = 0,7$ .

Подставляя в формулу (22) численные значения буквенных выражений, получим, что абсолютное уширение равно:

$$b - B = \frac{2 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 0,7}{24 \left[1 + 1,163 \left(\frac{50}{24,4}\right)^2\right]} = 2,3 \text{ мм.}$$

Ширина выходящей из калибра полосы равна:

$$50 + 2,3 = 52,3 \text{ мм.}$$

Относительное уширение составляет:

$$\frac{b - B}{B} = \frac{2,3}{50} = 0,046, \text{ или } 4,6\%.$$

При прокатке в гладких валках свободное уширение получилось бы равным  $\frac{2,3}{0,7} = 3,3$  мм, т. е. на 1 мм больше.

Целью прокатки является вытяжка металла и получение изделия требуемых размеров и формы. Поэтому уширение, как уменьшающее вытяжку, в большинстве случаев нежелательно; но оно неизбежно, так как свойственно процессу прокатки. Ограничение уширения не всегда возможно, поскольку оно вызывает выход металла в зазоры калибра между валками, что приводит к получению брака. Уширение металла приходится иметь в виду при расчете калибров и выборе их формы и способа вреза в валки (см. § 2 настоящей главы). Уширение в значительной степени влияет на качество поверхности проката и точность его размеров.

При горячей и холодной прокатке плотность, а следовательно, и объем деформируемого металла  $V$  не изменяются или это из-

\* Из формулы:  $H - h = D(1 - \cos \alpha)$ .

менение настолько незначительно (меньше 0,1%), что для практических целей им можно пренебречь. Следовательно:

$$V = HBL = hbl = \text{пост.} \quad (23)$$

Отношение  $\frac{H}{h} = \eta$  называется коэффициентом обжатия;

$\frac{l}{L} = \mu$  — коэффициентом вытяжки и  $\frac{b}{B} = \delta$  — коэффициентом уширения. На основании формулы (23) можно написать:

$$\eta = \mu \cdot \delta. \quad (24)$$

Выражение (24) показывает, что наиболее эффективной прокатка будет при отсутствии уширения. В этом случае  $\delta = 1$  и весь обжимаемый металл идет в вытяжку ( $\eta = \mu$ ). При наличии уширения, если прокатка производится с кантованием, пошедший в уширение металл приходится вновь обжимать, что, в связи с увеличением числа проходов, затягивает прокатку, а также вызывает дополнительный расход энергии. Только при прокатке листов и лент без кантования уширение не вызывает осложнений.

Степень деформации металла может быть охарактеризована величиной относительной деформации. Эта величина представляет собой отношение обжатия к начальной, конечной или средней толщине полосы:

$$\frac{H-h}{H}; \frac{H-h}{h}; \ln \frac{H}{h}; \frac{2(H-h)}{H+h}. \quad (25)$$

Наиболее часто пользуются первым и последним выражениями, причем в последнем выражении учитывается изменение толщины полосы в процессе деформации.

Практика показывает, что уширение изменяется при прокатке сталей разного химического состава, а также при изменении температуры прокатки. Понижение температуры, как правило, вызывает увеличение уширения. Это увеличение хотя и составляет доли миллиметра, но приводит к изменению ширины проката и уменьшению его точности.

Из сказанного вытекает исключительное значение равномерности температуры металла для обеспечения точности размеров профиля, которая зависит также от условий охлаждения во время прокатки (от первого до последнего прохода).

Равномерность ритма работы прокатного стана обеспечивает большую равномерность температуры и способствует повышению точности проката. Внедрение регуляторов ритма и автоматизация прокатки являются особенно желательными мероприятиями в этом направлении.

Из изложенного ясно, что при обжатии металла в очаге деформации происходит его истечение по валкам назад (отставание), вперед (опережение) и в стороны (уширение). Чем меньше уширение, тем больше продольное истечение металла назад и

вперед. В результате истечения металла по валкам назад и вперед получается вытяжка металла.

Коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{\eta}{\delta} = \frac{H}{h} \cdot \frac{B}{b} \quad (26)$$

Если известен коэффициент опережения металла, то, зная коэффициент вытяжки, нетрудно определить коэффициент отставания  $W$  металла от валков у входа, а именно:

$$W = \frac{\mu \cdot \cos \alpha}{S} \quad (27)$$

Для получения горизонтальной проекции окружной скорости валков в точке захвата, относительно которой находится отставание, в выражении (27) в числитель введен косинус угла захвата  $\alpha$ .

При наиболее часто встречающихся в практике коэффициентах вытяжки 1,3—1,6, коэффициентах опережения 1,03—1,05 и углах захвата 20—26° ( $\cos 26^\circ = 0,9$ ) коэффициент отставания находится в пределах 1,2—1,5. Он всегда значительно больше коэффициента опережения вследствие того, что вытяжка металла направлена преимущественно по валкам назад. Этому способствует форма зева валков, имеющая раскрытие в сторону входящего в валки заднего конца полосы.

Таким образом, для получения полной картины истечения металла при прокатке необходимо знать начальную и конечную толщины полосы  $H$  и  $h$ , начальную и конечную ширины  $B$  и  $b$ , угол захвата  $\alpha$  и коэффициент опережения  $S$ . Определение величин  $H$ ,  $h$ ,  $B$  и  $b$  путем замеров не представляет затруднений. Величина  $\alpha$  может быть найдена из выражения (15б) при известном диаметре валков  $D$ . Что же касается коэффициента опережения  $S$ , то его величина может быть найдена или из выражения (18) или экспериментальным путем. В настоящее время отсутствуют надежные формулы для расчета опережения при прокатке в калибрах, поэтому в этом случае единственным способом является непосредственный замер опережения на прокатываемом металле.

Наиболее простым и точным способом экспериментального определения опережения является керновой способ. Он заключается в получении на прокатываемом металле отпечатков (следов) кернов, нанесенных на рабочей части валков.

Измерив расстояние между керновыми отпечатками  $L_n$ , введя температурную поправку  $1 + \alpha t$  и разделив полученный результат на расстояние между керновыми углублениями на поверхности валка  $L$ , получим коэффициент опережения

$$S = \frac{L_n (1 + \alpha t)}{L_b} \quad (28)$$

где  $\alpha t$  — удельное линейное расширение металла при температуре прокатки  $t^\circ$  и коэффициенте теплового расширения  $\alpha$ .

При прокатке любых сечений, кроме полосовых, коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{Q}{q} \quad (29)$$

где  $Q$  — поперечное сечение задаваемого в валки металла;  
 $q$  — поперечное сечение выходящего из валков металла.

Величины  $Q$  и  $q$  могут быть определены планиметрированием отобранных при прокатке образцов, из которых изготавливаются темплеты с шлифованной плоскостью, перпендикулярной продольной оси прокатываемого профиля.

Если ввести в расчет число оборотов валков  $n$  об/мин, то нетрудно определить их окружную скорость  $v_0$  м/сек и найти скорость опережения

$$v_{оп} = v_m - v_0 = \frac{\pi D n}{60} (S - 1); \quad (30)$$

где  $v_m$  — скорость выхода металла из валков;

$D$  — диаметр валков в соответствующем месте калибра.

Скорость отставания у входа в валки

$$v_{от} = v_0 \cdot \cos \alpha - v_0 \frac{S}{\mu} = \frac{\pi D n}{60} \cos \alpha \left( 1 - \frac{1}{W} \right) \cdot * \quad (31)$$

Найдя экспериментальным путем опережение для одной точки любого по форме калибра, зная его размеры и соответствующие катающие диаметры  $D_x$ , нетрудно по приведенным формулам рассчитать опережение и скорость скольжения на выходе, а также отставание и скорость обратного скольжения на входе для всего периметра калибра.

Могут быть также найдены скорости скольжения металла в любых промежуточных точках по длине очага деформации, а также вычислена площадка, характеризующая работу сил трения в очаге деформации.

Изложенная методика была использована в настоящей работе для определения опережения, отставания и получения полной картины величины скольжения металла по валкам в калибрах различной формы с целью выявления влияния работы сил скольжения на степень неравномерности износа калибров.

## 2 КАЛИБРОВКА И ПРОКАТКА ПРОСТЫХ И ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Для получения при прокатке разнообразных профилей требуются прокатные валки с различными калибрами. Вырез на рабочей поверхности валка называется ручьем. Ручьи парных вал-

\* При малых углах захвата можно принимать  $\cos \alpha \approx 1$ .

ков в плоскости сечения, проходящей через оси валков, образуют просвет, называемый калибром.

Определение формы и расчет размеров калибров составляют особую область прокатного дела, называемую калибровкой. Калибровкой учитываются форма прокатываемого профиля, температура и пластичность металла, степень износа калибров, давление металла на валки, мощность прокатки, производительность стана, а также его расположение, конструктивные особенности и различные местные условия работы. Расчет рациональной калибровки валков прокатного стана представляет значительные трудности и требует известной теоретической подготовки и практического опыта.

При выборе и расчете калибровки прокатных валков необходимо учитывать следующие факторы.

Пластические свойства металла. Большинство применяемых в технике металлов и сплавов имеет достаточно высокие пластические свойства, в особенности в нагретом состоянии. К таким металлам и сплавам относятся: железо, малоуглеродистая и среднеуглеродистая сталь, низко- и среднелегированная сталь, свинец, медь, алюминий и другие цветные металлы и сплавы.

Пластические свойства металлов и сплавов оцениваются величиной максимальной относительной деформации, при которой на поверхности еще не образуются трещины и разрывы. Для указанных металлов и сплавов эта характеристика пластичности почти всегда достигает величины 0,5 (что соответствует коэффициенту обжатия 2), а иногда 0,8—0,9 и более. В этих случаях практически пластические свойства не ставят никаких ограничений для выбора максимальных обжатий при прокатке.

Наряду с этим в практике обработки металлов давлением известны случаи весьма низкой пластичности. Это относится, например, к прокатке мягких сталей с высоким содержанием серы и фосфора (автоматные стали), слитки которых дают трещины уже при относительных обжатиях порядка 0,15—0,20. Технически чистое железо в определенном температурном интервале, связанном с наличием двухфазного состояния, является хрупким и растрескивается при прокатке, в то время как при других температурах это железо является в высшей степени пластичным. Высокоуглеродистые и высоколегированные стали зачастую имеют низкую пластичность, особенно в литом состоянии.

Все металлы и сплавы обладают пониженной пластичностью в литом состоянии по сравнению с обработанным. При обработке давлением (ковка, прокатка и др.) литая транскристаллическая структура, обладающая пониженной механической прочностью, разрушается и превращается в мелкозернистую, более прочную и способную к высоким пластическим деформациям.

Так как пластичность является физическим свойством, зависящим от химического состава, структуры, наличия неметалличе-

ских включений и других факторов, исследование этого свойства должно базироваться на проведении опытов пластической деформации, т. е. прокатки, с различными степенями деформации и при различных температурах и скоростях. Методика проведения таких опытов была разработана Ю. М. Чижиковым [53], который исследовал предел пластичности стали различных марок. Пределом пластичности названо им максимальное относительное обжатие, при котором начинается образование трещин (разрывов) на боковой поверхности прокатываемого образца.

Для получения за один проход всего диапазона относительных обжатий были применены прямоугольные образцы, прокатываемые на валках с переменным радиусом на полосы переменной

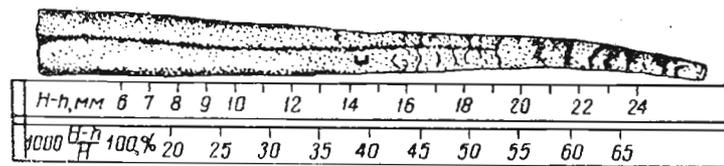


Рис. 6. Прокатанный на клин образец

толщины. На рис. 6 представлен такой образец из никелькобальтового сплава, предел пластичности которого при 1000° оказался немногим более 35%.

Опыты Ю. М. Чижикова показали, что даже такие сравнительно высоколегированные марки стали, как 30%-ная хромистая, нержавеющей, быстрорежущая и т. п., имеют предел пластичности 0,5—0,7 и более. В практике прокатки такие степени деформации не только для этих сталей, но и для более пластичных пока не применяются. Из этого видно, какие резервы пластичности металлов и сплавов еще могут быть использованы для увеличения обжатий при прокатке.

Небольшие опытные образцы по своей структуре и условиям деформации, разумеется, не аналогичны таковым при прокатке крупных слитков. Поэтому полученные результаты дают лишь частичное сравнительное представление о пределе пластичности металлов и сплавов в производственных условиях.

Степень равномерности вытяжки металла в калибрах. Равномерность вытяжки металла в различных частях калибра имеет существенное значение для правильного заполнения калибра и получения наиболее выгодной калибровки. Неравенство вытяжки приводит к повышенному скольжению металла за счет его перетекания из одних частей калибра в другие, в результате чего повышается необходимая мощность прокатного двигателя, увеличивается неравномерный износ поверхности калибров и возникают дополнительные внутренние напряжения в

металле, которые могут привести к образованию трещин на поверхности проката.

Равномерность вытяжки достижима в прямоугольных калибрах и на гладких валках при прокатке полос и листов, но при прокатке большинства профилей получить полную равномерность вытяжки в калибрах не удается. Это видно на примере прокатки фасонной двутавровой балки, получаемой прокаткой заготовки начальной прямоугольной формы. Переход из прямоугольной формы в фасонную двутавровую осуществляется в так называемом разрезном калибре формы двутавра с толстыми элементами (рис. 7). Задаваемая в калибр заготовка обжимается в своей средней части (шее), получающей весьма большую деформацию. Что же касается крайних частей (фланцев), то в них металл претерпевает значительно меньшую деформацию вследствие небольшого обжатия.

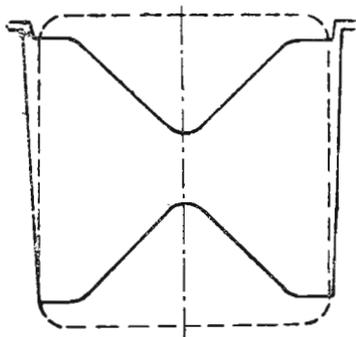


Рис. 7. Двутавровый разрезной калибр

Если бы средняя часть металла не была связана с крайними и могла получить свою собственную, или естественную вытяжку, то последняя оказалась бы большей и дала бы соответствующий бо́льший прирост начальной длины заготовки. Крайние части (фланцы), наоборот, имея небольшую естественную вытяжку, дали бы небольшой прирост общей длины заготовки. Рассмотрение естественных вытяжек в данном и аналогичных случаях позволяет судить о степени неравномерности деформации металла в калибре и последствиях такой неравномерности. При малопластичном материале неизбежно произошел бы разрыв прокатываемого профиля по месту стыка элементов, имеющих неодинаковые естественные вытяжки. Такие случаи нередко имеют место в практике, когда прокатываются малопластичные марки стали или цветные сплавы.

Марки стали, нашедшие наибольшее применение в практике а также цветные металлы и сплавы относятся преимущественно к высокопластичным (при правильно выбранной температуре обработки). Благодаря высокой пластичности металл не дает трещин и разрывов на стыке элементов профиля с неравномерной вытяжкой, что позволяет получить при выходе из калибра сплошной профиль единой длины, являющейся какой-то промежуточной из естественных длин отдельных элементов этого профиля.

Прокатка круглых и квадратных профилей часто производится в системе овал — квадрат, т. е. в чередующихся овальных и квадратных калибрах. На рис. 8 показана прокатка металла квадратного сечения в овальном калибре. Сечение квадрата разбито вертикальными пунктирными линиями на несколько элементов. Если

пренебречь уширением, то коэффициенты естественной вытяжки можно получить как частное от деления задаваемой высоты на выходящую для каждого элемента в отдельности. Внизу на рисунке изображена кривая коэффициентов естественной вытяжки  $\mu_e$ , которая имеет наибольшие значения на концах и наименьшие — посередине калибра.

При прокатке металла достаточной пластичности происходит выравнивание вытяжки и овальный профиль выходит из валков сплошным и общей длины, которую можно измерить. Разделив эту длину на длину начального квадратного сечения, можно опре-

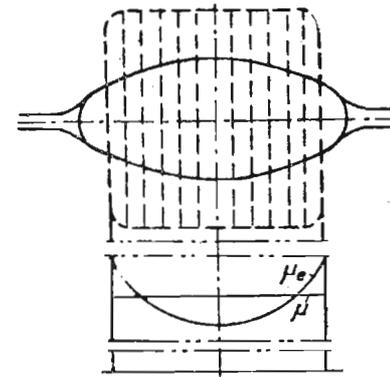


Рис. 8. Прокатка металла квадратного сечения в овальном калибре

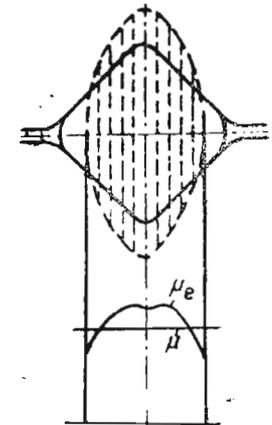


Рис. 9. Прокатка металла овального сечения в квадратном калибре

делить коэффициент общей вытяжки в калибре  $\mu$ , который указан на рисунке в виде прямой линии.

Аналогично можно рассмотреть условия дальнейшей прокатки овальной полосы в квадратном калибре, что представлено на рис. 9. Здесь наибольшие естественные вытяжки относятся к центральным элементам профиля (в середине профиля имеется небольшое понижение  $\mu_e$  благодаря закруглению концов овала), наименьшие — к крайним. Значение коэффициента общей вытяжки  $\mu$  является промежуточным.

Эти примеры показывают, что даже при прокатке наиболее простых по форме овальных и квадратных профилей имеет место неравномерная вытяжка металла в калибрах со всеми указанными выше последствиями повышенного износа калибров, неправильного заполнения их металлом и др.

Минимальное число проходов. Прокатка в минимальном числе проходов имеет большое значение, так как это влияет на производительность стана. Чем меньше число прохо-

дов, тем больше производительность стана, если она не лимитируется пропускной способностью нагревательных печей, а также режущих, холодильных и отделочных устройств стана.

Практика работы заводов, а также теоретический анализ процесса прокатки, показывают, что имеющиеся резервы увеличения производительности прокатных станов на базе сокращения числа проходов еще далеко не исчерпаны. В этом отношении показательными являются достижения лучших прокатных станов нашего Союза. Еще 10—15 лет тому назад железнодорожные рельсы катали в 11 проходов, в настоящее же время их прокатывают в 9 проходов. Число проходов при прокатке двутавровых и однитавровых балок, швеллеров и т. п. снижено на 2—3 прохода. Прокатка крупных и средних уголков вместо 7—9 осуществляется в 5 проходов; при прокатке сутунок и других полос число проходов стало меньше на 2—4. Подобное сокращение числа проходов имеет место при прокатке круглых, квадратных и шестиугольных профилей, а также различных специальных фасонных профилей: автообода, оконнорамных профилей и т. п.

Уменьшение числа проходов при прокатке стало возможным благодаря улучшению нагрева металла в современных печах с автоматической регулировкой температуры и канализацией пода, повышению мощности станковых двигателей, улучшению конструкции прокатных станов, повышению прочности и износоустойчивости прокатных валков, увеличению скорости прокатки и повышению температуры конца прокатки. Повышение качества металла и отливки слитков способствовало улучшению пластических свойств металла, что также создавало условия для сокращения числа проходов.

При сокращении числа проходов повышается коэффициент вытяжки в калибрах, поэтому к конструктивным элементам прокатного стана, к технологии прокатки и службе валков предъявляются более высокие требования. При больших вытяжках получить точные размеры прокатного изделия трудно, так как при этом увеличивается давление металла на валки, а также упругая деформация стана, сказывающаяся на колебаниях толщины проката. Кроме того, при больших вытяжках повышается уширение металла и возможность его колебания, что приводит к меньшей точности ширины проката. Все это требует более тщательного надзора за прокатным станом, систематической проверки размеров прокатываемого профиля, ритмичности работы стана, более равномерного нагрева металла, усовершенствования устройства и регулировки чистовых клетей, повышения износоустойчивости калибров.

Захватывающая способность прокатных валков. Уменьшение числа проходов при прокатке тесно связано с вопросом о захватывающей способности валков. Как указывалось (стр. 8), естественный захват металла валками возможен при условии, если угол захвата не превышает угла трения, т. е.  $\alpha \leq \beta_3$ .

При установившемся процессе угол захвата может равняться двум углам трения  $\alpha = 2\beta_3$ , поэтому захват стремятся осуществить при  $\beta_3 < \alpha < 2\beta_3$  путем смятия передней кромки металла за счет удара о валки раската, которому придают необходимую скорость при движении по ролягангу или в жолобе обводного аппарата. При ручной работе усилие вальцовщика при задаче также способствует некоторому смятию переднего конца раската.

Прокатка при минимальном числе проходов приводит к повышению вытяжек в первых по ходу прокатки калибрах, когда температура металла наиболее высока. Так как в первых калибрах раскат имеет значительную толщину, то для получения большой вытяжки необходимо применить повышенное обжатие. При этом возникает затруднение, если угол захвата достигается указанными на стр. 8 способами, при которых увеличиваются вытяжка и захватывающая способность валков в первых калибрах. Для перехода в последующие калибры, приближающиеся к отделочному (чистовому), должны быть созданы все условия для получения хорошей поверхности и точных размеров готового проката. Поэтому на отделочных, а также предотделочных (предчистовых) калибрах не должно быть насечек, наварок металла или выступов на валках. С другой стороны, понижение температуры металла и требования точности размеров проката обуславливают необходимость уменьшения вытяжки в отделочных калибрах, для которых углы захвата получаются меньше, чем в первых так называемых обжимных и вытяжных (черновых) калибрах, и не превышают в обычных условиях угла трения, а зачастую значительно меньше последнего.

Вопрос о величине и равномерности вытяжки в отделочных калибрах имеет непосредственное отношение к износу этих калибров и точности получаемого готового профиля.

Прочность частей стана. При прокатке необходимо создавать большие усилия для пластической деформации металла. Особенно велики усилия при холодной, а также при горячей прокатке некоторых легированных сталей. При холодной прокатке листов шириной 1500—2000 мм давление металла на валки достигает 2500—3500 т, при горячей прокатке толстых листов шириной 3000 мм — 2000 т, при прокатке крупных балок, швеллеров и других фасонных профилей — 600—800 т; при прокатке железнодорожных рельсов — 500 т и т. д. При прокатке мелких профилей требуются значительно меньшие усилия (например, давление на валки в мелкосортных и проволочных станах — в пределах 10—50 т и менее).

При указанных выше давлениях прокатные валки, станины рабочих клетей и все их части находятся в условиях значительных рабочих напряжений. От этих напряжений и размеров частей стана зависит величина их упругой деформации и пружинения стана, складывающаяся из суммы деформаций отдельных частей.

Современное направление в конструировании прокатных станов заключается в уменьшении длины прокатных валков, увеличении сечения станин и применении для их изготовления специальных сталей повышенной прочности. Прокатный валок можно рассматривать как балку на опорах, подвергающуюся сосредоточенной либо распределенной нагрузке. При укорочении валка напряжения изгиба (вернее, сложные напряжения изгиба и кручения) при одинаковой нагрузке уменьшаются, или при допущении тех же напряжений появляется возможность осуществить большее давление, т. е. прокатывать с большей вытяжкой и большие размеры профиля. При этом изгиб валков, т. е. их упругая деформация, уменьшается, что благоприятно влияет на точность размеров прокатываемого профиля. Так же благоприятно на точность профиля влияет увеличение сечения станин и применение для их изготовления специальных сталей, а не чугуна, имеющего значительно меньший модуль упругости.

Современная тенденция к усилению размеров нажимных винтов, подушек и других частей направлена также на уменьшение их упругой деформации и прокатку с большими давлениями. Во всяком случае, при разработке калибровки должны быть учтены прочностные размеры прокатных валков, станин и всех частей прокатного стана. Опасно создавать перегрузку деталей стана, но, вместе с тем, нецелесообразно также не использовать в достаточной степени имеющийся запас прочности прокатных валков и частей прокатного стана.

Мощность двигателей станов. Мощность двигателей является фактором, определяющим калибровку и производительность прокатного стана. Практика прокатного дела в СССР показывает, что производительность стана в результате его механизации, частичной реконструкции, переделки калибровки и т. д. на протяжении одного — двух десятков лет может удвоиться. Поэтому двигатель прокатного стана, рассчитанный на десятки лет службы, даже если он был установлен с резервом мощности, через некоторое время уже не удовлетворяет новым условиям работы, новой калибровке и повышенной производительности, вследствие чего до смены двигателя лимитируются возможные нововведения в калибровку для получения большей производительности стана.

Из этого следует, что замена двигателей недостаточной мощности более мощными является закономерной. Установка же двигателей весьма завышенной мощности, в расчете на более или менее далекие перспективы ее использования, не может считаться экономически оправданной, так как приводит к долговременному омертвлению капитальных затрат и к понижению коэффициента использования электрооборудования.

При выборе двигателя должен быть принят разумный запас его мощности, базирующийся на соответствующих расчетах и перспективах роста производительности стана.

Перейдем к рассмотрению калибровок для прокатки ряда наиболее употребительных профилей.

На рис. 10 представлена схема прокатки полосы на гладких валках с применением ребрового калибра. Получаемый в обжимной клетке стана квадрат 38 мм прокатывается плашмя на гладких валках первой клетки. В дальнейшем, в зависимости от толщины полосы, применяется разное число проходов. При прокатке толстой полосы 50 × 10 мм делается еще два прохода на гладких валках, а затем полоса задается в ребровой калибр для обеспечения необходимой ее ширины и придания кромкам правильной формы. С этой целью калибр делается с вогнутым дном; вследствие сравнивания вогнутости при уширении металла в последнем проходе на гладких валках кромки получают с ровной плоской боковой поверхностью. Для получения выпуклой кромки готовой полосы ребровой калибр делается с выпуклым дном. Ребровой калибр может регулироваться по высоте в широких пределах путем подъема и опускания валков, что позволяет использовать его при прокатке полос разной ширины. Прокатка более тонких полос, например 50 × 8 и 50 × 6 мм, требует большего числа проходов; зачастую применяется второй ребровой калибр, с помощью которого легче отрегулировать необходимую ширину полосы.

Приведенная схема принята для прокатки полос шириной 50 мм в семиклетевой чистой линии мелкосортного стана; в каждой клетке производится только один проход. При прокатке полос другой ширины можно применить те же гладкие валки в 1, 3, 4, 5 и 7-й клетях. Что же касается ребровых калибров, то на валках 2 и 6-й клетей вытачивается несколько калибров различной ширины и высоты, и выбор необходимого для каждого размера полосы ребрового калибра не встречает затруднений. На рис. 10 видно, что для задачи полосы в ребровой калибр требуется поворот, т. е. кантование ее на 90°. Такое же кантование требуется после ребрового калибра для задачи полосы на гладких валках. Прокатка полосы с кантованием и применением пред-

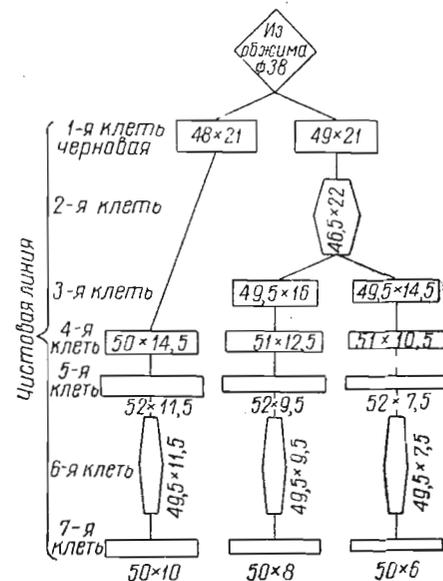


Рис. 10. Сечения металла при прокатке полосы

отделочного ребрового калибра позволяет регулировать ширину полосы в предотделочном и толщину ее в отделочном проходах, что является большим преимуществом рассмотренной системы калибровки.

При прокатке широких полос (шириной 100—200 мм и более), кантовка их встречает затруднения, особенно при ручном обслуживании прокатного стана. Выходом из этого положения на непрерывных полосопрокатных станах может служить применение рабочих клеток с вертикальными валками, имеющими ребровые калибры. Клетки с вертикальными валками размещаются по ходу прокатки в необходимых местах между клетями с горизонталь-

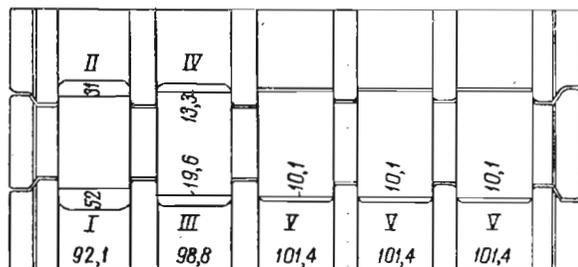


Рис. 11. Калиброванные валки для прокатки полосы

ными валками, и прокатка полосы происходит без кантования. Подобного типа непрерывные станы весьма удобны для прокатки тонких и широких полос.

Прокатка широких и сравнительно толстых полос, которые в особенно большом количестве идут в качестве сутунки (заготовки для прокатки тонких листов, кровельного железа и жести), производится на обычных станах трио или дуо с применением плоских калибров.

На рис. 11 представлены валки стана трио для прокатки полосы  $100 \times 10$  мм (в горячем состоянии  $101,4 \times 10,1$  мм). Прокатка происходит в пять проходов, соответственно чему имеется пять калибров I—V, размеры которых указаны на рисунке.

Разница их высот равна обжатию, а разница ширин (ширина последующего калибра больше предыдущего) — уширению. Так как уширение здесь не является свободным (как на гладких валках), то металл прижимается к боковым поверхностям калибров, что приводит к их износу от истирания. По мере износа чистового калибра полоса уширяется и точность ее нарушается, поэтому предусмотрено три сменных отделочных калибра. В углах калибров имеются закругления, благодаря чему исключается выход металла в зазоры между валками, а следовательно, и образование «усов» и брака.

Из сказанного следует, что при прокатке полосы в калибрах без кантования, путем настройки валков, возможна регулировка только толщины полосы, что же касается ее ширины, то последняя обеспечивается шириной калибра и регулировке не поддается.

Перейдем к рассмотрению калибровки для прокатки кругов<sup>1</sup> и квадратов. На рис. 12 показаны форма и размеры калибров для прокатки мелких кругов в чистовой линии мелкосортного стана, состоящей из пяти клеток. Здесь применяются овальные, квадратные, ромбические и круглые калибры; в каждой клетке металл прокатывается только в один проход.

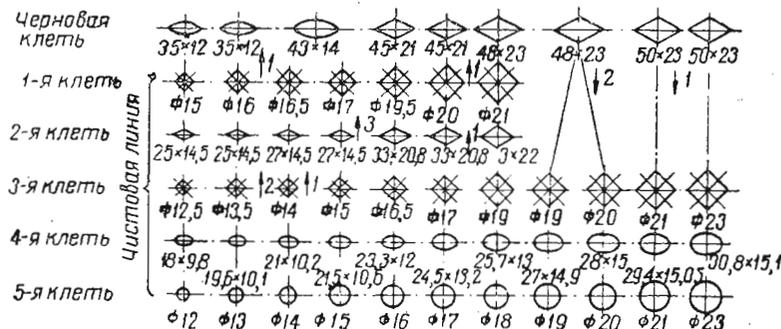


Рис. 12. Калибры для прокатки кругов

На рис. 13 аналогично представлена калибровка системы ромб — квадрат для прокатки квадратов<sup>1</sup> в том же стане. В тех случаях, когда число проходов превышает число клеток, в некоторых клетях приходится производить по несколько проходов. Применяется, например, калибровка для прокатки кругов, где в 1 и 2-й клетях для мелких кругов делается по три прохода. Это возможно осуществить в клетях трио, так как между нижним и средним валками прокатка происходит в одном направлении, а между верхним и средним — в другом.

Приведенные на рис. 12—13 размеры калибров позволяют определить величины коэффициентов вытяжки в них. Данные практической работы прокатных станов показывают, что в черновых или, иначе, вытяжных калибрах коэффициенты вытяжки обычно находятся в пределах 1,3—1,6, редко достигающая в овальных калибрах 1,8—2,0. В предотделочных калибрах коэффициенты вытяжки не выходят из пределов 1,2—1,3, а в чистовых калибрах 1,1—1,2. Такие сравнительно небольшие коэффициенты вытяжки в предотделочных и отделочных калибрах оправдываются с точки зрения предохранения отделочных калибров от быстрого износа

<sup>1</sup> В калибрах со знаком ↑↓, размеры регулируются поднятием или опусканием верхнего валка. Цифра у стрелки указывает величину поднятия или опускания в мм.

и поэтому получили повсеместное практическое применение. То же примерно имеет место и при прокатке фасонных профилей.

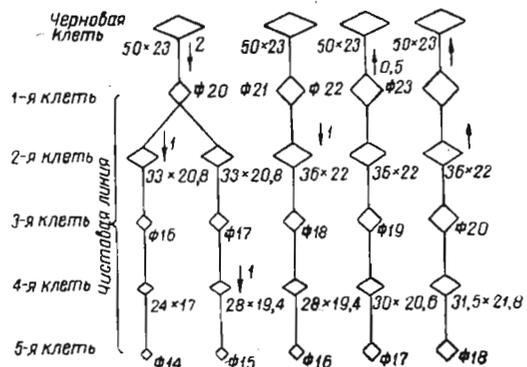


Рис. 13. Калибры для прокатки квадратов

На рис. 14 приведены калибры для прокатки равнобокого уголка. Все калибры, кроме чистового, имеют развернутую форму; это позволяет уменьшить врез калибра в валки и увеличивает их прочность. Последний отделочный проход осуществляется в чистой клетке дуо, что дает большие удобства для регулирова-

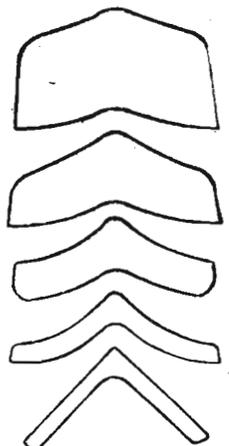


Рис. 14. Калибры для прокатки уголка

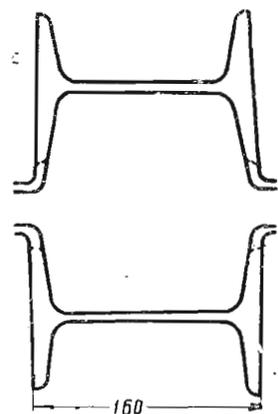


Рис. 15. Предотделочный и отделочный балочные калибры

ния профиля. Путем настройки валков можно регулировать толщину полок уголка; что же касается ширины полок, то она, как и для полосы, определяется шириной калибров.

На рис. 15 представлены предотделочный и отделочный дву-

валковые калибры балки № 16 [2]. Форма предотделочного калибра образована путем глубокого вреза фланцев в верхний валок и прикрытия нижним валком, имеющим конфигурацию гребня, образующего шейку и нижний открытый фланец; в отделочном калибре, наоборот, сделан глубокий врез в нижний валок, а гребень верхнего прикрывает калибр. Такая калибровка обеспечивает равномерные условия для образования как верхних, так и нижних фланцев балки, так как металл прокатывается от первого до последнего прохода попеременно то в закрытых, то в открытых частях калибра. Размеры последних берутся с запасом, чтобы ме-

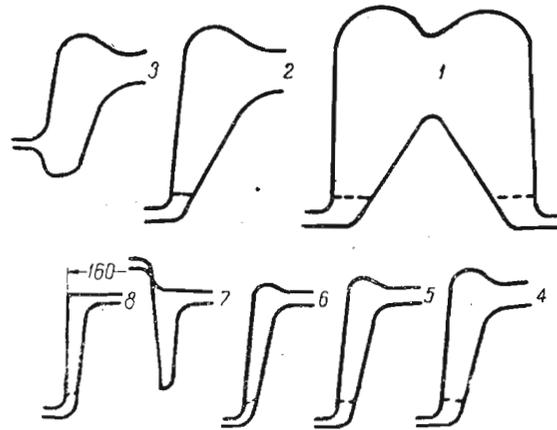


Рис. 16. Калибры для прокатки швеллера

талл не выходил через зазоры между валками и не образовывал «усов»<sup>1</sup>. Закрытые фланцы обеспечивают необходимую высоту фланцев готового профиля.

На рис. 16 показаны калибры для прокатки швеллера № 16 [2]. Швеллерные черновые калибры имеют «противофланцы» или «ложные» фланцы, позволяющие лучше образовать действительные фланцы. Для обеспечения необходимой высоты фланцев применяются ребровые калибры, какими являются третий по счету и предотделочный с закрытыми действительными фланцами.

Сечение балочных и швеллерных калибров по ходу прокатки постепенно уменьшается за счет утонения фланцев и шейки. Уширение последней учитывается увеличением ширины последовательных калибров. Ширина готового профиля, т. е. высота балки или швеллера, определяется шириной отделочного калибра и не поддается регулировке. Поэтому увеличение ширины этого калибра вследствие износа приводит к необходимости смены (перевалки) валков. Толщина шейки профиля регулируется путем настройки валков. Что касается высоты фланцев, то их размер за-

<sup>1</sup> Заполнение калибров металлом показано пунктиром.

висит от расточки калибров и правильности заполнения их металлом.

На рис. 17 представлены калибры для прокатки однотавровой балки (тавра  $57 \times 40 \times 7 \times 4$  мм). В качестве первого фасон-

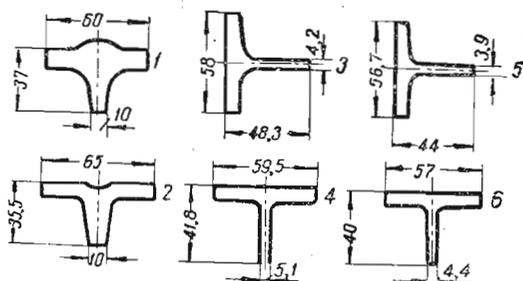


Рис. 17. Калибры для прокатки однотавровой балки

ного калибра выбран колокольный, обеспечивающий лучшее заполнение следующего таврового калибра. В дальнейшем для попеременного обжатия стенок и обеспечения необходимой их ширины раскат кантуется на  $90^\circ$ .

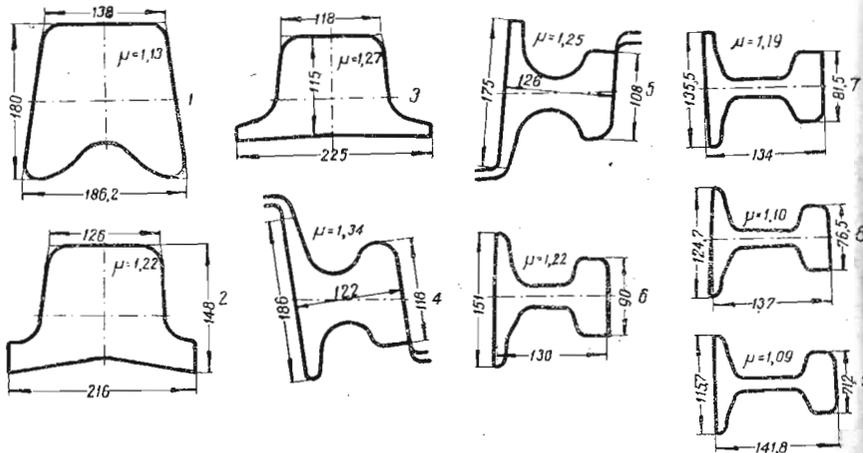


Рис. 18. Калибры для прокатки железнодорожного рельса

Калибры для прокатки железнодорожного рельса представлены на рис. 18. Первые три черновых калибра предназначены для образования пяты, затем идет разрезной калибр. Последующие калибры, как и при прокатке двутавровой балки, имеют

чередующиеся открытые и закрытые фланцы, более длинные для пяты и более короткие для головки рельса. Наклонное положение оси калибров 4 и 5 и способ их вреза (косое расположение) помогают обеспечить необходимую высоту рельса, поскольку она может изменяться при регулировке валков. Благодаря косому расположению калибры при переточках полностью восстанавливаются по высоте, в то время как при прямом расположении ширина калибров (высота рельсов) по мере их износа и переточек увеличивается.

Существуют и другие способы прокатки рельсов. При одном из них после разрезного идет так называемый тавровый калибр для обжатия пяты с целью ее утонения и облегчения работы в последующих фланцах.

На рис. 19 показаны калибры для прокатки автобоба. Эти калибры по форме и расположению напоминают калибры для прокатки полосы, только очертания их сделаны специальной формы.

Многочисленностью прокатных профилей и разнообразием калибровок объясняются различные и порой быстрые результаты прокатки (как по качеству поверхности, так и по точности размеров профилей). Большое значение для точности размеров имеет настройка прокатных валков, а также правильность расточки калибров, учет их износа во время прокатки и наличие запасных сменных отделочных калибров.

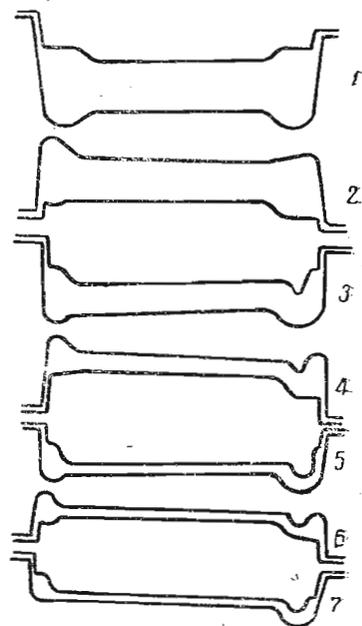


Рис. 19. Калибры для прокатки автобоба

### 3. ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

Классификация валков. Прокатный валок состоит: из рабочей части — бочки или полотна, на которой производится прокатка, двух шеек, служащих для опоры в подшипниках, и двух профилей, предназначенных для передачи вращения валку от привода при помощи муфты и шпинделя.

Прокатные валки классифицируются в зависимости от формы, назначения, материала и свойств:

1. По профилю бочки. Валки бывают гладкими (цилиндрическими), ручьевыми (калиброванными), ступенчатыми и специальной формы (конические, дисковые, грибовидные, гиперболические и др.).

2. По назначению. Различают валки блюмингов, заготовочных станов, обжимных, черновых и чистовых клетей сортопрокатных, проволочнопрокатных, колесопрокатных, рельсобалочных и бандажепрокатных станов, станов горячей и холодной прокатки листов, ленты и труб, прошивных, пилигримовых, автоматических, непрерывных, редуccionных и других трубопрокатных станов.

3. По материалу. Валки бывают стальные и чугунные. Стальные валки изготавливаются литыми и коваными из сталей различных марок; применяются также легированные стальные валки, обладающие большой износостойкостью и прочностью. Чугунные валки могут быть мягкие (из серого чугуна), твердые с отбеленной поверхностью и полутвердые. Легированные чугунные валки получают все большее применение. В последнее время с успехом применяются чугунные валки, модифицированные магнием, а также отлитые с грубо профилированными калибрами с отбелом.

Стальные валки лишь в редких случаях применяются в чистовых клетях, так как несколько остывший конец раската оставляет на валках вмятины, а при прокатке горячих полос наблюдается прилипание и наваривание на поверхности калибров частичек металла. Вмятины и навары на валках дают отпечатки на прокате и портят его. Кроме того, стальные валки обычно имеют меньшую износостойкость в работе.

К чугунным валкам металл не прилипает и не наваривается, поэтому их применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую чистоту поверхности проката.

Чугунные валки дешевле стальных, обработка их легче, а износостойчивость выше; однако из-за недостаточной эксплуатационной прочности их применение возможно лишь в тех случаях, когда нагрузки и давление металла при прокатке сравнительно невелики. В связи с этим для чистовых клетей сортопрокатных станов обычно применяют чугунные валки «полутвердые» и с отбеленной поверхностью. Глубину отбела выбирают обычно не более 10—15% диаметра валков.

4. По твердости рабочей поверхности. А. Е. Кришошев различает валки с перлито-карбидным (отбеленным), перлито-карбидо-графитным и с перлито-графитным рабочим слоем.

Валки с отбеленным рабочим слоем изготавливают из нелегированного, среднелегированного и высоколегированного чугуна. Химический состав отбеленных валков: 2,8—3,8% С; 0,2—0,8% Si; 0,3—0,9% Mn; до 0,12% S; до 0,5% P.

Валки с литыми ручьями и с графитизацией сердцевин и шеек могут иметь рабочий слой высокой твердости (до 550  $H_B$ ) при серой структуре сердцевин и шеек.

Валки с перлито-цементито-графитным (ПЦГ) рабочим слоем имеют структуры, различные по количеству белой составляющей —

от почти серой (четвертные) до почти совершенно белой (трехчетвертные). Твердость таких валков колеблется от 240 до 450  $H_B$ . По условиям производства и эксплуатационным качествам их можно разделить на такие подгруппы (с перепадом твердости в каждой подгруппе, равным 70  $H_B$ ): трехчетвертные ПЦГ-415, полвинчатые ПЦГ-345, четвертные ПЦГ-275.

Перлито-цементито-графитные валки изготавливают из нелегированного и хромоникелевого чугуна. Химический состав постоянных элементов этих валков: 2,6—3,6% С; 0,4—1,2% Si; 0,5—1,0% Mn; до 0,12% S; до 0,3% P.

Высокая стойкость валков при отсутствии опасности их поломки может быть обеспечена и без применения никеля.

Валки с перлито-графитным (ПГ) рабочим слоем имеют твердость от 200 до 280  $H_B$ . Содержание углерода в них ограничивают 2,4—3,2% для снижения количества графитных включений; содержание фосфора уменьшают до низшего предела.

Повышение износостойкости валков увеличивает срок их службы и количество прокатанного металла за одну постановку валков, сокращает время на перевалки, т. е. приводит к уменьшению расхода валков на тонну проката, к повышению производительности стана и снижению стоимости прокатной продукции.

Выбор наиболее рационального типа валков для каждого конкретного случая представляет значительные затруднения. Выбор материала валков и способа их термической обработки зависит от назначения валков и требований к их прочности и износостойкости. При этом учитываются также условия отливки и обработки валков при изготовлении и последующих переточках.

Механические свойства валков. Предел прочности при разрыве, твердость и вязкость характеризуют механические свойства металла валков.

Одновременно с пределом прочности определяют удлинение и сжатие поперечного сечения образца.

Ударная вязкость определяется на маятниковых копрах (Шарпи), твердость — на прессе Бринеля, склероскопом и другими приборами.

Твердость материала определяется либо величиной отпечатка от вдавливания шарика (приборы Бринеля и Польшдигютте), либо высотой отскакивания свободно падающего шарика (склероскоп Шора). При определении твердости валков по способу Бринеля должны изготавливаться специальные образцы под пресс, поэтому этот способ применяется только для определения твердости образцов, взятых от разрезанных валков.

При применении прибора Шора требуется строго вертикальная установка стеклянной трубки, в которую помещен стальной шарик. Поэтому он непригоден для определения твердости металла нижних и средних валков, установленных в прокатном стане, так как этому мешает находящийся сверху валок. Для верх-

них валков, а также для валков, расположенных вне стана, этот способ достаточно удобен и применяется весьма часто.

Прибор Польдигютте прост и удобен для замера твердости валков, расположенных как в прокатном стане, так и вне его. Этот способ не пригоден для определения твердости в узких и глубоко врезанных частях калибров, в которых прибор не помещается. Применение прибора Шора в этих случаях встречает аналогичное затруднение.

Твердость прокатных валков нами определялась приборами Шора и Польдигютте; однако, по указанным выше причинам, не удавалось произвести замер твердости поверхности калибра в закрытых фланцах балочных и швеллерных калибров.

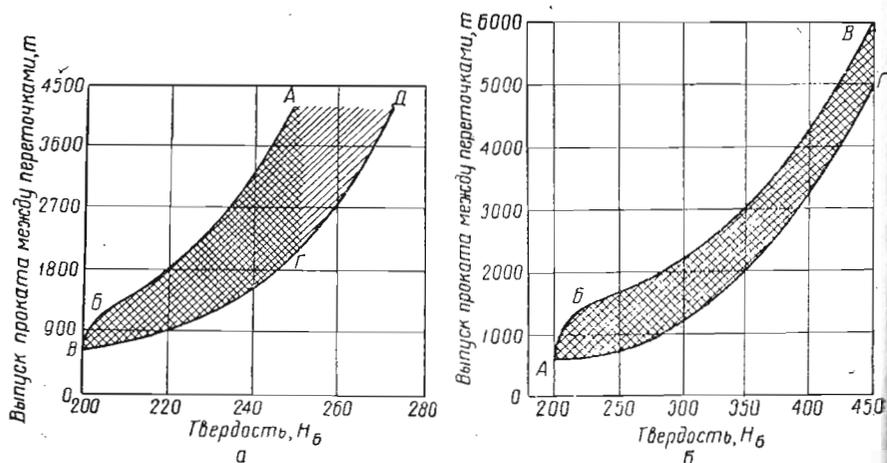


Рис. 20. Зависимость выпуска проката между переточками от твердости валков

По данным А. Е. Кривошеева [23], стойкость валков против износа зависит от их твердости. Так, в чистовой клети рельсобалочного стана Ново-Тагильского завода чугунные валки Лутугинского завода твердостью 260—290  $H_B$  прокатывают за одну постановку 2000—3000 т металла, валки твердостью 300—340  $H_B$  — 2500—3600 т, а твердостью 350—400  $H_B$  — 3800—5300 т.

На рис. 20, а представлена зависимость между сопротивлением износу чугунных валков и количеством прокатанных рельсов, выпускаемых за одну постановку валков на станах малой производительности. При повышении твердости валков с 200 до 250  $H_B$  выпуск проката увеличивается с 900 до 4000 т за одну постановку. Кривая АВВ относится к высокостойким валкам, а кривая ВГД — к валкам текущего производства.

Такая же зависимость между сопротивлением износу ( $H_B$ ) и количеством проката получена при прокатке швеллеров на ста-

нах высокой производительности (рис. 20, б). Условия калибровки и более благоприятное соотношение между диаметром и длиной бочки позволили довести твердость рабочего слоя до 450  $H_B$ . Выпуск проката при этом увеличился с 1000 до 5500 т за одну постановку валков.

В настоящее время большое количество валков отливают с гладкой бочкой, в которой врезают калибры. Часто калибры врезают на глубину, превышающую глубину отбела, поэтому материал валка в дне калибра оказывается половинчатым или серым чугуном с резко пониженной, по сравнению с отбеленным чугуном, износостойкостью. Это обстоятельство обуславливает больший износ глубинных частей калибра, чем внешних, состоящих почти полностью из белого чугуна. В результате этого калибр изнашивается неравномерно по периметру, что приводит к преждевременному отклонению размеров профиля от допускаемых, к переходу на новый калибр или перевалке и переточке валков. По мере переточек различие структур усугубляется и приводит к выходу валков из строя.

Калибр валков по периметру должен обладать необходимой высокой износостойкостью. Толщина износостойчивого слоя должна обеспечивать высокую стойкость калибра после большого числа переточек.

Вследствие увеличения скоростей прокатки и усложнения сортамента к чугунным валкам предъявляются все более высокие требования. Переход на отливку валков рельсобалочных, сортопрокатных и трубопрокатных станков с готовыми литыми калибрами является мероприятием, направленным на увеличение срока службы валков. В этом случае на вальцетокарном станке производится лишь обдирка поверхностного слоя для придания калибрам точных размеров, и отбеленный слой сохраняется по всей контуре калибров.

Стойкость литых отбеленных калибров в 3—5 раз выше стойкости врезных калибров. При применении литых калибров уменьшается количество перевалок, повышается производительность прокатных станков и улучшается качество поверхности проката. Недостатком валков с литыми калибрами является некоторая сложность их изготовления, что ограничивает их применение в чистовых клетях для наиболее часто прокатываемых профилей.

Обработка валков. На рис. 21 представлена конфигурация отливки и изготавливаемого из нее прокатного валка. Чугунные и стальные отливки для валков должны иметь достаточно большие прибыли, чтобы вредные примеси и неметаллические включения всплывали вверх и там концентрировались. В прибыли должна концентрироваться и усадочная раковина.

Изготовление из отливки валка с припусками на дальнейшую точную обработку производится обточкой на вальцелитейном станке. Потребители валков производят чистовую обточку в вальцетокарной мастерской на станках специальной конструкции.

Обточку валков производят по чертежам, в которых указаны диаметры валков (по бочке, буртам и в калибрах), длина бочки и буртов, размеры шеек и тремов. Для правильной обточки калибров применяют шаблоны, изготовленные из тонколистового металла по чертежам калибров. Для обточки мелких и фасонных калибров по шаблонам изготавливают резцы необходимого профиля. На рис. 22 представлены некоторые типы цельных и составных шаблонов.

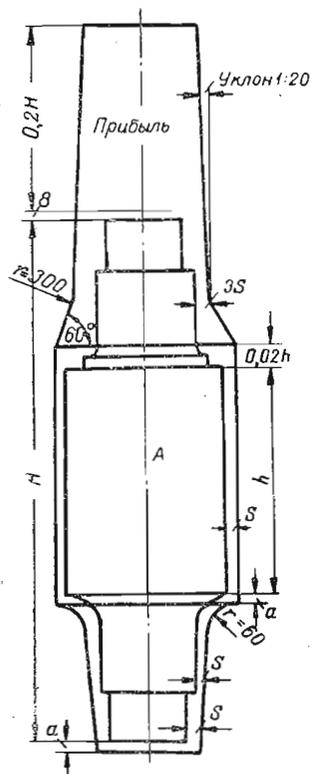


Рис. 21. Отливка для валков

В вальцетокарном деле применяют различные по форме и назначению резцы, соединяемые наваркой или болтами с державкой, укрепляемой на суппорте. Проходные резцы применяются для цилиндрической обточки бочки, шеек и тремов валков, а прорезные резцы — для прорезания ручьев. Обточка галтелей про-

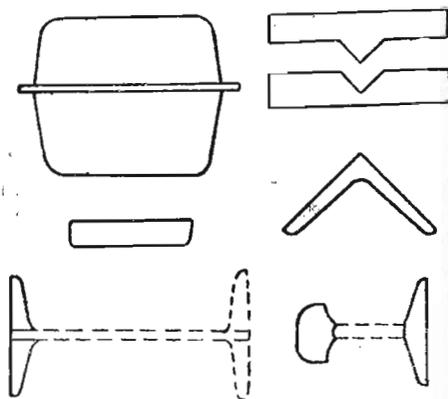


Рис. 22. Типы шаблонов калибров валков

изводится галтельными резцами с различными радиусами закруглений. Для расточки узких фасонных ручьев применяются цельные фасонные резцы; такими же резцами растачиваются диагональные, квадратные, ромбические, овальные и круглые ручьи, угловые и фасонные калибры. Мелкие круглые и овальные калибры растачиваются цилиндрическими резцами (пробками).

Для расточки сложных и больших ручьев (рельсов, тавров, двутавров, швеллеров и др.) изготавливаются резцы двух типов: 1) сплошные для расточки всего ручья в целом и 2) для расточки отдельных его элементов. Для расточки, например, рельсового

калибра делают отдельные резцы для расточки подошвы, шейки и головки и сплошной резец для расточки калибра в целом. Отдельными резцами производят предварительную расточку ручья, а цельным резцом — доводку и зачистку его. Широкие фасонные калибры растачивают отдельными резцами.

Резцы и пробки изготавливают из углеродистой или быстрорежущей стали и подвергают специальной термической обработке. Высокотвердые валки обтачивают резцами из твердых сплавов (победита).

При изготовлении валков с гладкой цилиндрической, выпуклой или вогнутой бочкой предварительно обточенные валки шлифуют на специальных станках при помощи абразивных камней.

Степень допускаемого износа гладких валков устанавливается по разнотолщинности прокатываемых листов по ширине, а также по качеству поверхности листов.

Листопрокатные валки максимально изнашиваются посередине. Такой износ можно частично компенсировать регулировкой температуры вала (меньшим охлаждением его середины). Однако по мере службы валков нарастает разнотолщинность листов, ограничиваемая установленными допусками. С другой стороны, при износе поверхность валков делается шероховатой, что ухудшает вид и качество поверхности листов.

Максимальная допускаемая величина износа калиброванных валков устанавливается по допускам на размеры прокатываемого профиля и по качеству поверхности прокатных изделий. Неравномерный износ калибров вызывает, как правило, перераспределение деформации металла в различных элементах калибра, нарушает нормальную работу калибров и вызывает брак проката. Нередко износ калибров приводит к их переполнению, образованию заусенцев и других видов брака<sup>1</sup>.

При высоких требованиях к качеству и размерам проката допускаемый износ чистовых калибров измеряется десятками и сотнями долями миллиметра. Износ черновых (вытяжных) калибров можно допустить значительно больше (в пределах около одного миллиметра или несколько больше). Износ обжимных калибров может достигать нескольких миллиметров. Эти величины должны быть конкретизированы применительно к каждому стану и прокатываемому профилю.

Изношенные валки восстанавливаются путем переточки их на вальцетокарных станках. При этом полностью восстанавливаются профиль вала или размеры калибров, в соответствии с чертежами данными или шаблонами, за счет уменьшения диаметра вала. Величина уменьшения диаметра вала зависит от степени его износа, формы калибров и величины уклона их стенок. Чем меньше уклон боковой стенки калибра и больше ее износ, тем

<sup>1</sup> См. главу V.

большой необходим съем валка по диаметру, что видно из рис. 23.

Выбор величины уклонов боковых стенок калибров решается при калибровке валков. Обычно выбираются такие уклоны (выпуски): для обжимных прямоугольных калибров 10—20%, для черновых прямоугольных (полосовых) и фасонных калибров 3—8%, для чистовых фасонных калибров 0,25—0,75%. Уклон чистовых калибров должен быть ограничен, так как потребители требуют, чтобы прокатные изделия выпускались правильной формы, в соответствии с условиями их службы.

Число переточек валков зависит от величины съема по диаметру за одну переточку и от величины общего уменьшения диаметра валков, допускаемого по соображениям прочности и конструкции стана.

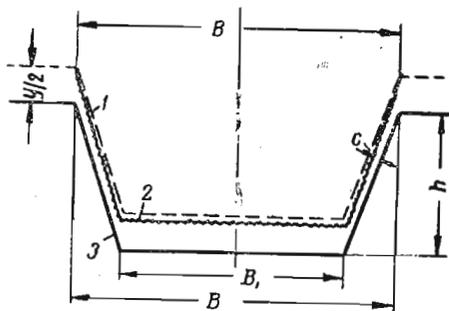


Рис. 23. Схема восстановления изношенных ящичных ручьев: 1 — первоначальные очертания ручья; 2 — выработка ручья; 3 — восстановленные очертания ручья

по соображениям прочности и конструкции стана. Деление второй величины на первую дает число переточек. Можно считать, что допускаемое общее уменьшение диаметра составляет 180—100 мм для блюмингов, от 100 до 20 мм — для сортовых станов (большая цифра — для крупносортовых и меньшая — для мелкосортовых станов), от 100 до 10 мм — для листовых станов разного назначения и т. д. Это составляет от 15 до 5% начального диаметра валков.

Съем по диаметру за одну переточку колеблется в весьма широких пределах: от 10—15 мм для блюмингов до 2—3 мм для мелкосортовых стансов. Для многих прокатных стансов число переточек составляет 6—10. Отработавшие после последней переточки прокатные валки списываются в лом или перетачиваются на валки другого размера (например, среднесортные на мелкосортовые).

Расход валков в прокатных цехах достигает большой величины и составляет обычно 3—5 кг на тонну проката, а нередко и больше.

Служба прокатного валка учитывается в специальном паспорте, в котором фиксируются данные о химическом составе, механических свойствах, условиях изготовления, размерах и работе валка, о съеме по диаметру, профиле и количестве прокатанного металла за каждую постановку в клеть, обнаруживаемые дефекты валка и другие сведения. Обработка паспортных данных дает ценный материал для суждения о качестве валков и их износостойкости.

#### 4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗНОС ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Износом называют качественные и количественные изменения поверхности тела, вызываемые физическими и химическими процессами, а также механическими воздействиями одного тела на другое. При обработке металлов давлением обычно происходят износ, смятие и окисление рабочей поверхности инструмента. Смятием называется пластическая деформация твердого тела, при которой изменяются его размеры, но не происходит уменьшения массы тела [8, 18, 19].

Различают: 1) абсолютный износ — количество удаленной при износе массы вещества; 2) изнашиваемость — отношение удаленной массы к затраченной на удаление работе; 3) износостойкость — величина, обратная изнашиваемости.

Для оценки величины износа можно руководствоваться «абсолютным износом» и «неравномерностью износа».

Под абсолютным износом, или просто износом, подразумевают изменение размеров калибра. Неравномерностью износа называется неравномерное по периметру уменьшение размеров калибра, которое не может быть исправлено настройкой стана и может быть определено, если наименее изнашиваемую точку калибра принять за нулевую.

Абсолютный износ зависит от таких факторов: 1) скольжения прокатываемого металла по валку в очаге деформации; 2) температурных условий трения и охлаждения валков; 3) наличия подвижного, промежуточного слоя; 4) химического состава прокатываемой стали; 5) качества прокатных валков; 6) применяемых режимов обжатий.

На неравномерность износа влияют также: 1) различная работа сил трения в отдельных частях калибра; 2) неравномерный нагрев прокатываемого металла по сечению; 3) неравномерная твердость металла валка по периметру ручья; 4) неравномерное распределение обжатий; 5) состояние арматуры и настройки стана; 6) динамичность нагрузки при захвате металла валками.

Поверхность калибра сортопрокатного валка подвергается при прокатке попеременному нагреванию и охлаждению благодаря контакту калибра с нагретым металлом и последующему охлаждению валков водой.

Как показывает опыт [44, 51], температура поверхности валка вне зоны деформации выше температуры окружающей среды не более, чем на 50°. В очаге деформации температура поверхностного слоя валка близка к температуре прокатываемого металла.

В результате попеременного нагрева и охлаждения на поверхности валка появляется сетка трещин. В трещинах происходит интенсивное окисление металла, что способствует дальнейшему их развитию. Могут иметь место и процессы расклинивания оснований крупных трещин и микрощелей на поверхности адсорбиро-

ванными из окружающей среды поверхностноактивными веществами [39].

Срок службы калибров значительно повышается при надлежащем охлаждении валков водой путем обильной ее подачи со стороны выхода полосы и предохранении валков от поступления охлаждающей воды в калибр вместе с прокатываемой полосой со стороны входа. Вода, попадая в валки вместе с прокатываемой полосой, превращается в пар и способствует износу и разрушению поверхностного слоя валков. Вопросу надлежащего охлаждения валков при прокатке еще не уделяется достаточно внимания.

При окислении поверхности валка повышается коэффициент трения и увеличивается износ. Этим объясняется то, что трущиеся поверхности сильно изнашиваются на воздухе и не изнашиваются в нейтральном газе. С другой стороны, окисление может оказаться и положительным фактором, если способствует образованию порошкообразных продуктов износа.

Исследования продуктов истирания, получающихся при трении чугуновых тормозных колодок о стальной диск, проведенные под руководством проф. С. Ф. Чукмасова, показали, что продукты износа представляют собой частицы металла в виде чешуек. Мелкие частицы имеют, как правило, круглую равноосную форму; крупные и средней величины — продолговатую. Поверхность частиц — неровная, бугристая, с рисками в одном направлении.

При горячей прокатке между металлом и валком имеется промежуточный слой, состоящий из окалины, покрывающей поверхность прокатываемого металла, продуктов износа и паров воды. Влияние этого слоя на износ калибров пока не изучено, хотя [40, 52] можно предположить, что оно довольно существенно.

На износ калибров влияет химический состав прокатываемой стали. Стали с высоким содержанием углерода истирают калибры быстрее, чем мягкие стали.

Особенно быстро изнашиваются калибры при прокатке легированных и кремнистых сталей, что объясняется большим давлением на валки высокоуглеродистых и легированных сталей вследствие прокатки их с пониженной температурой, а также влиянием химического состава [34].

Многочисленные исследования, проведенные с целью определения зависимости величины износа от твердости металла, не дали пока устойчивых результатов [12, 18]. Это объясняется тем, что сопротивление металла износу является не функцией каких-либо их свойств, а самостоятельным свойством, присущим каждому типу металла и по-разному проявляющемуся при различных методах испытания.

При исследовании валковых чугунов определенная зависимость между износом и твердостью чугуна была получена К. П. Буниным и А. Е. Кривошеевым [3]. Характер этой зависимости приведен на рис. 24.

Уменьшение износа и повышение твердости чугуна, наблюдающиеся в полностью отбеленном слое, авторы объясняют ослаблением аномальности при удалении от поверхности валка. С появлением в структуре серой составляющей понижается твердость и увеличивается износ примерно пропорционально уменьшению количества карбидной составляющей. Максимальный износ наблюдался на границе между переходной и серой зонами валка, где имелись мелкие пластинки графита, а кристаллы карбида отсутствовали. Дальше, в общем случае, кривая износа идет горизонтально<sup>1</sup>.

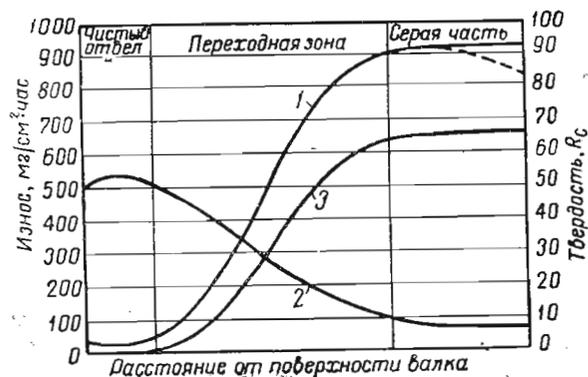


Рис. 24. Зависимость между твердостью и износом валковых чугунов:

1 — износ; 2 — твердость отбеленного чугуна на разных расстояниях от поверхности валка; 3 — количество серой составляющей

Аналогичные результаты получены в опытах Г. И. Бельченко при абразивном истирании образцов половинчатого чугуна. Истираемость резко увеличивается по мере понижения количества эвтектического карбида в структуре. Это увеличение истираемости имеет место до 85% серой составляющей в структуре, далее — до полностью серого чугуна — износ несколько уменьшается.

Режим обжатия также влияет на стойкость калибров. В. Д. Грозин [8] отмечает, что темп износа значительно возрастает с увеличением удельного давления. В чистовых калибрах обжатия обычно принимаются в пределах 8—12%. Делается это для получения точных размеров профиля за счет предупреждения быстрого износа валков и уменьшения упругой деформации стана.

В процессе работы отдельные части калибра изнашиваются неравномерно в результате различной работы сил трения в разных частях калибра. Это связано с неравномерным скольжением металла по поверхности калибров, что объясняется переменной

<sup>1</sup> Изменение на рис. 24 (в виде пунктира) внесено по указанию А. Е. Кривошеева.

величиной катающих радиусов. Особенно большой износ обнаруживается в глубоко врезанных калибрах (балочных, швеллерных и т. п.).

Четкое представление об условиях деформации металла в балочном калибре дал в своих трудах В. Е. Грум-Гржимайло [9]. Но предложенная им схема распределения скоростей по периметру калибра без данных по опережению и вытяжке металла дает недостаточное представление о величине скольжения металла в очаге деформации и, следовательно, недостаточна для объяснения износа калибров.

На стойкости калибров отрицательно сказывается прокатка при низких температурах. Так как при прокатке некоторые части профиля имеют более низкую температуру по сравнению с другими частями (края полосы, концы полок швеллеров и балок и т. п.), то калибр вследствие этого также изнашивается неравномерно.

Калибры валков, полученных обточкой валков с гладкой бочкой, имеют различную структуру и твердость по мере удаления от поверхности; естественно, что будет различным и сопротивление износу в различных частях калибра, врезанного в такой валок (рис. 24).

Износ чистового калибра зависит от степени неравномерности обжатий в нем и от износа предчистового калибра, так как в результате износа последнего происходит перераспределение обжатий между отдельными элементами профиля. При неравномерном распределении обжатий между отдельными частями профиля увеличивается перемещение металла внутри очага деформации, что способствует увеличению расхода энергии и быстрейшему износу валков.

На практике часто можно наблюдать неравномерный износ калибров, вызванный неправильной установкой проводок и пропускных коробок, неправильной настройкой стана. При несимметричном износе калибров из-за неправильной установки арматуры может произойти поломка валков. Динамичность нагрузки при захвате валками холодного конца прокатываемой полосы приводит к местному износу.

Вопрос о механизме износа еще недостаточно изучен. Износ материала определяется не одной какой-либо причиной, а только природой материала и комплексом внешних воздействий.

Г. И. Бельченко следующим образом объясняет механизм разрушения калибра. При контакте металла с валками во время прокатки поверхность калибра испытывает значительные нормальные и тангенциальные усилия, деформирующие поверхностный слой калибра, причем развивающаяся в очаге деформации высокая температура облегчает деформацию. Кристаллическая решетка реальных кристаллов всегда содержит некоторое количество дефектов — слабых мест, которые при деформации являются зародышами микрощелей и микротрещин. При деформации такого

образца на краях микрощелей резко возрастают напряжения, достигая величины, равной теоретической прочности металла. При таком напряжении разрушение начинается даже в том случае, если среднее напряжение в образце во много раз меньше величины теоретической прочности. Раз начавшись, разрушение будет продолжаться, если продолжает действовать усилие деформации.

Во время прокатки участки контакта калибра с металлом все сильнее деформируются, в отдельных местах прорывается оксидная пленка и происходит сваривание чистых, контактирующих участков. Это приводит затем к отрыву от поверхности валка небольших чешуек металла толщиной в сотые и тысячные доли миллиметра. В дальнейшем эти чешуйки либо выбрасываются из очага деформации, либо прилипают к одной из трущихся поверхностей и, участвуя в процессе истирания, образуют промежуточный слой (наряду с частицами окалины, шлака и т. п.), существенно влияя на коэффициент трения.

В работе прокатных валков, как и в общем случае работы деталей машин, существует три периода износа.

В первый период работы валка поверхность калибров начинает прирабатываться, неровности на поверхности сминаются, срезаются и поверхность калибра становится относительно гладкой.

Во второй период работы образуются новые неровности, которые в свою очередь сглаживаются. Постепенно устанавливается меняющийся, одинаковый по всей окружности рельеф поверхности, связанный как условиями службы валка (давление, скорость, температура), так и микроструктурными и прочностными характеристиками металла валка.

Третий период — период усиленного износа валков — наступает в результате изменений геометрической формы калибров и связанных с этим резких изменений условий работы поверхностей трения.

Для увеличения срока службы валков необходимо по возможности сократить период приработки (путем улучшения качества поверхности калибров), максимально увеличить период установившегося износа и предупредить наступление усиленного износа (путем рационализации калибровки).

#### 5. СТАН «550», НА КОТОРОМ ПРОИЗВОДИЛИСЬ ЗАМЕРЫ ИЗНОСА ВАЛКОВ

Исследование износа валков производилось на чистовых и предчистовых калибрах стана «550», прокатывающего полосы, угловую сталь, швеллеры, двутавровые балки и другие профили. Стан состоит из четырех клеток, расположенных в одну линию. Привод стана делает 97 оборотов в минуту. При наблюдении определяли: 1) изменения конфигурации калибра; 2) изменения обжатий отдельных элементов прокатываемого профиля, связан-

ные с изменением конфигурации калибров; 3) изменения твердости валков по периметру калибра; 4) неравномерности температуры в различных точках сечения прокатываемого профиля.

На стане «550» прокатываются различные профили из заготовок таких размеров (табл. 1).

Таблица 1

Сечение, мм	Допуск на сторону, мм	Длина, мм	Допуск на длину, мм	Вес, кг	Прокатываемые профили
150×150	±5	1150	±50	190—210	Угловая сталь 100×100, 130×90 и 120×80 мм Полосовая сталь 200×8—20 мм Швеллер № 12, угловая сталь 100×100, 120×80 мм Швеллеры № 10, № 12, балки № 10, угловая сталь 90×90, 75×75 мм
170×170	±5	2400	±100	485—515	
140×128	±5	2300	±100	350—380	
135×118	±5	2300	±100	350—380	

На стане «550», кроме профилей, указанных в табл. 1, прокатываются: автоободы № 202 и 127; автоось ГАЗ-АА, ГАЗ-51, ЗИС-150 и др.

В чистовой клетке стана «550» делается один проход; в предчистой клетке при прокатке всех профилей, кроме полосовой стали, делается по два прохода (по одному в нижнем и в верхнем горизонтах). При прокатке полосовой стали предчистовая клетка не работает, а в черновой клетке делается четыре прохода (по два в нижнем и верхнем горизонте). В обжимной и черновой клетках прокатка ведется в четное число проходов, применительно к каждому исследованному профилю.

## ГЛАВА II

### ИЗНОС ВАЛКОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОС

#### 1. ТЕМПЕРАТУРА ПРОКАТЫВАЕМЫХ ПОЛОС

Для выяснения влияния температуры нагрева металла на износ валков перед последним проходом были произведены замеры температуры различных точек полос, прокатываемых на стане «550». При этом были выбраны такие точки замеров температуры: первая — у края полосы, вторая — посередине ширины. Чтобы устранить влияние неравномерности нагрева заготовок в печи и получить достоверные средние данные, точки замера температуры чередовались на последовательно идущих полосах (на первой полосе измерялась температура в первой точке, на следующей — во второй точке; на третьей — в первой точке и т. д.).

Прокатывались полосы шириной 200 мм, но разной толщины. На рольганге, перед задачей полосы в чистовую клетку, на каждой толщине производилось от 40 до 80 замеров температуры. При прокатке полосовой стали 200×10 мм средняя разность температур середины полосы и краев составляла 23,4°. При прокатке полосовой стали 200×16 мм было произведено 40 замеров температуры. Средняя температура середины полосы составила  $t_{\text{сер}} = 1030,2^\circ$ , краев полосы  $t_{\text{кр}} = 1013^\circ$ , разность 17,2°.

При замерах температуры оптическим пирометром видимое поле захватывает не только края, но и более нагретые части раската, расположенные ближе к середине, поэтому пирометр фиксирует несколько более высокую температуру, и фактическая разность температур середины и краев полосы является несколько больше указанной. Наблюдениями, таким образом, установлено, что края полосы при прокатке в чистовом калибре значительно холоднее ее середины.

Ввиду того, что сопротивление пластической деформации металла, а также внешнее трение увеличиваются при понижении температуры, следует предположить более интенсивный износ валика в тех местах, которые деформируют более холодный металл, т. е. по краям полосы.

#### 2. ТВЕРДОСТЬ ВАЛКОВ

Стойкость валков против износа зависит от их твердости, которая сильно изменяется по глубине рабочего слоя. Поэтому

гладкие валки имеют неодинаковую стойкость против износа в начале и в конце службы. По мере переточек и уменьшения диаметра валка уменьшается твердость поверхностного рабочего слоя и, следовательно, стойкость валка против износа.

Неравномерность твердости устанавливалась замером твердости в различных точках рабочей части валков.

Чистовой проход при прокатке полосовой стали производится на чугунных валках с гладкой бочкой. Большинство наблюдаемых валков имело одинаковую твердость по ширине рабочей части полотна и только незначительное число валков имело твердость рабочего слоя, повышающуюся от середины к краю валка. Вообще твердость рабочего слоя чистовых валков для прокатки полосовой стали колебалась от 50 до 65  $H_{от}$ .

Предчистовой проход производится в калибре, врезанном в стальные валки. Проверка показала, что твердость металла валка по ширине предчистового калибра не изменяется.

Все это позволяет сделать заключение о достаточно равномерной по ширине калибра твердости поверхности валков в наблюдаемых случаях прокатки полос.

### 3. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОС

Неравномерная деформация различных частей прокатываемого профиля приводит к повышенному скольжению металла за счет перетекания его из одних частей калибра в другие. В результате неравномерной деформации увеличивается износ поверхности калибров. За меру деформации при прокатке полос принимаем отношение начальной толщины к конечной  $\frac{H}{h}$ . Проанализируем изменение этого отношения по мере износа валков в случаях: когда предчистовой и чистовой калибры новые (неизношенные); когда предчистовой калибр изношен, а чистовой калибр новый; когда как предчистовой, так и чистовой калибры изношены.

Возможен и такой случай, когда предчистовой калибр новый, а чистовой изношен, но в практике он почти не встречается (так как при смене предчистового калибра одновременно меняют и чистовой). Во всех случаях предчистовой проход осуществлялся в предчистовом сопряженном калибре стальных валков, а чистовой проход — на гладких чугунных валках с отбеленной поверхностью.<sup>1</sup>

Степень равномерности деформации представлена на рис. 25. По оси абсцисс отложена ширина калибра, а по оси ординат отношение  $\frac{H}{h}$ . Ширина калибра разбита на ряд равно отстоящих друг от друга сечений. Мера деформации  $\frac{H}{h}$  определяется для каждого сечения и откладывается по оси ординат.

На рис. 25, а приведен график распределения деформации по ширине калибра при прокатке полосовой стали  $200 \times 8$  мм. Обжатие в чистовом калибре — 3 мм. Величина износа калибров взята по данным наблюдений.

На рис. 25, б приведен график распределения деформации при прокатке полосовой стали  $200 \times 16$  мм. Обжатие в чистовом калибре — 3 мм.

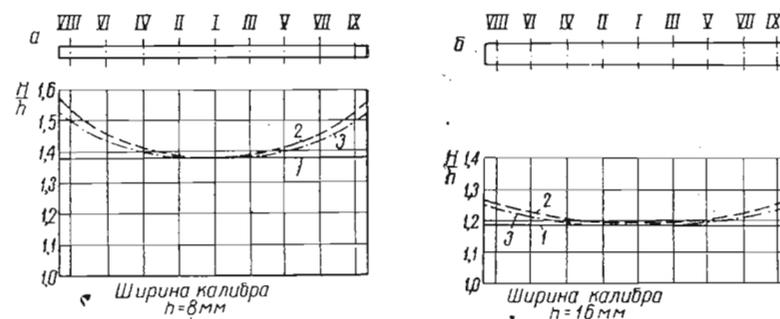


Рис. 25. Неравномерность деформации при прокатке полос

Из рис. 25 видно, что калибровка в начальный момент вполне удовлетворяет требованию равномерной деформации отдельных элементов прокатываемого профиля: кривая 1 (рис. 25, а), характеризующая работу на новых валках, представляет собой почти горизонтальную линию с ординатой  $\frac{H}{h} = 1,375$  и с ординатой  $\frac{H}{h} = 1,187$  (рис. 25, б).

В процессе работы валки постепенно изнашиваются, причем больше всего в местах, соответствующих «холодным» краям полосы. Кривые 2 и 3 отражают увеличение деформации металла по краям полосы, в тех местах, где вследствие износа предчистового калибра полоса толще. Увеличение деформации на краях полосы способствует дальнейшему повышению износа чистовых валков в этих местах.

Необходимо отметить, что на графиках не учтена горизонтальная настройка валков в процессе работы стана, следствием которой является изменение абсолютных значений отношения  $\frac{H}{h}$ .

Настройка стана в связи с износом валков соответствует подъему оси абсцисс на графиках (рис. 25). Характер кривой, описывающей распределение деформации по ширине калибра, при этом не изменяется.

### 4. ДАННЫЕ ПО ИЗНОСУ ВАЛКОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОС

Данные об износе калибров для прокатки полосовой стали приведены в книге С. Н. Филипова [44]. На рис. 26 показана схе-

<sup>1</sup> В этом случае под чистовым калибром имеется в виду часть бочки валков, используемая для прокатки полосы в последнем проходе.

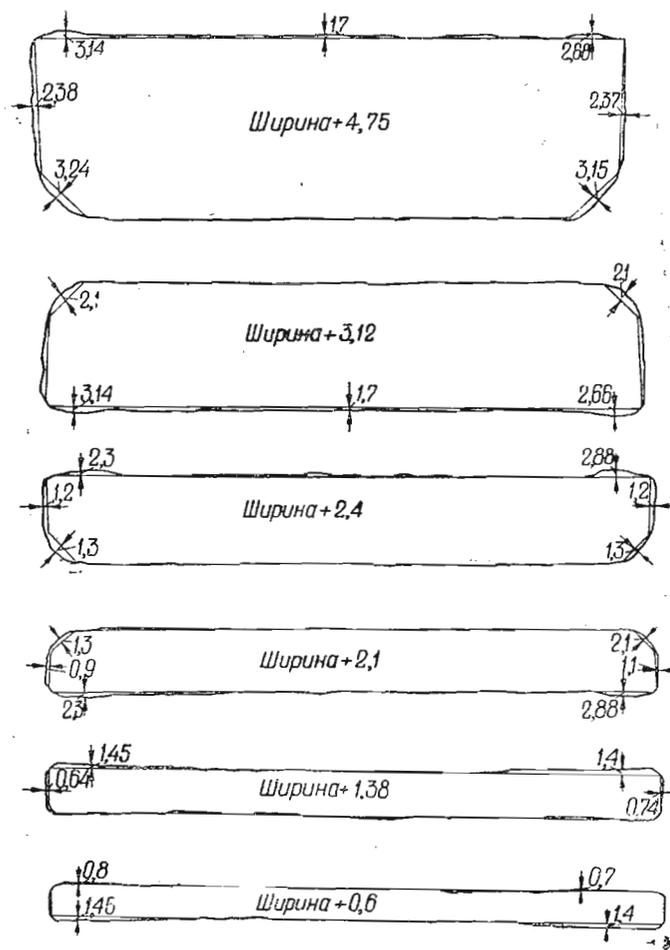


Рис. 26. Износ полосовых калибров

ма износа калибров после прокатки 3390 т металла. Износ первого калибра по ширине составил 4,75 мм. Боковые стенки последующих калибров также сильно изнашивались. Износ горизонтальных участков ручьев достигал максимума по краям. Износ среднего вала, принимающего участие в работе первого и второго калибров, у замка составил 3,14 и 2,66 мм; в углах первого калибра (нижний валок) — соответственно 3,24 и 3,15 мм. Аналогичный характер износа наблюдается и в остальных калибрах.

Чистовой проход производится на валах с гладкой бочкой. Данных об износе чистовых валков нет. Описанный характер износа автор объясняет недостатком калибровки — дана малая величина на уширение и слишком сильно закруглены углы калибров.

Ниже приведены данные об износе валков при прокатке полос на стане «550», полученные путем замеров предчистовых калибров и бочки чистовых валков.

Износ предчистовых калибров определялся путем замера шупом зазора между валком и наложенным на ручей контрольным шаблоном, представляющим собой сечение полосы в предчистовом проходе, а износ бочки чистовых валков — замером шупом зазора между валком и наложенной на него лекальной линейкой.

Перед закладкой валков в клеть проверялось соответствие расточки калибров чертежным размерам. Все отступления от чертежных размеров фиксировались.

На шаблонах и в протоколе наблюдения отмечались: дата проверки валков перед закладкой, номера валков и место расположения шаблона (линейки) на валке при предварительной проверке.

Изнешенные валки вынимались из клетки, шаблоны устанавливались на место предварительной проверки и при помощи шупа измерялись зазоры между валком и шаблоном в десяти равно отстоящих друг от друга точках периметра калибра. В случае необходимости (местный, минимальный или максимальный износ) замеры производились в промежуточных точках.

Минимальная измеряемая величина износа — 0,05 мм; меньшие величины условно принимались равными нулю. Зазоры в 0,05 — 0,20 мм измерялись с точностью до 0,01 мм, зазоры больше 0,20 мм — с точностью до 0,05 мм.

Сбор паспортных данных и сведений о работе валков производился параллельно с исследованием износа.

Полосовая сталь 200×8 = 20 мм из заготовки 170×170×2400 мм прокатывается на стане «550» за 11 проходов, которые по клетям распределяются следующим образом: обжимная клеть — 6 проходов; черновая клеть — 4 прохода; чистовая клеть — 1 проход.

Предчистовая клеть при прокатке полосовой стали в работе не участвует. В валках черновой клетки трио выточены две пары сопряженных калибров, предназначенных для прокатки полосовой

стали всех размеров. Полосы различной толщины получают путем изменения зазора между валками. Калибровка рассчитана таким образом, что при прокатке полос любой толщины абсолютные обжатия остаются постоянными и равными 5 мм. Коэффициент вытяжки в предчистовом проходе при прокатке полос различной толщины колеблется в пределах 1,255—1,446. Калибр ограничен совершенно прямыми горизонтальными линиями; дно его закруглено; боковые стенки имеют конусность 10%.

Чистовые валки имеют гладкую бочку длиной 755 мм, что позволяет производить прокатку на двух участках полотна без пере-

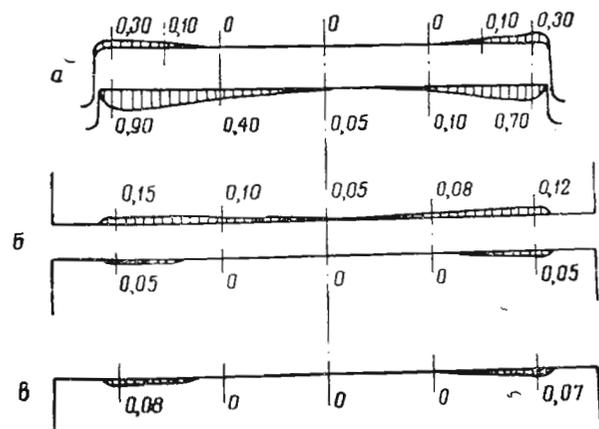


Рис. 27. Износ предчистовых и чистовых валков при прокатке полос

валки. Абсолютные обжатия при прокатке полос различной толщины остаются постоянными и равными 3 мм. Коэффициент вытяжки в чистовом проходе при прокатке полос различной толщины колеблется в пределах  $\mu = 1,184 \div 1,367$ . Прокатка в черновой и чистовой клетях ведется с верхним давлением  $\delta = 3 \div 20$  мм.

В ходе исследования велись наблюдения за 18 предчистовыми и чистовыми калибрами.

Характер износа предчистовых валков одинаков во всех наблюдавшихся случаях. Отклонения бывали только из-за влияния дополнительных факторов: местного износа в результате истирания валка проводкой и несимметричного износа вследствие неправильной настройки стана.

На рис. 27 показан износ предчистового калибра валков № 181 после прокатки 885,4 т полосовой стали. Оба валка<sup>1</sup> — стальные; твердость верхнего валка — 32  $H_{от}$ , среднего — 30  $H_{от}$ . Химический состав материала верхнего валка: 0,41% С; 0,21% Si;

<sup>1</sup> Здесь и дальше в подобных случаях рассматриваются только два валка из трех: верхний и средний, т. е. валки, в которых выточены предчистовые калибры.

0,56% Mn; 0,028% P; 0,036% S; среднего валка: 0,32% С; 0,24% Si; 0,72% Mn; 0,030% P и 0,043% S.

Из рис. 27, а видно, что износ предчистового калибра происходит главным образом по краям. Суммарный износ калибра по краям достигает 1,0—1,2 мм при износе середины калибра 0,05 мм и меньше. Объясняется это влиянием более холодных, по сравнению со серединой, краев полосы и поперечным скольжением металла в очаге деформации при уширении. Износ среднего валка в 2—3 раза больше износа верхнего валка. Произошло это в результате того, что предчистовой калибр сопряжен с предчистовым и средний валок работает в течение одного цикла дважды — в составе и предчистового и предчистового калибров. Кроме того, верхний валок несколько тверже среднего.

Характер изменения конфигурации прокатной щели в результате износа чистовых валков подобен характеру износа предчистовых калибров. На рис. 27, б показан износ чистовых валков (верхний № 214, нижний № 218) после прокатки 693 т полосовой стали. Верхний валок изготовлен из отбеленного чугуна твердостью 54  $H_{от}$ , а нижний — из отбеленного чугуна твердостью 51  $H_{от}$ .

Материал валков имеет такой химический состав: верхнего — 3,59% С; 0,50% Si; 0,49% Mn; 0,64% P; 0,12% S; нижнего — 3,02% С; 0,54% Si; 0,36% Mn и 0,42% P.

Верхний валок был заложен в клеть без переточки после предыдущей кампании. В предыдущую завалку валок № 214 работал нижним и прокатал 688,4 т металла. Износ по краям составил 0,07—0,08 мм (рис. 27, в). Таким образом, износ валка № 214 (рис. 27, б) получился после прокатки 1381,4 т металла.

Из рис. 27, б и в видно, что износ чистовых валков происходит главным образом в местах, соответствующих краям прокатываемой полосы. Объясняется это, как и для предчистового калибра, значительным снижением температуры краев полосы по сравнению с температурой ее середины и уширением металла.

На чистовых валках, как и в предчистовых калибрах, наблюдается и местный и несимметричный износ в результате недостаточно тщательной настройки стана.

На основании рассмотрения условий работы и характера износа предчистовых и чистовых валков для прокатки полосовой стали можно сделать следующие рекомендации по рационализации калибровки с целью увеличения стойкости валков и повышения точности выпускаемой продукции.

## 5. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ С УЧЕТОМ ИХ ИЗНОСА

Чтобы компенсировать образующийся во время прокатки неравномерный износ валков, диаметр чистовых валков должен быть увеличен приблизительно на величину минусового допуска в местах максимального износа, соответствующих краям прокатываемой полосы (рис. 28, а). Предчистовой калибр (рис. 28, б)

также следует несколько изменить. Ввиду того, что предчистовой калибр изнашивается главным образом по краям полотна, диаметры валков в этих местах надо увеличить на величину износа. Диаметр верхнего валка по краям калибра (при существующей схеме прокатки) должен быть на 0,6—1,0 мм, а среднего на 1,0—1,5 мм больше диаметра валка посередине калибра. Для уменьшения общего износа и достижения более равномерного износа предчистовой калибр делается самостоятельным, не сопряжен-

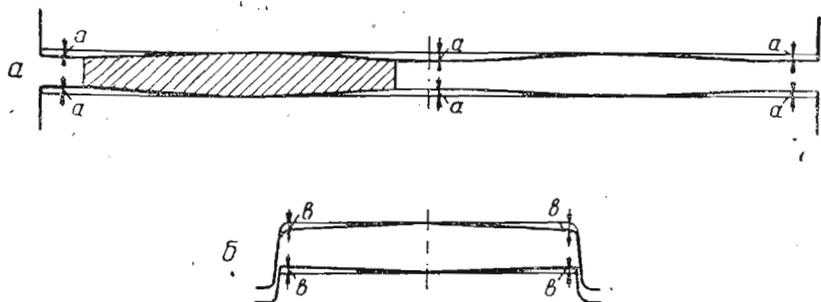


Рис. 28. Чистовой и предчистовой полосовые калибры с учетом износа:

— существующая конфигурация валков;  
 — предлагаемая конфигурация валков

ным. В этом случае конфигурация верхнего и среднего валков должна быть одинаковой, а изменение диаметров по ширине калибра и в том и в другом случае — постепенным.

В процессе работы сначала будут изнашиваться утолщения, расположенные по краям калибра, до тех пор, пока дно калибра не приобретет прямолинейной формы, а затем края калибра начнут углубляться. Таким образом, сравнительно небольшое изменение профиля калибра должно способствовать значительному увеличению стойкости валков и повышению точности проката.

Изменение конфигурации предчистового калибра позволит увеличить стойкость и чистового калибра за счет уменьшения деформации по краям полосы в чистовом проходе.

По аналогии с предчистовым калибром в таком же направлении целесообразно изменить конфигурацию и предшествующих калибров, что даст общее повышение стойкости валков при прокатке полос.

## ГЛАВА III

### ИЗНОС КАЛИБРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ УГЛОВОЙ СТАЛИ

#### 1. СКОЛЬЖЕНИЕ МЕТАЛЛА В УГЛОВОМ КАЛИБРЕ

Характер и величину скольжения прокатываемого металла в угловом калибре мы определяли замером опережения и вычислением коэффициента вытяжки при прокатке угловой стали  $90 \times 90 \times 10$  мм на стане «550».

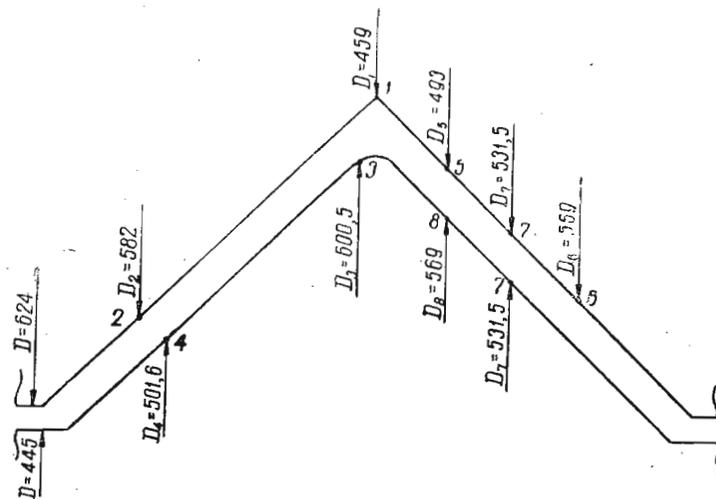


Рис. 29. Угловой чистовой калибр

Опережение определялось керновым методом. Чтобы не вызвать брака, верхний чистовой валок накернивался в калибре перед перевалкой, после чего прокатывались две — три полосы для получения на них керновых отпечатков.

Размеры чистового углового калибра видны на рис. 29.

После прокатки угловые полосы резались на мерные длины и поступали на стеллажи для охлаждения. Остывшие угловые полосы очищались от окалины и на них замерялись расстояния ме-

жду керновыми отпечатками. Было сделано 54 замера расстояний между отпечатками на наружной поверхности угловой стали.

Среднее из всех замеров расстояние между отпечатками оказалось равным  $L_{cp} = 1770$  мм. Мера изменчивости измерений  $v = 0,27\%$ .

Колебания величины опережения объясняются различной температурой раската по его длине.

Определив расстояние между керновыми отпечатками на горячей полосе по формуле:

$$L_r = L_{cp} (1 + \alpha t), \quad (32)$$

можно установить величину опережения металла в различных частях калибра.

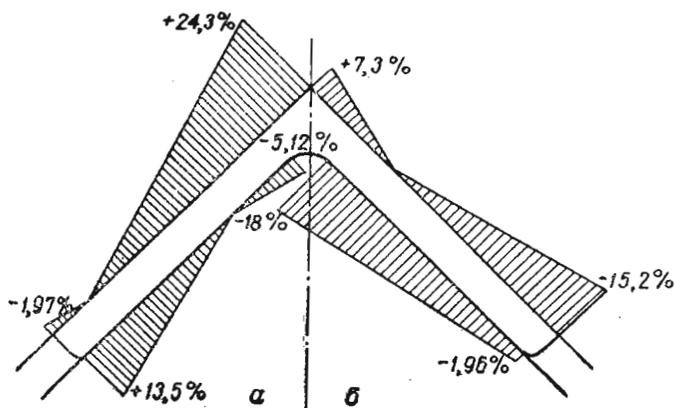


Рис. 30. Распределение скольжения металла по угловому калибру

Оказалось (рис. 30, а), что со стороны выхода металла из валков одни части профиля выходят с опережением, а другие — с отставанием. Поэтому имеются точки калибра, в которых скорость металла и валков одинакова.

В глубине ручья верхнего валка окружная скорость минимальная и металл выходит с максимальным опережением (24,3%). По мере увеличения диаметра валка увеличивается его окружная скорость и уменьшается величина опережения металла.

При диаметре

$$D = \frac{60v_h}{\pi n} \quad (33)$$

опережение  $S = 0$ , т. е. металл выходит из валков со скоростью, равной окружной скорости валка.

Скорость выхода полосы из валков  $v_h$  в выражении (33) может быть определена следующим образом:

$$v_h = v_i + S_i v_i, \quad (34)$$

где  $v_i$  — окружная скорость какой-либо точки калибра валка;  $S_i$  — опережение металла в соответствующем месте калибра.

При дальнейшем увеличении диаметра окружная скорость валка начинает превышать скорость выхода металла, т. е. металл выходит из валков с отставанием. Максимальное отставание металла по отношению к верхнему валку на краях профиля составляет около 2%. По отношению к нижнему валку найдено следующее опережение.

У края полки уголка, в месте, соответствующем минимальному диаметру валка и минимальной его окружной скорости, опережение максимальное (равно 13,5%). У вершины гребня нижнего валка металл выходит с отставанием в 5,12%.

С целью расчета соотношения скоростей со стороны входа металла в валки для различных точек калибра находим величину коэффициента вытяжки, как частное от деления задаваемой и выходящей площади поперечного сечения металла. Тогда отставание:

$$S' = \frac{v_i - v_H}{v_i} 100\%, \quad (35)$$

где  $v_i$  — окружная скорость валков в данной точке калибра;  $v_H$  — скорость задаваемого в валки металла.

На рис. 30, б изображена схема распределения скольжения по периметру углового калибра со стороны входа металла в валки. Как видно из схемы, в глубине ручья верхнего валка металл входит в валки с опережением; скорость металла на 7,3% больше окружной скорости валка в этой точке.

По мере увеличения диаметра окружная скорость валка приближается к скорости входа полосы в валки и в каком-то месте при диаметре

$$D = \frac{60v_H}{\pi n} \quad (36)$$

становится равной скорости входа полосы в валки.

При дальнейшем увеличении диаметра окружные скорости валка увеличиваются, что дает повышение величины отставания; на концах уголка отставание достигает 15,2%.

Скорости всех точек калибра нижнего валка больше скорости входа металла в валки. Отставание здесь колеблется в пределах от 2% (у края полки) до 18% (у вершины гребня).

Из полученных данных можно сделать заключение, что самое большое скольжение металла, а следовательно, и наибольшая

работа сил трения и максимальный износ калибра должны быть, в первую очередь, в тех местах калибра, где показатели скольжения однозначны со стороны входа и выхода. Этим местам калибра соответствуют вершины угловой стали на обоих валках и край полки на верхнем валке.

По мере прохождения металла через очаг деформации «нулевая» точка, соответствующая одинаковой скорости полосы и валка, перемещается по направлению от вершины к краям полок угловой стали. Вероятно, в области, ограниченной «нулевыми» точками со стороны входа и выхода, должно быть наименьшее скольжение металла, а следовательно, минимальная работа сил трения и наименьший износ калибра.

Как уже указывалось, износ калибров зависит не только от относительной величины скольжения, но и от величины абсолютного проскальзывания металла по валкам. Для определения последнего необходимо найти длину очага деформации для отдельных точек углового калибра. Для этой цели можно прибегнуть к методам В. Тринкса или А. А. Динника либо воспользоваться аналитическим решением.

Графическим методом В. Тринкса определяется проекция поверхности соприкосновения металла с валком в очаге деформации. Для определения длины очага деформации в различных точках калибра последний вместе с прокатываемым профилем вычерчивается в трех проекциях и путем нанесения линий пересечения валка с профилем задаваемого металла определяются длины очага деформации в нужных точках. Недостатком графического способа является некоторая его громоздкость, а также то, что искомые точки границы контактной поверхности в результате пересечения вспомогательных линий находятся под острым углом, что требует большой точности чертежа и является источником возможных ошибок.

Для подсчета контактной поверхности по графоаналитическому методу А. А. Динника на чертеже в большем масштабе наносится профиль калибра и поперечное сечение задаваемого профиля. Затем профиль калибра по вертикали делится на несколько равных сечений и для каждого из них графически, по масштабу, определяются катающий радиус валка  $R_n$  и величина обжатия  $\Delta h_n$ .

По катающему радиусу и обжатию аналитически определяют длины дуги захвата:

$$l_{d_n} = \sqrt{R_n \cdot \Delta h_n}. \quad (37)$$

По значениям  $l_{d_n}$ , с учетом уширения, графически строится контактная поверхность.

Пример графоаналитического расчета контактной поверхности при прокатке равнобокой угловой стали в чистовом калибре при-

веден на рис. 31. При расчете за начало очага деформации принят тот момент, когда полоса соприкасается с обоими валками одновременно. Другими словами, принимается, что полка угловой стали разгибается верхним валком вне очага деформации.

Длина очага деформации в различных сечениях калибра определяется отдельно для верхнего и нижнего валков. В дальнейшем принимаются средние значения для каждого сечения.

Дальнейшие расчеты сводились к вычислению работы сил трения в различных частях периметра калибра, так как представляло интерес сопоставление работы сил трения с износом калибра.

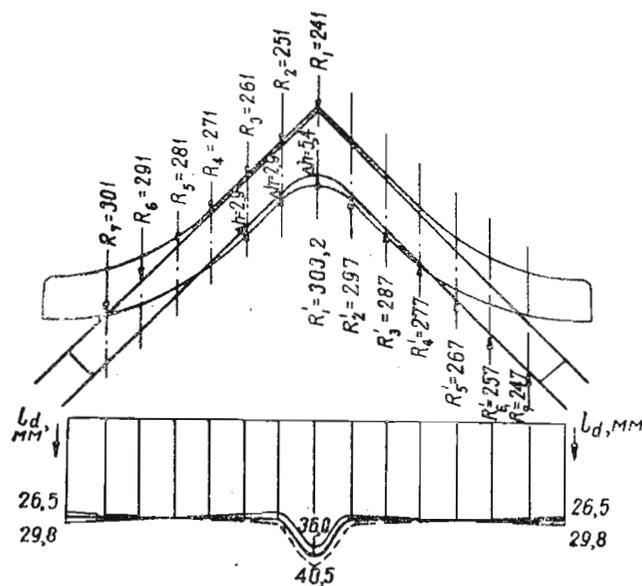


Рис. 31. Горизонтальная проекция контактной поверхности

Сказанное выше иллюстрируется следующим числовым примером.

Прокатывается угловая сталь  $90 \times 90 \times 10$  мм в чистовом калибре стана «550». Основные размеры калибра видны из рис. 29. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре  $\mu = 1,155$ .

Опережение определялось экспериментально керновым методом. Расстояние между керновыми отпечатками на холодной полосе равно в среднем 1770 мм.

Расстояние между отпечатками на горячей полосе

$$L_n = 1770 \cdot 1,013 = 1793 \text{ мм.}$$

Для точек 1—4 периметра калибра (см. рис. 29) определим длину окружности валка:

$$L_1 = \pi D_1 = 3,142 \cdot 459 = 1442 \text{ мм};$$

$$L_2 = 3,142 \cdot 582 = 1829 \text{ мм};$$

$$L_3 = 3,142 \cdot 600,5 = 1890 \text{ мм};$$

$$L_4 = 3,142 \cdot 501,6 = 1580 \text{ мм}.$$

Опережения для тех же точек:

$$S_1 = \frac{1793 - 1442}{1442} \cdot 100 = 24,3\%;$$

$$S_2 = \frac{1793 - 1829}{1829} \cdot 100 = -1,97\%;$$

$$S_3 = \frac{1793 - 1890}{1890} \cdot 100 = -5,12\%;$$

$$S_4 = \frac{1793 - 1580}{1580} \cdot 100 = 13,5\%.$$

Окружные скорости точек калибра:

$$v_1 = \frac{\pi D n}{60} = \frac{3,142 \cdot 0,459 \cdot 97}{60} = 2,33 \text{ м/сек};$$

$$v_2 = \frac{3,142 \cdot 0,582 \cdot 97}{60} = 2,95 \text{ м/сек};$$

$$v_3 = \frac{3,142 \cdot 0,601 \cdot 97}{60} = 3,05 \text{ м/сек};$$

$$v_4 = \frac{3,142 \cdot 0,502 \cdot 97}{60} = 2,55 \text{ м/сек}.$$

Скорость выхода металла из валков:

$$v_n = v_1 + S_1 \cdot v_1 = 2,33 + 0,243 \cdot 2,33 = 2,89 \text{ м/сек}.$$

Скольжение равно нулю со стороны выхода металла из валков при диаметре:

$$D = \frac{60 \cdot 2,89}{3,142 \cdot 97} = 0,569 \text{ м} = 569 \text{ мм}.$$

Скорость входа металла в валки:

$$v_H = \frac{2,89}{1,155} = 2,5 \text{ м/сек}.$$

Скольжение металла со стороны входа в валки:

$$S'_1 = \frac{2,33 - 2,5}{2,33} \cdot 100 = -7,3\%;$$

$$S'_2 = \frac{2,95 - 2,5}{2,95} \cdot 100 = 15,2\%;$$

$$S'_3 = \frac{3,05 - 2,5}{3,05} \cdot 100 = 18,0\%;$$

$$S'_4 = \frac{2,55 - 2,5}{2,55} \cdot 100 = 1,96\%.$$

Во избежание путаницы на схемах (см. рис. 30, а и б) положительным знаком обозначено опережение, отрицательным — отставание металла.

Скольжение со стороны входа металла в валки равно нулю при диаметре:

$$D = \frac{60 \cdot 2,5}{3,142 \cdot 97} = 0,493 \text{ м} = 493 \text{ мм}.$$

На основании полученных данных на рис. 30, а построена схема распределения скоростей по периметру калибра со стороны выхода металла из валков и на рис. 30, б — схема распределения скоростей по периметру углового калибра со стороны входа металла в валки.

Определение длины очага деформации в различных сечениях чистового углового калибра  $90 \times 90 \times 10$  произведено графическим методом В. Тринкса и графоаналитическим методом А. А. Динника. Результаты определения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Точки периметра калибра	Вычисленная длина очага деформации, мм	
	по графическому методу	по графоаналитическому методу
1	36	38
2	24	28
3	25,5	28
4	24	28

Принимаем, что работа сил трения пропорциональна площади заштрихованных участков (рис. 32), которые равны:

$$F_1 = \frac{(2500 - 2330) + (2890 - 2330)}{2} \cdot 38 = 13850 \text{ мм}^2/\text{сек};$$

$$F_2 = \frac{(2950 - 2500) + (2950 - 2890)}{2} \cdot 28 = 7150 \text{ мм}^2/\text{сек};$$

$$F_3 = \frac{(3050 - 2500) + (3050 - 2890)}{2} \cdot 28 = 9960 \text{ мм}^2/\text{сек};$$

$$l_{S'} = \frac{(2550 - 2500) \cdot 28}{(2550 - 2500) + (2890 - 2550)} = 3,6 \text{ мм};$$

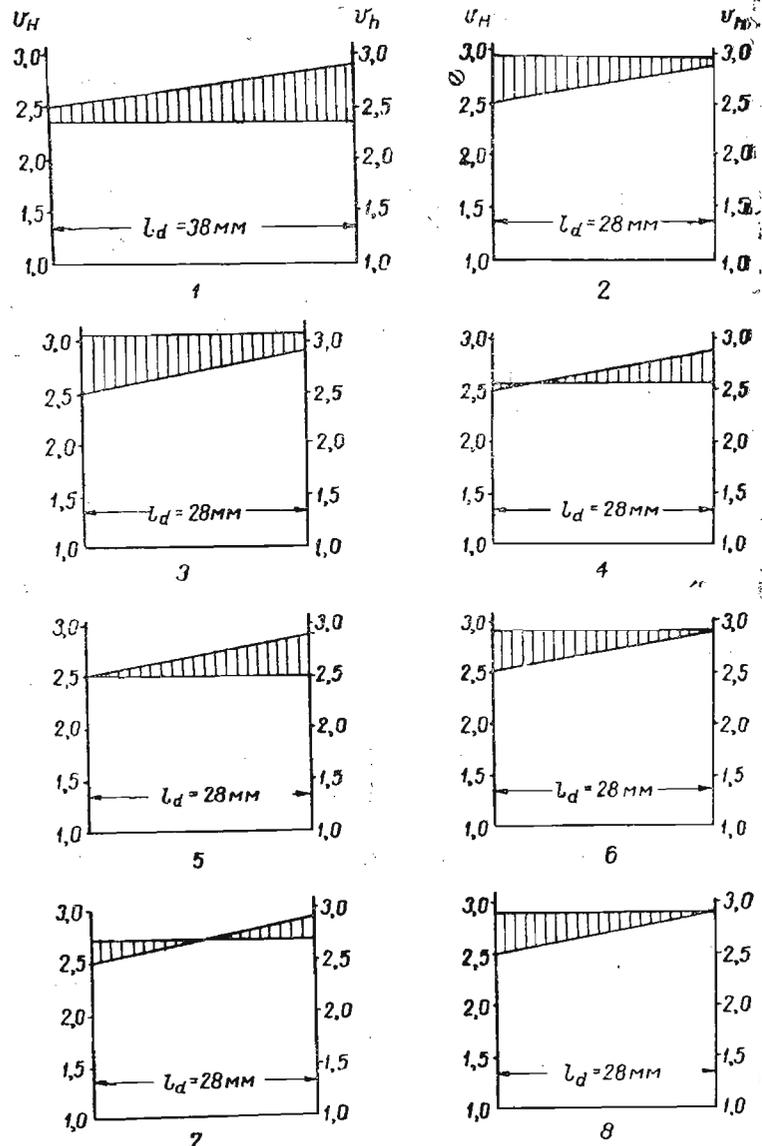


Рис. 32. Скорости скольжения в различных точках углового калибра

$$l_s = 28 - 3,6 = 24,4 \text{ мм};$$

$$F_4 = \frac{2550 - 2500}{2} \cdot 3,6 + \frac{2890 - 2550}{2} \cdot 24,4 = 4240 \text{ мм}^2/\text{сек.}$$

Ввиду равенства длин очага деформации, «нулевых» точек и постоянной разности скоростей выхода и входа металла площади анитрихованных участков для всех трех «нулевых» точек будут одинаковыми и равными:

$$F_0 = \frac{2890 - 2500}{2} \cdot 28 = 5460 \text{ мм}^2/\text{сек.}$$

Посредине между «нулевыми» точками можно предположить наличие минимума величины скольжения.

Проверим это предположение.

Диаметр середины области минимального скольжения возьмем средним между диаметрами «нулевых» точек:

$$D_{\text{мин}} = \frac{D_{0 \text{ вх}} + D_{0 \text{ вых}}}{2} = \frac{493 + 570}{2} = 531,5 \text{ мм.}$$

Скорость рассматриваемой точки:

$$v_{\text{мин}} = \frac{3,14 \cdot 531,5 \cdot 97}{60} = 2695 \text{ мм/сек.}$$

Длина зоны отставания

$$l_{s'} = \frac{(2695 - 2500) \cdot 28}{(2695 - 2500) + (2890 - 2695)} = 14 \text{ мм.}$$

Длина зоны опережения

$$l_s = 28 - 14 = 14 \text{ мм.}$$

Площадь диаграммы в данном случае будет равна:

$$F_{\text{мин}} = \frac{2695 - 2500}{2} \cdot 14 + \frac{2890 - 2695}{2} \cdot 14 = 2730 \text{ мм}^2/\text{сек.}$$

На основании произведенного расчета можно построить схему распределения работы сил трения по периметру чистового калибра при прокатке угловой стали  $90 \times 90 \times 10 \text{ мм}$ .

Принимая, что величина износа пропорциональна работе сил трения, построенная схема (рис. 33) может служить предположительной схемой износа углового калибра при воздействии на него только одного фактора — скольжения прокатываемого металла в очаге деформации.

Из рис. 33 видно, что износ калибра в результате скольжения металла не может быть равномерным из-за неравномерного распределения работы сил трения по периметру калибра.

Максимального износа калибра следует ожидать в глубине рунья верхнего валка, по гребню нижнего валка и у края полки

уголка по верхнему валку. Минимальный износ калибра возможен на расстоянии, примерно, двух третей ширины полки, считая от вершины уголка.

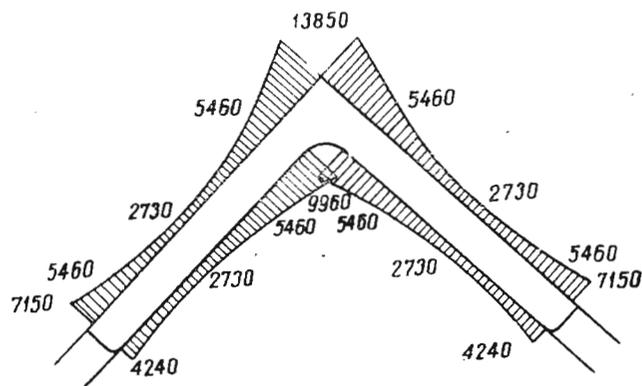


Рис. 33. Эпюра распределения работы сил трения по периметру углового калибра

## 2. ТВЕРДОСТЬ ВАЛКОВ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ

Для прокатки угловой стали в чистовой клети стана «550» применялись обычные низколегированные валки и грубопрофилированные валки с литыми калибрами. Твердость поверхности калибров измерялась в четырех точках (1, 2, 3 и 4 на рис. 29) твердомером Польдигютте. Для проверки химического состава и сопоставления его с твердостью от валков отобрана стружка для анализа. Стружка отбиралась во время переточек валков от поверхности и из глубины калибра и определялось содержание в ней связанного углерода. Твердость валков в зависимости от связанного углерода определялась по методике А. Е. Кривошеева. Сопоставление показало хорошую сходимость данных твердости, полученных по замерам и химическому составу.

На основании замеров твердости и паспортных данных о работе чистовых валков построен график (рис. 34) зависимости стойкости валков от их твердости.

По оси абсцисс показана твердость валков в единицах  $H_{от}$  в наиболее мягких частях калибров, а по оси ординат — количество металла, прокатанного в одном калибре за одну постановку валка в клеть.

Из рис. 34 видно, что в валках с минимальной твердостью 34—42  $H_{от}$  в одном калибре прокатывается от 300 до 600 т металла. Максимальная твердость валков в этом случае колеблется от 36 до 60  $H_{от}$ .

При повышении минимальной твердости калибров до 60—63  $H_{от}$  стойкость валков увеличивается до 700—900 т металла на

один калибр. Максимальная твердость в этом случае составляет 66—68  $H_{от}$ .

Таким образом, чем больше твердость глубоко врезанных частей калибра и чем меньше разница между твердостью поверхности бочки валка и твердостью глубоко врезанной части калибра, тем выше стойкость валков против износа. Следовательно, чем равномернее твердость металла по периметру калибра, тем выше его стойкость и тем больше возможностей для устранения неравномерного износа калибров из-за технологических факторов прокатки (скольжение, температура, обжатие).

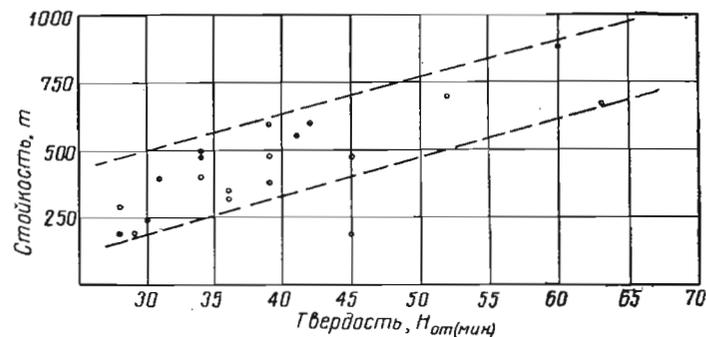


Рис. 34. Зависимость выпуска угловой стали от твердости валков

## 3. ТЕМПЕРАТУРА ПРОКАТЫВАЕМОЙ УГЛОВОЙ СТАЛИ

Температура замерялась в различных точках периметра при прокатке трех профилеразмеров угловой стали: равнобокой  $100 \times 100 \times 10$  и  $90 \times 90 \times 10$  мм и неравнобокой  $120 \times 80 \times 8$  мм. Измерялась температура при установившемся ритме прокатки на рабочем ролганге перед задачей в чистовую клеть. По замерам определялся перепад температур между краем полки и вершиной угловой стали. На каждой полосе температура измерялась в какой либо одной точке. Точки замера чередовались на последовательно идущих полосах. Так как наблюдения велись при установившемся ритме прокатки, то это обеспечило минимальную разницу температур нагрева соседних заготовок в нагревательной печи и одинаковые тепловые потери во время прокатки.

При прокатке угловой стали  $90 \times 90 \times 10$  мм измерена температура 80 идущих подряд полос, при прокатке угловой стали  $100 \times 100 \times 10$  мм — 60 полос и при прокатке неравнобокой угловой стали — 84 полосы. При прокатке неравнобокой угловой стали в чистовой клети стана «550» широкая полка расположена со стороны прокатного поля. Ввиду этого температуры измерялись только на узкой полке. Перепад температур между вершиной и краями полки угловой стали определялся как разность средних значений соответствующих температур. Перепад получился рав-

ным: для угловой стали  $90 \times 90 \times 10$  мм —  $22,6^\circ$ ,  $100 \times 100 \times 10$  мм —  $29,7^\circ$  и  $120 \times 80 \times 8$  мм —  $30^\circ$ .

При прокатке полос одинаковой толщины края более широких полос охлаждаются интенсивнее. При прокатке полос разной толщины более интенсивно охлаждаются края тонких полос. Во всех трех случаях края значительно холоднее середины (вершины угловой стали). В связи с пониженной температурой краев износ калибра должен быть более интенсивным на концах. Расчет средних удельных давлений показывает значительное увеличение их на краях полосы.

Таким образом, вследствие неравномерной температуры по сечению угловой стали более усиленный износ калибра получается в местах, соответствующих краям полок.

#### 4. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА В УГЛОВОМ КАЛИБРЕ

Калибровки для прокатки угловых профилей на стане «550» построены, исходя из условий соблюдения максимально возможной равномерности деформации отдельных элементов прокатываемого профиля. На рис. 35 показаны коэффициенты деформации при прокатке равнобокой угловой стали  $100 \times 100 \times 10$  мм в чистовом калибре.

Толщина полок предчистового калибра одинакова по всей ширине и увеличивается только в месте их встречи, так как угол встречи внутренних поверхностей полок скруглен радиусом  $R_{пр} = 14$  мм. Толщина полок чистового калибра также одинакова при радиусе внутреннего закругления  $R_{чист} = 9$  мм. В результате при прокатке в чистовом калибре обжатия по всей ширине калибра, за исключением района, прилегающего к вершине углового калибра, одинаковы (кривая 1 на рис. 35). Ввиду разных радиусов закругления гребней предчистового и чистового валков в районе вершины профиля наблюдается увеличение обжатий, показанное куполом на кривой 1.

В процессе работы чистовой и предчистовой калибры изнашиваются, причем последний изнашивается значительно больше. В результате изменения конфигурации калибров происходит перераспределение обжатий. Вследствие малого износа калибров в вершине угла и по гребню, обжатия в сечении I изменяются незначительно. В сечениях II и III износ валков больше; поэтому обжатия увеличились больше, чем в сечении I, образовав максимум. В следующих сечениях износ и обжатия уменьшаются, а затем увеличиваются и достигают максимальных значений  $\frac{H}{h} = 1,68$  в районе сечений X и XI. Кривые 2 и 3 показывают изменение обжатий по ширине калибра в процессе работы.

Из рис. 35 видно, что по мере износа калибров устраняется первоначальная местная неравномерность деформации за счет уве-

личения обжатий полок, а затем начинается рост обжатий, вызывающий еще большее увеличение износа чистового калибра по краям полок. Получающаяся в результате износа предчистового калибра неравномерность деформации в чистовом калибре способствует увеличению износа его.

Выше рассмотрены факторы, влияющие на износ угловых калибров, и хотя количественное влияние каждого из них на величину износа калибров установить сейчас невозможно, однако с

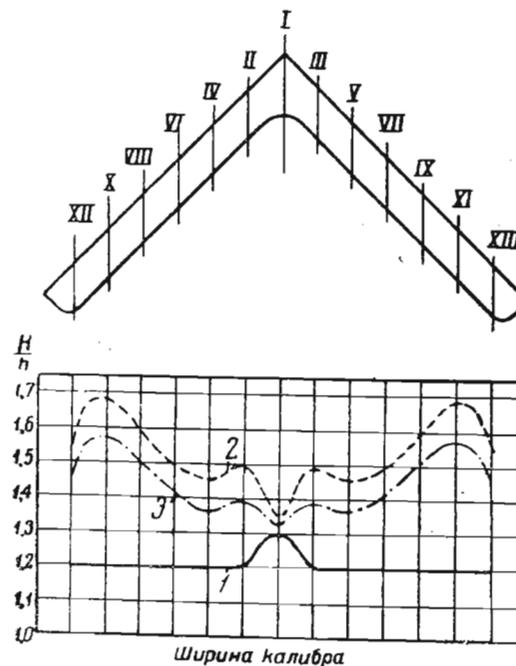


Рис. 35. Неравномерность деформации при прокатке угловой стали

качественной стороны влияние этих факторов на характер износа не представляет сомнений.

Действительно, наблюдаемый износ калибров является следствием одновременного и совокупного влияния всех факторов прокатки. На износ калибров влияют также степень и характер охлаждения их водой, та или иная установка проводковой арматуры, наличие окалины на поверхности прокатываемого металла и др. Влияние этих факторов на износ калибров не рассматривалось, так как они являются второстепенными и не столь существенно влияющими на износ угловых калибров.

## 5. ДАННЫЕ ПО ИЗНОСУ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ

В литературе совершенно отсутствуют данные по износу валков при прокатке угловой стали, за исключением замечаний П. Александрова [1], что износ калибров при прокатке угловой стали приводит к незначительному увеличению ширины полок.

С точки зрения повышения точности прокатки и стойкости валков увеличение ширины полок при прокатке угловой стали является второстепенным фактором, так как, во-первых, быстрее всего изнашивается полотно валков, соответствующее толщине полки углового калибра; во-вторых, допуски по толщине полок значительно меньше допусков по ширине полок угловой стали. Кроме того, относительная величина площадей односторонних допусков по толщине полки<sup>1</sup> в несколько раз превосходит площади односторонних допусков по ширине полки. Отсюда следует, что изучение износа в первую очередь необходимо вести в тех местах калибра, которые влияют на толщину полок угловой стали.

Замер износа угловых калибров производился при прокатке равнобокой ( $100 \times 100 \times 8 \div 12$ ,  $90 \times 90 \times 8 \div 12$  мм) и неравнобокой ( $120 \times 80 \times 8 \div 12$  мм) угловой стали из заготовки  $150 \times 150 \times 1150$  и  $140 \times 128 \times 2300$  мм на стане «550» за 11—13 проходов, которые по клетям распределены следующим образом: обжимная клеть — 4—6; черновая — 4; предчистовая — 2; чистовая — 1.

На валках предчистовой клетки трио для прокатки равнобокой угловой стали выточены четыре предчистовых калибра: по одному для прокатки угловой стали с конечной толщиной полок 8 и 12 мм и два калибра для конечной толщины полок 10 мм. Калибровка предусматривает одинаковые абсолютные обжатия во всех предчистовых калибрах. Коэффициент вытяжки в предчистовых калибрах колеблется в пределах 1,3—1,6.

Валки предчистовой клетки для прокатки неравнобокой угловой стали имеют три предчистовых калибра — два для прокатки угловой стали с конечной толщиной полок 8—10 мм и один для конечной толщины полок 10—12 мм. Таким образом, при прокатке угловой стали с толщиной полок 10 мм в чистовую клеть может поступать раскат из любого предчистового калибра.

Все предчистовые калибры имеют развернутую форму и состоят из прямолинейных участков полок, переходящих в криволинейные, описанные радиусом из одной конструктивной точки для каждой полки. Радиусы отличаются на величину толщины полки. Прямолинейные участки наружных поверхностей полок сходятся у вершины под углом в  $90^\circ$ . Внутренние поверхности полок соединяются при помощи закругления радиусом, на 3—5 мм большим соответствующего радиуса чистового калибра. Конусность боковых стенок калибров — от 3,5 до 5%.

<sup>1</sup> По данным В. А. Кошкина.

В валках чистовой клетки дуо для прокатки равнобокой или неравнобокой угловой стали выточены три чистовых калибра. Боковых стенок калибры не имеют; они рассчитаны на прокатку угловой стали с полками толщиной 8, 10 и 12 мм без ограничения уширения. Переход на прокатку угловой стали с полками другой толщины осуществляется изменением зазора между валками. Калибровка рассчитана таким образом, что обжатие полок по всей ширине калибра, за исключением района вершины углового калибра, одинаковое. В вершине углового калибра обжатие максимальное (в результате различных внутренних радиусов чистового и предчистового профиля), постепенно снижающееся до величины обжатия полок (см. рис. 35). Коэффициент вытяжки в чистовых калибрах изменяется от 1,10 до 1,16. Наблюдения за износом чистовых и предчистовых угловых калибров проводились над валками, прокатывавшими угловую сталь  $100 \times 100 \times 8 \div 12$ ,  $90 \times 90 \times 8 \div 12$ ,  $120 \times 80 \times 8 \div 12$ ,  $75 \times 75 \times 8 \div 10$  и  $65 \times 65 \times 8 \div 10$  мм.

Неравномерность износа калибров определялась путем замера щупом зазора между валком и наложенным на ручей шаблоном. Для замеров неравномерности износа использовались заводские шаблоны, представляющие собой сечение профиля в соответствующем проходе.

Для определения абсолютного износа угловых калибров были изготовлены специальные составные шаблоны (рис. 36) двух типов: первый для валков с врезанными ручьями (рис. 36, а), второй — для валков с гребнями (рис. 36, б). В теле шаблона имеются пазы, вдоль которых передвигаются установочные планки, которые могут быть укреплены на шаблоне при помощи винтов с гайками. Рабочие части составных шаблонов подгонялись по действующим заводским контр шаблонам.

Абсолютный износ определялся следующим образом. Перед накладкой валка в клеть в ручье, износ которого исследуется, плотно устанавливается соответствующий шаблон первого типа. При помощи винтов и гаек установочная планка закрепляется таким образом, чтобы ее нижние ребра как можно плотнее лежали на буртах валка.

На валках с гребнями (например, чистовой нижний валок) шаблон устанавливается на гребень, а передвижные планки опускаются вниз до соприкосновения с телом валка и закрепляются.

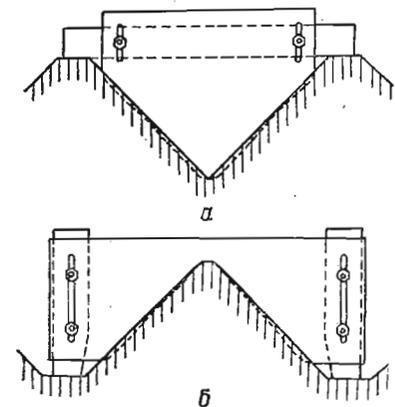


Рис. 36. Составные шаблоны для замера абсолютного износа угловых калибров

Во время предварительной установки шаблонов проверялась правильность расточки калибров. В случае отклонений от чертежных размеров все отступления фиксировались.

На шаблонах и в протоколе наблюдения отмечались: дата установки шаблона, номер валка, номер калибра и место расположения шаблона на валке.

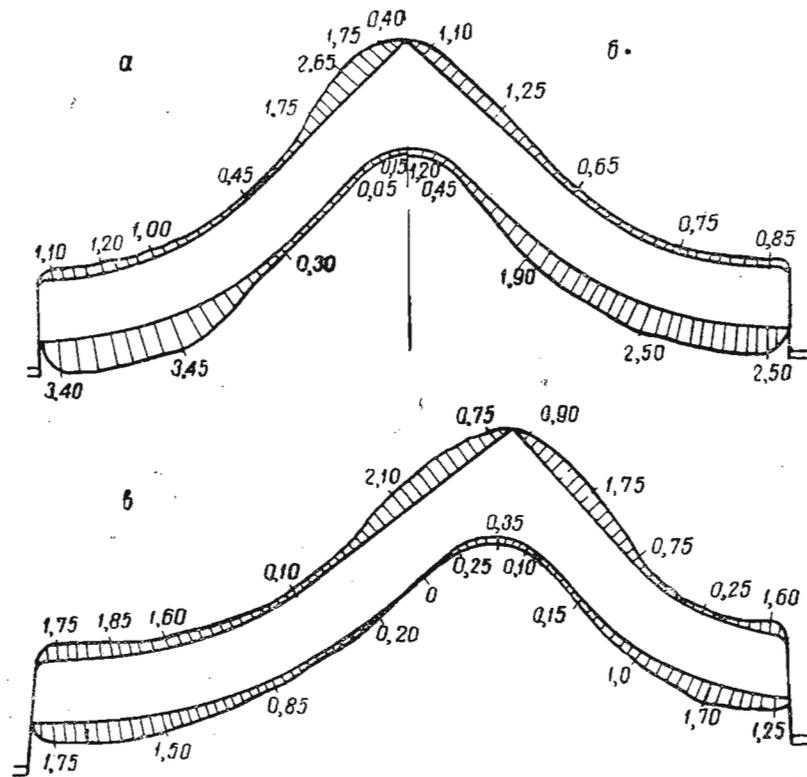


Рис. 37. Износ предчистовых калибров для прокатки равнобокой (а, б) и неравнобокой (в) угловой стали

После работы и износа калибров валки вынимались из клетки и шаблоны устанавливались на место предварительной установки. При помощи шупа замерялся зазор между валком и шаблоном. Износ измерялся в 21 точке периметра калибра. Точки замера износа были строго определены и распределены по периметру калибра равномерно. Если минимальный или максимальный износ находился где-нибудь между постоянными точками замера, это особо отмечалось на эскизе.

Наблюдения велись за работой 15 предчистовых и 66 чистовых калибров. Во всех случаях характер износа предчистовых калиб-

ров одинаков, поэтому можно ограничиться рассмотрением износа только трех предчистовых калибров.

На рис. 37, а изображен износ предчистового калибра валков № 195 после прокатки 820 т равнобокой угловой стали. Правая половина калибра изнасилась симметрично.

Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна. Твердость в месте, соответствующем краю полки, равна  $39 H_{от}$ , а в глубине ручья —  $34 H_{от}$ . Средний валок — стальной, твердостью  $36 H_{от}$  на вершине гребня и  $24 H_{от}$  — в месте, соответствующем краю полки профиля.

Химический анализ валков: верхнего — 3,19% С; 1,05% Si; 0,61% Mn; 0,29% P; 0,05% S; 0,65% Cr и 0,88% Ni; среднего — 0,41% С; 0,24% Si; 0,62% Mn; 0,042% P; 0,043% S.

Из рис. 37, а видно, что верхний валок наиболее сильно изнашивается в глубине ручья (2,65 мм), что можно объяснить максимальным скольжением прокатываемого металла в очаге деформации и минимальной твердостью металла валка в данной части калибра. Несколько меньший износ наблюдается у краев полок (1,20 мм). Здесь сказалось влияние большого скольжения металла и более охлажденных, по сравнению с вершиной угловой стали, краев полок. Место наименьшего износа находится примерно по середине ширины полки.

Средний валок наиболее сильно изнашивается в местах, соответствующих краям полок, чему особенно способствуют минимальная твердость металла валка в данной части калибра и охлажденные края полок профиля.

Максимальный суммарный износ предчистового калибра, достигающий 4,6 мм, находится в местах, соответствующих краям полок профиля.

На рис. 37, б изображен износ предчистового калибра валков № 65 после прокатки 472 т равнобокой угловой стали.

Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна. Твердость края полки —  $36 H_{от}$ , а в глубине ручья —  $37 H_{от}$ . Средний валок — стальной, твердость вершины гребня  $37 H_{от}$ , а края полки —  $31 H_{от}$ .

Валки имеют следующий химический состав: верхний — 3,21% С; 0,75% Si; 0,48% Mn; 0,30% P; 0,06% S; 0,58% Cr и 0,72% Ni; средний — 0,50% С; 0,22% Si; 0,67% Mn; 0,027% P и 0,04% S.

Эти валки отличаются от рассмотренных ранее только несколько большей величиной минимального износа и, в связи с этим, более равномерным распределением его по периметру калибра. Объяснить это можно меньшим перепадом твердости металла валков.

На рис. 37, в показан износ предчистового калибра валков № 8 после прокатки 442 т неравнобокой угловой стали.

Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна. Твердость края полки  $36 H_{от}$ , а в глубине ручья —  $31 H_{от}$ . Средний ва-

лок — из литой стали. Твердость вершины гребня 38, а края полки — 33  $H_{\tau}$ .

Валки имеют такой химический состав: верхний — 2,98% С; 1,64% Si; 0,65% Mn; 0,28% P; 0,06% S; 0,85% Ni; 0,68% Cr; средний — 0,52% С; 0,26% Si; 0,88% Mn; 0,037% P и 0,033% S.

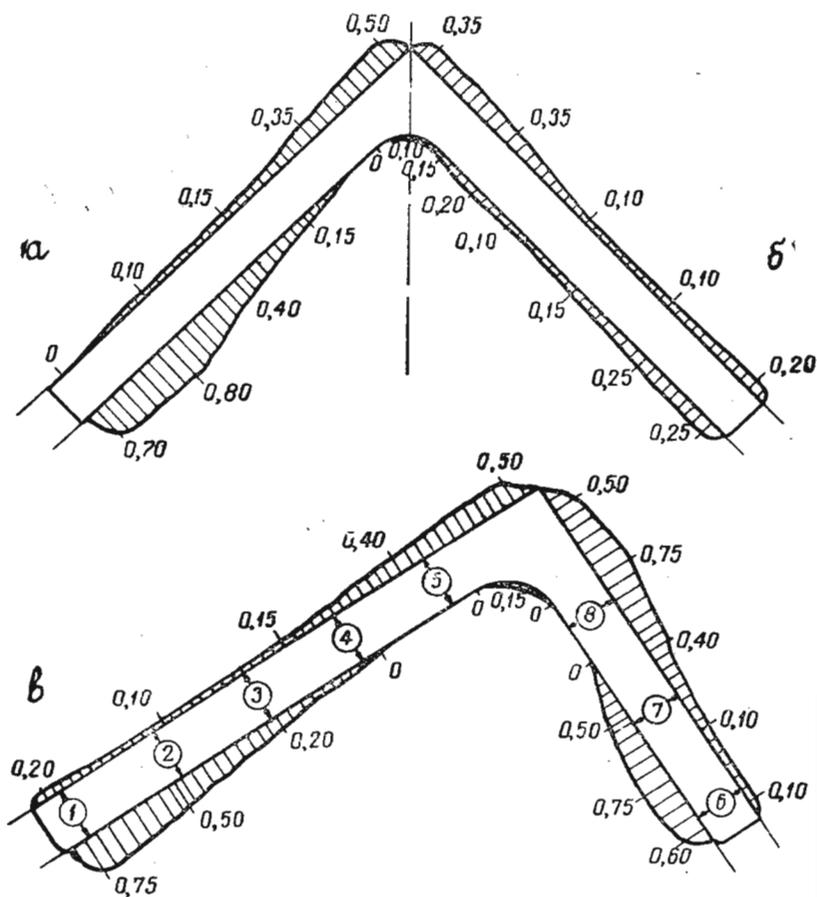


Рис. 38. Износ чистовых калибров для прокатки равнобокой и неравнобокой угловой стали

Из рис. 37, в видно, что износ предчистовых калибров для прокатки неравнобокой угловой стали такого же характера, как и износ предчистовых калибров для прокатки равнобокой угловой стали.

Износ чистового калибра валков № 116 после прокатки 455 т равнобокой угловой стали изображен на рис. 38, а.

Оба валка изготовлены обточкой чугуновых отбеленных валков, отлитых с гладкой бочкой. Слой отбела верхнего валка — 10 мм,

нижнего — 20 мм. Валки работали после III переточки (диаметры на 10 мм меньше начальных и на 5 мм больше чертежных). Твердость верхнего валка у края полки 52, а в глубине ручья — 34  $H_{\tau}$ . Твердость нижнего валка по гребню — 51, а у края полки — 36  $H_{\tau}$ .

Рассматриваемые валки имеют такой химический состав: верхний валок — 3,17% С; 0,48% Si; 0,40% Mn; 0,47% P и 0,06% S; нижний валок — 3,24% С; 0,61% Si; 0,43% Mn; 0,48% P и 0,04% S.

По мере углубления калибра внутрь валка уменьшается содержание в металле белой составляющей, а также снижаются его твердость и износостойкость. На износ калибра в данном случае преобладающее влияние оказало качество металла валков. Износ почти прямолинейно возрастает по мере удаления от поверхностного слоя чистого отбела и в наиболее глубоких частях калибра достигает 0,5—0,8 мм.

На рис. 38, б изображен абсолютный износ чистового калибра валков № 160 после прокатки 556 т равнобокой угловой стали.

Оба валка отлиты из чугуна в формы с грубо профилированными калибрами. Глубина отбела у обоих валков — по 20 мм. Верхний валок перетачивался пять раз. Диаметр его на 10 мм меньше начального и на 17 мм меньше чертежного. Нижний валок — новый. Твердость верхнего валка у края полки 54, а в глубине ручья — 44  $H_{\tau}$ . Твердость нижнего валка по гребню 52, у края полки — 50  $H_{\tau}$ .

Валки имеют следующий химический состав: верхний — 3,47% С; 0,54% Si; 0,57% Mn; 0,45% P; 0,11% S; нижний — 3,31% С; 0,43% Si; 0,42% Mn; 0,43% P и 0,11% S.

Большой перепад твердости по периметру ручья и максимальное скольжение металла в очаге деформации обусловили наиболее сильный износ верхнего валка в глубине калибра. Рассматриваемый валок в глубине ручья изнашивался меньше, несмотря на то, что прокатал больше металла, чем предыдущий, что объясняется большей твердостью валка в глубине ручья. Валок по краю полки изнашивался несколько меньше, и минимальный износ верхнего валка находится от края полки на расстоянии, примерно, одной трети ее ширины.

На износ нижнего валка влияют температура конца полки и распределение твердости валка по калибру. Максимальный износ его, как и в предыдущем случае, происходит у края полки профиля. Вследствие большей твердости валков износ здесь в три раза меньше, чем в предыдущем случае, несмотря на большее количество прокатанного в калибре металла. Место минимального износа нижнего валка находится на расстоянии одной трети ширины полки от угла профиля.

Наиболее равномерно изнашиваются валки с литыми отбеленными калибрами.

На рис. 38, в показан износ чистового калибра валков № 24 при прокатке неравнобокой угловой стали. Верхний валок прока-

тал 330 т, нижний — 220 т металла. Верхний валок перетачивался шесть раз, в результате чего его диаметр на 23 мм меньше чертежного. Нижний валок — новый.

Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна. Твердость его у края полки 43, а в глубине ручья — 35 Н<sub>от</sub>. Нижний валок изготовлен из отбеленного чугуна с глубиной отбела 20 мм. Твердость гребня нижнего валка 50, а у края полки — 31 Н<sub>от</sub>.

Химический состав валков: верхнего — 2,86% С; 1,36% Si; 0,70% Mn; 0,24% P; 0,06% S; 0,77% Cr и 1,07% Ni; нижнего — 3,03% С; 0,51% Si; 0,41% Mn; 0,49% P и 0,05% S.

Из схемы, приведенной на рис. 38, видно, что износ чистовых калибров для прокатки неравнобокой и равнобокой угловой стали носит одинаковый характер.

На основании рассмотренных схем износа чистовых и предчистовых калибров можно сделать вывод, что суммарный износ углового калибра получается максимальным у концов полков. Несколько в меньшей степени, но все же довольно значительно изнашиваются калибры у вершины. Меньше всего калибры изнашиваются посредине ширины полки.

Для уяснения картины увеличения износа калибра во времени через каждые 10—15 минут работы стана в течение 4—5 часов производились обмеры темплетов. Замерялась толщина полков в нескольких точках, для каждой полки определялась разность между толщиной в каждой точке замера и минимальной толщиной (этим устранялось влияние периодической настройки чистовой клетки в процессе работы).

Разность в точке минимальной толщины принималась равной нулю.

По разности толщин полков в каждый момент строились графики «относительный износ точки калибра во времени».

Наблюдения наглядно показали тенденцию роста толщины краев полков в результате износа калибра. Наиболее неравномерный износ наблюдался на короткой полке неравнобокого углового профиля.

## 6. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ С УЧЕТОМ ИЗНОСА УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ

Для уменьшения износа угловых калибров целесообразно несколько изменить их конфигурацию в соответствии с приведенными выше данными об их износе.

Чтобы увеличить срок службы чистового калибра (рис. 39), можно рекомендовать увеличение диаметра нижнего валка, начиная от середины ширины до края полки включительно, и верхнего — от середины до вершины углового калибра — на величину примерно до двойного отрицательного допуска по толщине полки.

Уменьшения износа чистового верхнего валка в глубине ручья можно достигнуть изменением радиусов закруглений предчистово-

го калибра. При уменьшении радиусов закруглений на 2—3 мм по сравнению с существующими в последних двух калибрах уменьшатся обжатия в районе вершины профиля, а следовательно, и износ калибра в этом месте.

Для уменьшения износа краев полков чистового и предчистового калибров необходимо уменьшить толщину краев предчисто-

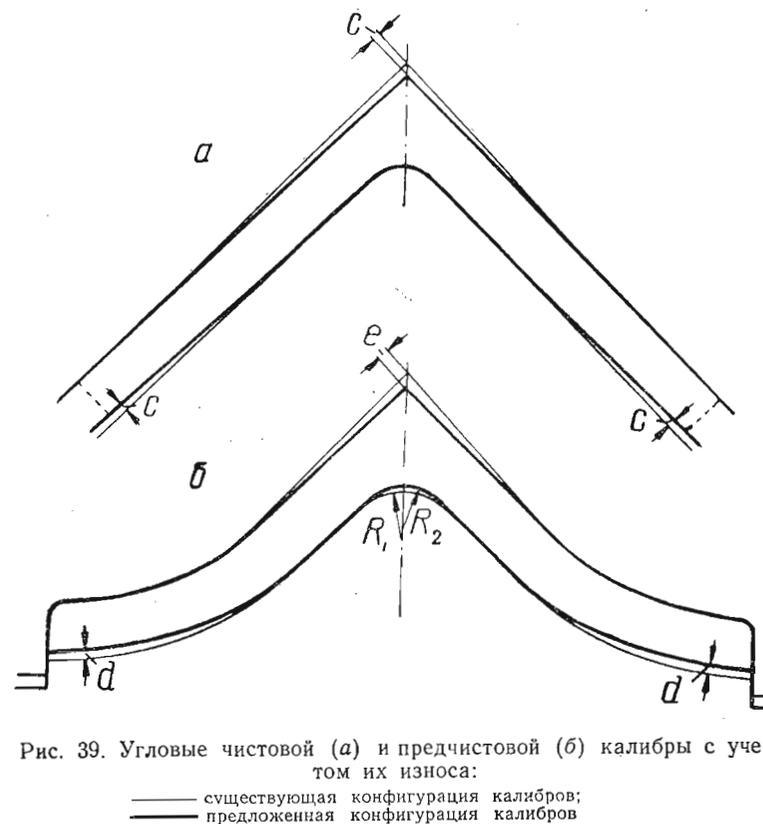


Рис. 39. Угловые чистовой (а) и предчистовой (б) калибры с учетом их износа:

— существующая конфигурация калибров;  
- - - предложенная конфигурация калибров

вого раската. С этой целью при построении калибра закругленные части полков следует строить теми же радиусами, но не из одной, а из разных конструктивных точек с таким расчетом, чтобы толщина края полки углового калибра была на 1,5—2,0 мм меньше толщины полки в начале закругления.

В процессе прокатки в первую очередь будут изнашиваться утолщения, затем калибр приобретет форму, подобную существующей в настоящее время, и затем уже начнется дальнейший неравномерный его износ. Аналогичные изменения можно рекомендовать для предчистового и предыдущих калибров с целью повышения стойкости валков и точности проката.

ИЗНОС ФЛАНЦЕВЫХ КАЛИБРОВ

1. ВЛИЯНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ИЗНОС

Влияние скольжения прокатываемого металла в очаге деформации на износ калибров исследовалось по методике, описанной в предыдущей главе.

а) Швеллерные калибры

Опережение определялось керновым методом при установившемся ритме прокатки на стане «550».

На рис. 40 представлена схема чистового калибра для прокатки швеллера с указанием размеров валков, на которых определялось опережение. Керновыми отметками на полосе служили идентичные отпечатки трафарета на шейке швеллера. Расстояние между отпечатками на полосе сравнивалось с длиной окружности валка по середине гребня (точка 1 на рис. 40). Во время наблюдений отбирались темплеты от чистового и предчистового раската. Для вычисления площади поперечного сечения раскатов обводки темплетов планиметрировались.

Зная расстояние между керновыми отпечатками на холодной полосе, можно определить расстояние между отпечатками и на горячей, опережение в данной точке калибра и скорость выхода полосы из валков  $v_h$ .

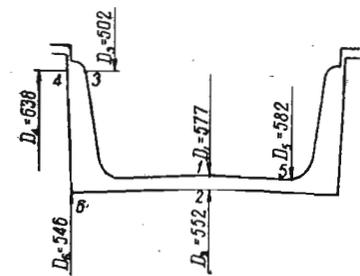


Рис. 40. Швеллерный чистовый калибр

По скорости выхода полосы  $v_h$  и известным окружным скоростям различных точек калибра можно подсчитать для них величину опережения.

Эпюра распределения опережения металла со стороны выхода из валков приведена на рис. 41, а. Из нее видно, что со стороны выхода металла из валков не все части профиля выходят с положительным опережением. В глубине ручья нижнего валка имеются минимальные диаметры и минимальные окружные скорости, в силу чего опережение получается максимальным. С увеличением

диаметра валка возрастают окружные скорости и уменьшается величина опережения. При определенном диаметре скорость валка становится равной скорости выхода полосы, т. е. опережение здесь равно нулю.

При дальнейшем увеличении диаметра нижнего валка окружная скорость его начинает превышать скорость выхода металла, и он выходит из валков с отставанием. По мере увеличения диаметра отставание все растет и у края фланца достигает 7,75%.

По отношению к верхнему валку металл на всем периметре калибра выходит с опережением, которое колеблется от 0,68 до 11,68%.

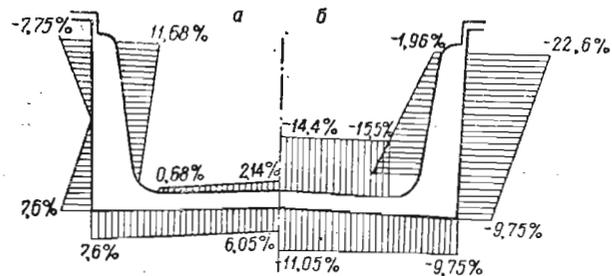


Рис. 41. Отставание и опережение в швеллерном калибре

Зная площади поперечного сечения раската до и после прохода, можно определить коэффициент вытяжки и скольжение металла со стороны его входа в валки. На рис. 41, б приведена эпюра распределения скольжения металла по периметру чистового швеллерного калибра со стороны входа в валки. Из этой эпюры видно, что в любой точке калибра металл входит в очаг деформации со скоростью, меньшей окружной скорости валков, т. е. с отставанием. При увеличении диаметра возрастают окружные скорости валков и увеличивается разность между ними и скоростью входа металла в валки. При увеличении диаметра нижнего валка отставание растет от 9,75% у дна ручья до 22,6% у края фланца. Верхний валок имеет меньший диаметр, поэтому и величины отставания металла относительно него меньше. Отставание металла от верхнего валка составляет от 1,96% у края фланца до 15,5% у шейки около закругления.

Из рис. 41 можно сделать вывод, что максимальный износ швеллерного калибра должен происходить на нижнем валке у краев фланцев, так как в этих местах скольжение металла максимальное.

Определим длину очага деформации для отдельных точек швеллерного калибра. Графоаналитическим методом А. А. Динника обжатия определялись графически по чертежным размерам

и темплетам. Длина очага деформации определялась аналитически по формуле:

$$l_{dn} = \sqrt{R_n \cdot \Delta h_n}$$

Для данной точки длина очага деформации определялась отдельно по верхнему и нижнему валку, а затем бралась средняя арифметическая из них:

$$l_{d1-2} = \frac{l_{d1} + l_{d2}}{2}$$

Графоаналитическим методом можно найти длины очага деформации только для точек профиля, расположенных на шейке швеллера. Среднее значение для них получилось  $l_d = 25,7$  мм.

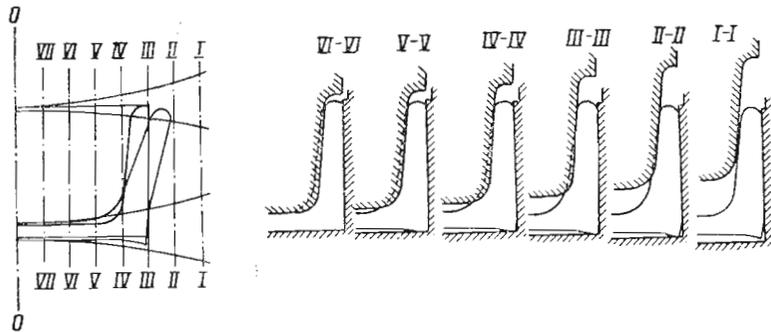


Рис. 42. Определение контактной поверхности в швеллерном калибре методом сечений

По графическому методу В. Тринкса длина очага деформации определяется только для шейки швеллера. Длину очага деформации точек, расположенных на полках швеллера, этим методом определить нельзя. Среднее значение длины очага деформации для шейки равно  $l = 15$  мм.

Метод сечений (рис. 42), основанный на графическом методе В. Тринкса, позволяет вычислить длину очага деформации в любой точке прокатываемого профиля. Хотя этот метод и недостаточно точен, он вполне подходит для выяснения качественного влияния скольжения металла на износ калибра.

Вычерчиваем чистовой калибр (вид спереди и сбоку) в натуральную величину. На боковой проекции делаем несколько сечений на строго определенном расстоянии между ними (в данном случае на рис. 42 сделаны семь сечений через каждые 10 мм). Последовательно, начиная со стороны входа штуки в валки, вычерчиваем все сечения чистового калибра и накладываем на них предчистовой профиль. На каждое последующее сечение чистового калибра накладывается предыдущее его сечение, а на сечение

$I-I$  чистового калибра — сечение предчистового раската. Полки предчистового профиля несколько отогнуты в стороны («развернуты»). Так как существенное значение имеет путь, который проходит полоса, деформируясь между обоими валками, сгибание полок швеллера в расчет не принимается. Поэтому начинаем графическое построение, исходя из предположения, что полки согнуты по ширине чистового калибра.

В пределах 10 мм между сечениями легко установить места встречи точек задаваемого профиля и калибра. Зная расстояние сечений от оси валков, можно определить длину очага деформации; она представляет собой расстояние между данным сечением и осью валков  $l_x$  плюс (или минус) поправка  $k$  на встречу данной точки задаваемого профиля с калибром между сечениями, т. е.

$$l_d = l_x \pm k. \quad (49)$$

Поправка берется приближенно. Для более точного определения длины очага деформации в данной точке необходимо построить промежуточные сечения.

Длина очага деформации в шейке швеллера, определенная методом сечений, получилась равной  $l_d = 18$  мм. Длины очага деформации в других точках профиля указаны на рис. 43, где приведены диаграммы  $v = f(l)$ , т. е. величины скольжения металла по длине очага деформации для основных точек профиля. Площади заштрихованных участков приняты пропорциональными работе сил трения, истирающих валок в соответствующих точках.

На основании полученных данных построена эпюра распределения работы сил трения по периметру калибра (рис. 44). Поскольку работа сил трения по периметру калибра неравномерна, износ калибра тоже должен быть неравномерным. Изменение характера кривой, характеризующей работу сил трения на боковых стенках калибра нижнего валка, объясняется изменением типа диаграммы  $v = f(l_d)$  и длины очага деформации.

Максимальный износ калибра, вероятно, происходит в тех местах, где наиболее проявляется работа сил трения, т. е. у краев фланцев на обоих валках. Минимальному износу, надо полагать, подвергается шейка швеллера.

Такая эпюра (рис. 44) может служить приближенной схемой износа чистового швеллерного калибра от воздействия на него только скольжения металла в очаге деформации.

## б) Двухвалковые балочные калибры

Влияние скольжения прокатываемого металла в очаге деформации на износ чистовых балочных калибров анализировалось по аналогии с чистовыми швеллерными калибрами.

Скольжение металла на выходе его из очага деформации определялось замером опережения на шейке балки при прокатке на

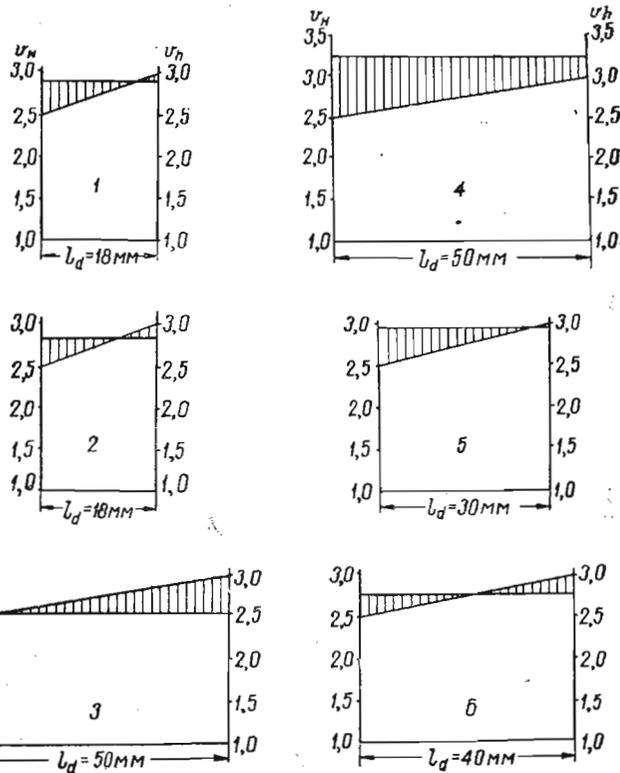


Рис. 43. Длины контакта и скорости скольжения в различных точках швеллерного калибра

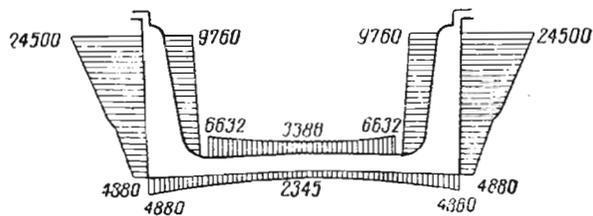


Рис. 44. Эпюра распределения работы сил трения по периметру швеллерного калибра

стане «550» и в дальнейшем пересчитывалось для всего периметра калибра. Керновыми отпечатками при определении опережения служили отпечатки трафарета на шейке балки.

Поскольку температуры по длине раската не одинаковы, опережение на шейке балки по длине раската также колеблется. Для расчетов было принято среднее значение опережения, равное  $S_1 = 1,09\%$ .

На рис. 45 изображена схема чистового балочного калибра и указаны размеры валков, на которых замерялись опережения при прокатке.

На рис. 46, а представлена эпюра распределения величин

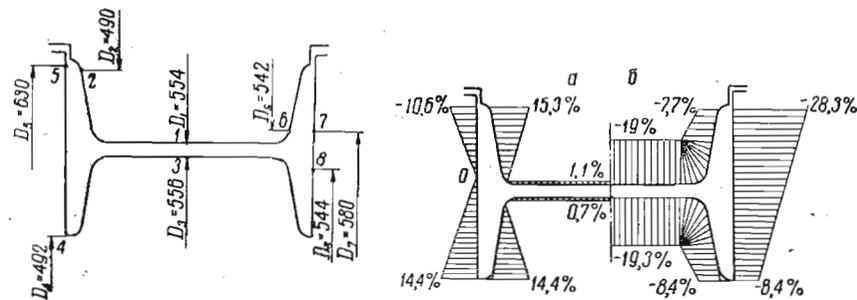


Рис. 45. Балочный чистовой калибр

Рис. 46. Отставание и опережение в балочном калибре

скольжения металла в очаге деформации со стороны выхода из валков. Из этой эпюры видно, что по направлению к краям закрытых фланцев и краю открытого фланца по верхнему валку опережение возрастает до 14,4 и 15,3% вследствие уменьшения диаметра валков и окружной скорости. По отношению к нижнему валку в направлении к открытому фланцу опережение полосы уменьшается. В какой-то точке полоса выходит из валков со скоростью, равной скорости валка. Выше этой точки скорость полосы становится меньше окружной скорости валка, и металл выходит из валков с отставанием. Максимальное отставание металла со стороны выхода из валков достигает 10,6%.

Для определения скорости входа металла в валки и дальнейшего расчета эпюры скольжения металла со стороны входа необходимо знать коэффициент вытяжки в чистовом калибре. Для его определения во время эксперимента отбирались темплеты чистового и предчистового профиля; обводки темплетов планиметрировались и по полученным площадям поперечного сечения вычислялся коэффициент вытяжки в чистовом калибре.

На основании таких расчетов построена эпюра (рис. 46, б) распределения скольжения металла по периметру балочного калибра со стороны входа в валки. Из эпюры видно, что все точки

предчистового профиля входят в калибр со скоростью, меньшей окружной скорости валков. По верхнему валку отставание составляет от 7,7% у края открытого фланца до 19% на шейке. По нижнему валку отставание возрастает от 8,4% у края закрытого фланца до 28,3% у края открытого фланца.

Как и в предыдущем случае (швеллер № 10), максимальный износ, повидимому, происходит на нижнем валке у краев открытых фланцев. Для получения детальной картины распределения работы сил трения по периметру калибра были построены диаграммы скоростей скольжения металла по длине очага деформации для

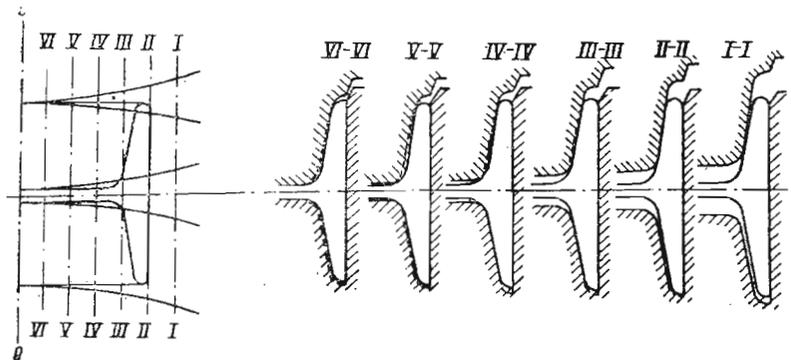


Рис. 47. Определение контактной поверхности в балочном калибре методом сечений

отдельных точек профиля и вычислены площади их, характеризующие работы сил трения. Для этого предварительно определялись методом сечений длины очага деформации в точках калибра (рис. 47).

Рациональность применения метода сечений для определения длины очага деформации фланцевых профилей подтверждается тем, что замеренные на недокате балки № 20, полученном в чистовом калибре, длины очага деформации оказались очень близкими к вычисленным методом сечений.

На рис. 48 приведены диаграммы скоростей металла по длине очага деформации с указанием длины очага деформации в каждой точке профиля. На основании полученных данных построена эпюра скольжения металла по периметру балочного калибра (рис. 49), из которой видно, что в результате скольжения металла работа сил трения неравномерно распределяется по периметру чистового балочного калибра. Так как износ калибра зависит от работы сил трения, то можно сделать заключение о неравномерном износе калибра под действием одного только фактора — скольжения прокатываемого металла в очаге деформации.

Максимальный износ можно ожидать в местах максимальной работы сил трения, т. е. на нижнем валке у открытых фланцев.

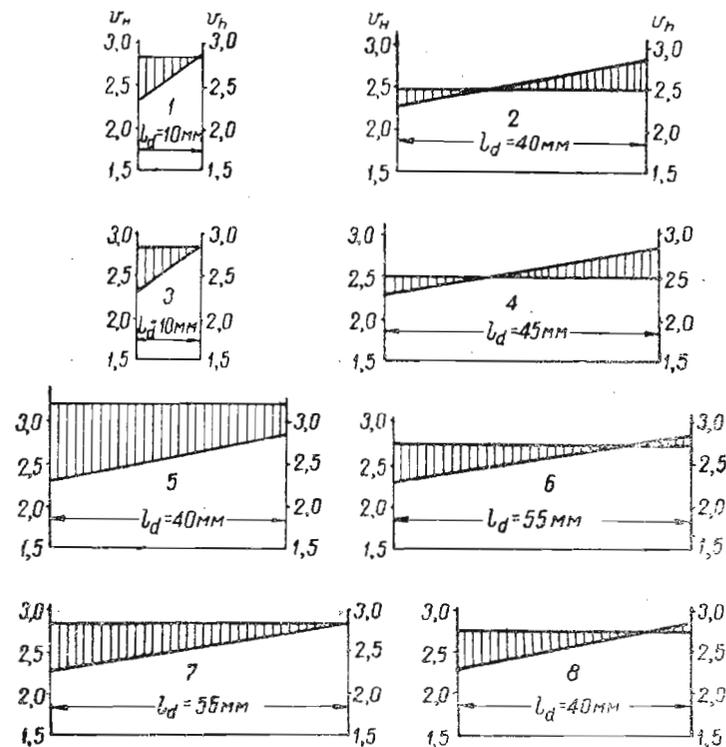


Рис. 48. Длины контакта и скорости скольжения в различных точках балочного калибра

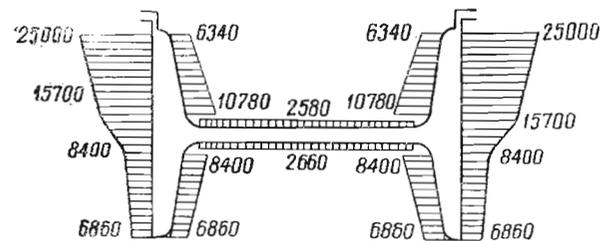


Рис. 49. Эпюра распределения работы сил трения по периметру балочного калибра

Меньше, но все же значительно, должны изнашиваться части валков, соответствующие фланцам профиля. Минимальный износ, повидимому, происходит по полотну гребней.

Перегиб кривой, характеризующей работу сил трения на наружных боковых стенках калибра нижнего валка, можно объяснить изменением типа диаграммы, характеризующей зависимость скорости металла от длины очага деформации, и различной длиной очага деформации точек 7 и 8 (см. рис. 48).

## 2. ИЗНОС КАЛИБРОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕРАВНОМЕРНОЙ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛКОВ

Фланцевые профили (швеллеры и балки) прокатывались в чистовой клети стана «550» на полутвердых, низколегированных и отбеленных валках.

Обычно применяются полутвердые чугунные валки с твердостью бочки от 35 до 55  $H_T$ , низколегированные валки — с твердостью бочки от 42 до 56  $H_{от}$ ; отбеленные валки обладают твердостью от 61 до 65  $H_{от}$ . Глубина отбела колеблется между 15 и 25 мм. Расстояние от поверхности бочки валка до наиболее глубокого врезанного элемента калибра

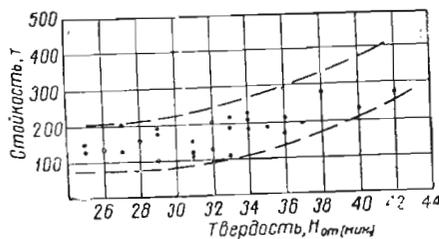


Рис. 50. Зависимость стойкости (в тоннах на 1 калибр за одну постановку валка) швеллерных и балочных валков от их твердости

на верхних чистовых валках — около 50 мм, на нижних — около 70 мм; для балки это расстояние соответственно равно: на верхнем валке — 30 мм, на нижнем — около 80 мм. Отсюда видно, что при обточке новых валков только часть калибра находится в твердой отбеленной зоне, обладающей высокой износостойкостью; основная же часть калибра врезана в переходной слой чугуна.

По мере переточек отбеленный слой валка уменьшается и калибр все более углубляется в переходной слой, переходя от более твердого металла к менее твердому, от более износостойкого к менее износостойкому.

Твердость поверхности швеллерных и балочных калибров замерялась твердомерами Шора и Польшдигутте в четырех точках калибра: на поверхности гребней швеллерных и балочных калибров, в дне швеллерного калибра и в выточках верхних валков. Параллельно с замерами твердости валков собирались их паспортные данные и сведения о работе. На основании полученных данных построен график зависимости стойкости чистовых швеллерных и балочных валков от их твердости (рис. 50). По оси абсцисс здесь откладывалась твердость валков ( $H_{от}$ ) в наиболее

мягких частях калибров; по оси ординат — стойкость валков, характеризующая количеством тонн металла, прокатанного в одном калибре за одну постановку валка в клеть.

Из рис. 50 видно, что в валках твердостью от 25 до 31  $H_{от}$  прокатывается от 100 до 200 т металла в одном калибре. Максимальная твердость валков в этом случае колеблется от 31 до 49  $H_{от}$ .

При повышении минимальной твердости калибров до 36—42  $H_{от}$  стойкость валков возрастает до 170—300 т металла на один калибр. Максимальная твердость калибров в данном случае достигает 39—53  $H_{от}$ .

## 3. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОКАТЫВАЕМЫХ ШВЕЛЛЕРОВ И БАЛОК

Фланцевые профили отличаются от других профилей малой площадью поперечного сечения и незначительной толщиной элементов. Вследствие этого ускоряется охлаждение отдельных частей сечения при прокатке, и температура по сечению прокатываемых балок и швеллеров оказывается весьма неравномерной, что способствует износу калибров.

Для выяснения неравномерности нагрева по сечению были произведены специальные замеры температур при прокатке швеллеров и двутавровых балок на стане «550»<sup>1</sup>.

### а) Швеллеры

Температура последовательно идущих полос при установившемся ритме прокатки замерялась оптическим пирометром. При первой серии замеров определялись температуры двух точек наружной поверхности полки: края и основания (у угла, образованного наружными поверхностями полки и шейки). В общей сложности замерена температура 60 полос.

Перепад температур между основанием и краем полки швеллера, определявшийся как разность средних значений соответствующих температур, составил 30°. Так как края полки имеют более низкую температуру, то сопротивление пластической деформации их выше, чем у основания фланцев; следовательно, износ калибра должен возрастать по направлению к его замкам. Увеличению износа калибра около замка, вероятно, способствует и связанное с падением температуры увеличение коэффициента трения между валком и краем полки по сравнению с коэффициентом трения у основания полки швеллера.

Во второй серии замеров определялись температуры двух точек внутренней поверхности швеллера: середины шейки и закруг-

<sup>1</sup> В литературе мы встретили только одно указание на то, что при прокатке швеллеров № 20, балок 20, 24, 36, 55 у фланцев температура была на 100—130° выше, чем у стенок.

ления между шейкой и полкой. В общем была измерена температура 64 подряд идущих полос.

Перепад температур между закруглением и серединой шейки составил примерно 60°; вследствие такой неравномерности нагрева калибр больше изнашивается посредине шейки. Повышению износа в этом месте способствует также увеличение коэффициента трения между металлом и валком. На основании имеющихся расчетных и экспериментальных данных можно считать, что при повышении температуры на 200° удельное давление посредине шейки изменяется примерно вдвое. Поэтому замеренная разность в 60° увеличит удельное давление посредине шейки примерно на 30%; соответственно повысится также износ (с учетом изменения коэффициента контактного трения).

Таким образом, вследствие неравномерного распределения температуры по сечению швеллера износ чистового калибра также оказывается неравномерным. По этой причине можно ожидать усиленного износа в местах калибра, соответствующих краям полок и середине шейки швеллера.

#### б) Двугавровые балки

При прокатке двугавровой балки № 10 на стане «550» температуры замерялись в два приема. В первую очередь измерялась температура у края и середины полки; таким замерам были подвергнуты 60 идущих подряд полос.

Перепад температур между серединой и краем полки балки составил 20°. Вследствие этого износ калибра у краев полок оказался большим, чем посредине.

Во вторую очередь определялась температура середины шейки и закругления между шейкой и полкой. Такие замеры температуры также были произведены на 60 последовательно идущих полосах.

Перепад температур между закруглением и серединой шейки балки составил около 100°. Такая разница в нагреве объясняется тем, что в данном случае мы имеем дело с минимальной толщиной раската (толщина шейки у предчистового раската 5 мм, у готовой балки 4,5 мм), а также тем, что при прокатке в черновых фасонных калибрах охлаждающая валки вода попадает на шейки раската и, оставаясь на ней продолжительное время, охлаждает ее.

Вследствие столь большой разницы температур коэффициент трения между серединой шейки и валком значительно больше, чем в местах закруглений. Кроме того, на середине шейки удельное давление значительно меньше, чем в местах закруглений. Все это способствует усиленному износу калибра в центральных частях горизонтальных участков гребней.

Удельные давления неравномерно распределены и по ширине шейки. По данным В. П. Северденко [41] истинное удельное давление при прокатке двугавровой балки колебалось от 1,6 до 21 кг/мм<sup>2</sup> и оказалось максимальным у краев шейки балки и ми-

нимальным в закрытом фланце. Приняв максимальное истинное удельное давление посредине шейки калибра за 100% (при толщине шейки 4,75 мм), в различных сечениях калибра установлено такое фактическое удельное давление:

посредине шейки (прямое давление) . . . . .	100%
вблизи перехода шейки в открытый калибр (прямое давление) . . . . .	114%
в открытом фланце (прямое давление) . . . . .	57%
и т. д.	

По расчетным данным авторов настоящей работы, среднее удельное давление составляет: посредине шейки — 23,8 кг/мм<sup>2</sup>, вблизи перехода шейки в полку — 16,25 кг/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, посредине шейки удельное давление на 46,4% больше, чем у ее края, что, несомненно, должно вызвать в средней части шейки более сильный износ калибра, чем на ее краях.

#### 4. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА

##### а) Швеллеры

При анализе степени неравномерности деформации металла в чистовом калибре швеллера № 10 необходимо рассматривать деформацию двух элементов профиля — шейки и полки.

Калибровка швеллера № 10 построена таким образом, что обжатие шейки предчистового раската в чистовом калибре по всей его ширине одинаково. Исключение представляют только углы профиля, где относительное обжатие меньше. Боковое обжатие полки в чистовом калибре незначительно возрастает в направлении от основания к краям полки. Объясняется это переменной толщиной полки конечного профиля.

На рис. 51, а графически показаны изменения коэффициента деформации при прокатке швеллера № 10 в чистовом калибре.

Кривые 1 характеризуют коэффициенты деформации  $\frac{H}{h}$  (представляющие отношение задаваемой и выходящей толщин в данном месте профиля) при прокатке раската, полученного из нового предчистового калибра, в новом чистовом калибре.

В процессе прокатки по мере износа изменяется конфигурация чистового и предчистового калибров и, следовательно, распределение обжатий. При прокатке раската, полученного из изношенного предчистового калибра, в новом чистовом калибре посредине шейки образуется максимум (кривая 2). Объясняется это тем, что предчистовой калибр наиболее изнашивается посредине. При прокатке раската, полученного из изношенного предчистового калибра, в изношенном чистовом калибре на кривой обжатий 3 максимума нет; эта линия почти прямая. Следовательно, износ шейки чистового калибра по своему характеру аналогичен износу шейки предчистового калибра.

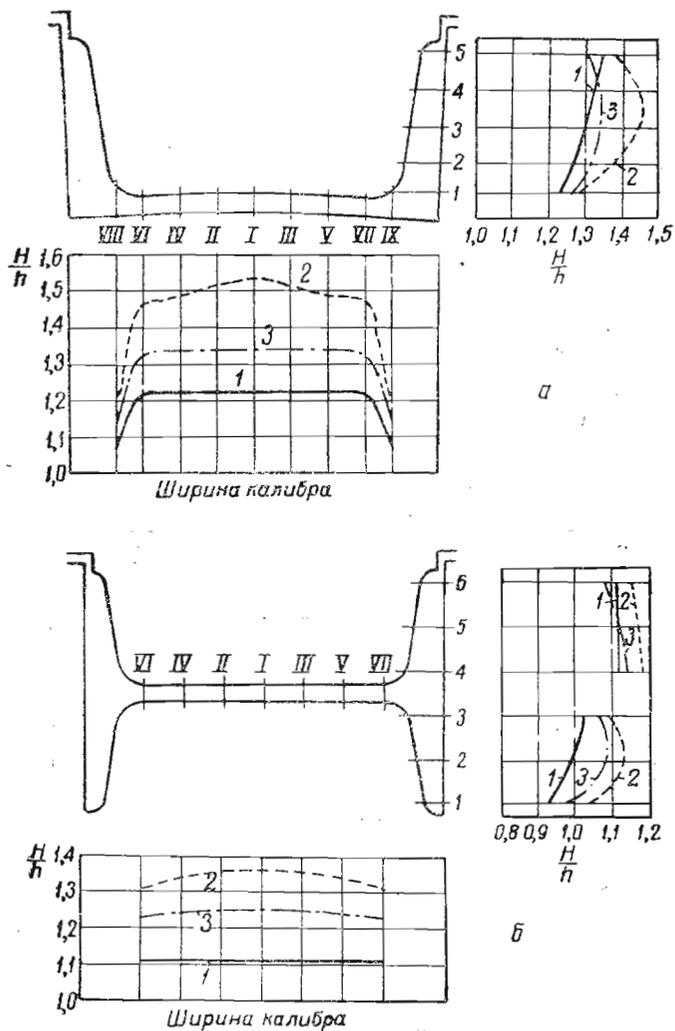


Рис. 51. Коэффициент деформации в шейках и фланцах калибров:  
 а — швеллерного и б — балочного

Обжатие полок в процессе прокатки также изменяется. Максимальные деформации  $\frac{H}{h}$  перемещаются по направлению с края полки вниз, примерно на одну треть ее высоты. Минимальный коэффициент деформации все время остается у основания полки.

### б) Балки

Установим степень неравномерности деформации металла в чистовом балочном калибре при прокатке двутавровой балки № 10. Как и в предыдущем случае, необходимо анализировать отдельно степень неравномерности деформации шейки и полок (открытых и закрытых фланцев).

Обжатие шейки предчистового раската в чистовом балочном калибре одинаково по всей ширине калибра, кроме углов профиля, где обжатия уменьшаются, так как закругления на предчистовом профиле имеют большие радиусы, чем на чистовом. Боковое относительное обжатие открытых фланцев в чистовом калибре одинаково по всей высоте фланца. Калибровка балки рассчитана таким образом, чтобы боковое обжатие в закрытых фланцах чистового калибра отсутствовало; в этом месте калибр работает как волоочильное очко.

Кривые коэффициентов  $\frac{H}{h}$  по элементам профиля при прокатке раската, полученного из нового предчистового калибра, в новом чистовом калибре (кривые 1) приведены на рис. 51, б.

В процессе работы распределение этих коэффициентов несколько изменяется вследствие износа предчистового и чистового калибров. При прокатке раската, полученного из изношенного предчистового калибра, в новом чистовом калибре коэффициенты посредине шейки балки больше, чем на краях шейки. Вызвано это тем, что шейка предчистового калибра больше изнашивается посредине. При прокатке раската, полученного из изношенного предчистового калибра, в изношенном чистовом калибре коэффициенты  $\frac{H}{h}$  для середины шейки почти такие же, как по ее краям. Это обусловлено идентичным характером износа шейки предчистового и чистового калибров.

Коэффициенты деформации в закрытых фланцах изменяются довольно значительно, тогда как в открытых (см. кривые на рис. 51, б) они близки по значению (расположены кучно). Это можно объяснить следующим образом. В чистовые открытые фланцы поступает металл из закрытых предчистовых фланцев, которые изнашиваются незначительно. В закрытые чистовые фланцы поступает металл из открытых предчистовых фланцев, которые изнашиваются сильнее закрытых, что и отражается на распределении обжатий в чистовом калибре.

## 5. ДАННЫЕ ОБ ИЗНОСЕ ФЛАНЦЕВЫХ КАЛИБРОВ

### а) Швеллеры

Сведения об износе швеллерных калибров приведены в работе С. Н. Филипова [44]. За одну кампанию было прокатано 403 т швеллера № 12. Температура в начале прокатки — 1100°, в конце прокатки — 1000°. Износ калибров показан на рис. 52.

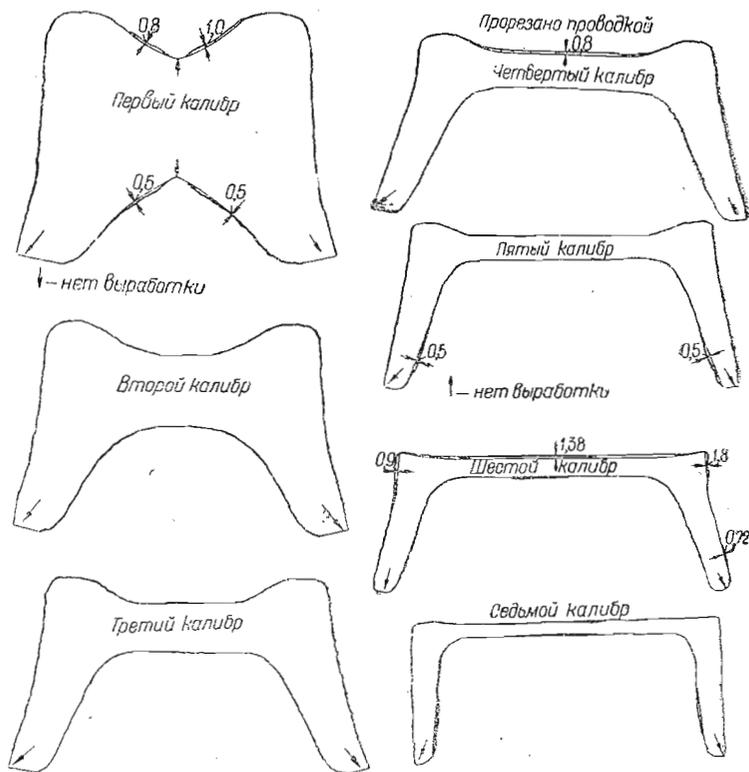


Рис. 52. Износ калибров швеллера № 12

Как видим, наибольшему износу подвергся предчистовой калибр. Износ по полотну стенки составил 1,38 мм. Ширина калибра увеличилась на 2,7 мм, причем наиболее износились места около углов. Износ фланцев также оказался значительным; в отдельных местах он достигал 0,72 мм. Произведенные после дальнейших прокаток замеры дали аналогичные результаты. Стойкость чистовых калибров колебалась между 75 и 150 т. Износ поверхности калибра составлял 0,25 мм. Наибольший износ отмечен на поверхностях закрытой части калибра, соответствующих полке.

При прокатке швеллера № 10 износ калибров имел почти такой же характер, как и при прокатке швеллера № 12. После прокатки 502 т металла калибры имели вид, показанный на рис. 53. Предчистовых калибров было два: на первом было прокатано 350 т металла, на втором — 152 т. Вследствие этого предчистовые калибры по ширине изнашивались неравномерно: первый — на 1,65 мм, второй — на 0,7 мм. Износ полотна не был столь резко выражен, как в швеллере № 12. Чистовые калибры выкатывали по 50—70 т. Смена чистовых калибров была вызвана образованием шишек на поверхности стенки швеллера.

Авторами тщательно измерялся износ чистовых и предчистовых калибров для прокатки швеллеров № 10 и 12; кроме того, на швеллерах № 20 производились поверочные замеры. Поскольку калибровки, условия работы и характер износа были идентичны, ниже приводим данные, относящиеся только к швеллеру № 10.

Швеллер № 10 на стане «550» прокатывается из заготовки 135 × 118 × 2300 мм за 13 проходов, которые по клетям распределяются следующим образом: обжимная клеть — 6, черновая — 4, предчистовая — 2, чистовая — 1.

Валки предчистовой клетки имеют три предчистовых швеллерных калибра. При выходе из строя одного калибра прокатку производят в следующем. Калибровка рассчитана по балочному методу: с «ложными» фланцами в черновых калибрах. Коэффициенты вытяжки в предчистовом калибре: по шейке  $\mu_{ш} = 1,378$ , по фланцам  $\mu_{ф} = 1,316$ , общий по калибру  $\mu_{к} = 1,342$ . Калибры выполнены слегка развернутыми. Выпуск основания фланца достигает 9,25%, выпуск по длине фланца — 27,05%. По ширине калибр первоначально растачивается для проката с максимальными отрицательными допусками. По мере износа при переточках размеры калибров увеличивают до максимально возможных для прокатки данного профиля с положительными допусками. При прокатке профиль расположен в валках корытом вниз.

Валки чистовой клетки имеют два одинаковых калибра. Раскат перед задачей в чистовую клетку кантуется на 180°, и прокатка ведется корытом вверх. Коэффициент вытяжки швеллера в чистовом калибре: шейки —  $\mu_{ш} = 1,218$ , фланцев  $\mu_{ф} = 1,256$ , общий по калибру  $\mu_{к} = 1,24$ .

Долгое время на заводе применялись чистовые калибры с выпуском по наружной стенке полки, равным 1%, и стрелой прогиба шейки профиля  $z = 0,5$  мм. С 1952 г. по настоящее время применяются калибры измененной формы. Выпуск наружных стенок полки увеличен до 6,03%, что привело к увеличению стрелы прогиба шейки до 3 мм. Изгиб шейки строится радиусом, центр которого расположен на оси симметрии калибра. Получение готового продукта с конечными, предусмотренными ГОСТ размерами производится путем правки в холодном состоянии на роликоправильной машине.

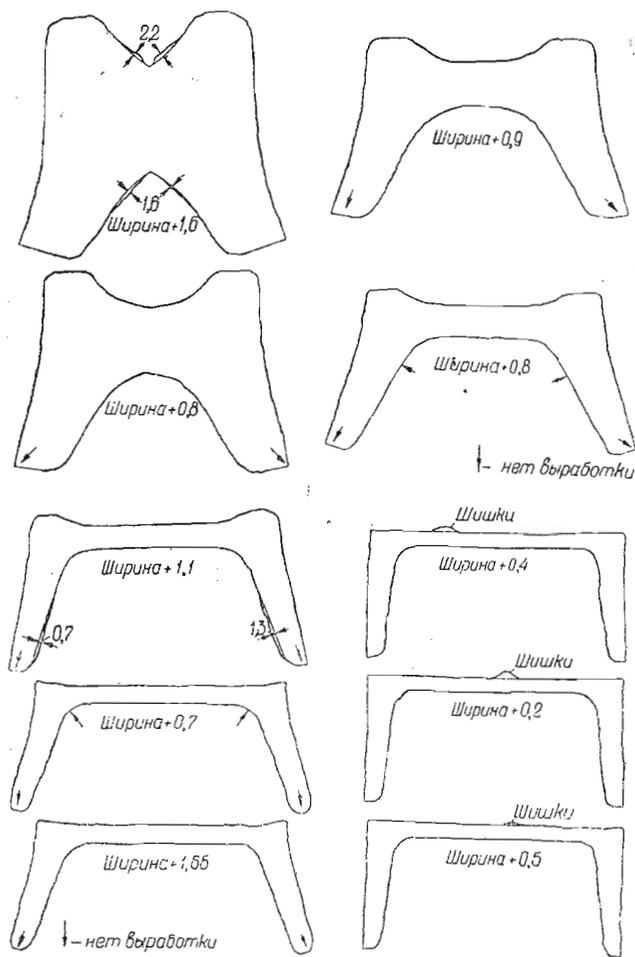


Рис. 53. Износ калибров швеллера № 10

Благодаря применению калибров новой конструкции срок службы валков удалось увеличить за счет уменьшения толщины слоя металла, снимаемого при переточках. Чистовые калибры, как и предчистовые, проектируются для прокатки с максимальными отрицательными допусками. По мере износа размеры калибров увеличивают до предельно возможных.

В процессе наблюдений был замерен износ 28 предчистовых и 32 чистовых калибров. Износ валков замерялся посредством шаблонов и щупов в 26 точках, равномерно расположенных по периметру калибра. Точность замеров — 0,05 мм.

Для замеров износа валков были изготовлены из тонколистового железа составные шаблоны (рис. 54): верхний — для нижнего чистового валка, нижний — для верхнего чистового валка.

При замерах износа швеллерных калибров в нескольких случаях после выемки валков из клетки шаблона, установленный в ручье нижнего валка, мог перемещаться по ширине калибра. В таких случаях износ боковых стенок ручья измерялся следующим образом. Шаблон придвигался вплотную к какой-нибудь одной стенке ручья и щупом определялся износ валка. При таких измерениях в какой-то одной или нескольких точках зазора между шаблоном и валком не было. Затем шаблон передвигался в другую сторону до отказа и измерялись зазоры между шаблоном и другой стенкой ручья. После этого измерялся зазор между шаблоном и валком в нулевой точке (первая серия замеров). Износ боковых стенок ручья определялся путем суммирования величин зазоров в соответствующих точках калибра и половины зазора между нулевыми точками.

На рис. 55, а показан износ предчистового калибра валков № 178 для швеллера № 10. В калибре было прокатано 303 т металла. Валки прошли три переточки (всего снято 22 мм) и имеют диаметры на 2 мм меньше предусмотренных чертежом. Верхний валок, изготовленный из низколегированного чугуна, имеет твердость по буртам 44  $H_{от}$  и на шейке ручья 26  $H_{от}$ . Сред-

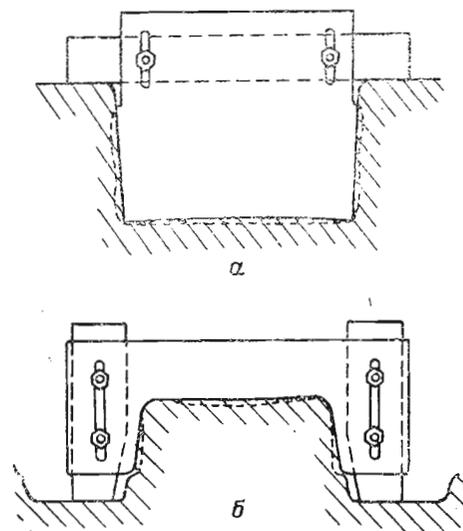


Рис. 54. Составные шаблоны для замера абсолютного износа швеллерных калибров: а — для нижнего чистового валка; б — для верхнего чистового валка

ный валок, отлитый из полутвердого чугуна, имеет твердость по поверхности гребней 34 и на шейке — 28  $H_{от}$ .

Химический состав валков: верхнего — 2,89% С; 1,41% Si; 0,50% Mn; 0,28% P; 0,05% S; 0,69% Cr и 0,86% Ni; среднего — 3,12% С; 0,42% Si; 0,41% Mn; 0,55% P и 0,08% S.

Из рис. 55, а видно, что предчистовой калибр изнашивается неравномерно. Наиболее сильному износу подвергается верхний валок по шейке ручья, где его твердость наименьшая. Увеличением удельных давлений от угла к середине ручья можно объяснить

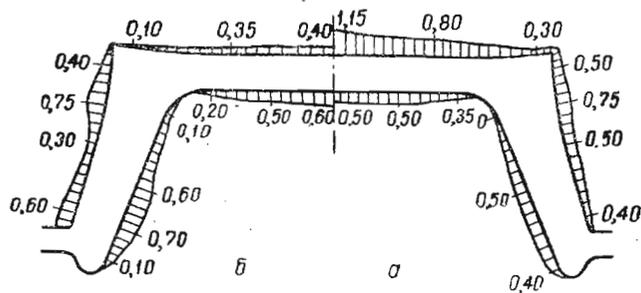


Рис. 55. Износ предчистовых швеллерных калибров

минимальный износ (0,30 мм) в углу валка и максимальный (1,15 мм) — посередине дна (шейки) ручья. Износ боковых стенок ручья, повидимому, в основном зависит от твердости металла валка. Из-за возрастающего к краям фланцев скольжения металла в очаге деформации и вследствие пониженной температуры конца полок швеллера износ должен был возрастать по направлению к замку. В глубине калибра — в тех местах, где металл мягок, такое явление действительно наблюдается: износ увеличивается до 0,75 мм. Но дальше, по мере увеличения твердости валка, износ постепенно уменьшается до 0,40 мм. Боковые поверхности гребня верхнего валка вследствие однозначного действия всех рассмотренных выше факторов больше изнашиваются по направлению от шейки к краям фланцев. У самых краев фланцев износ уменьшается, так как эти места валка находятся против замков и пластическая деформация металла здесь незначительна.

На рис. 55, б показан износ предчистового калибра валков № 102 после прокатки 380 т швеллера № 10. Валки работали после третьей переточки. Диаметры валков были на 5 мм меньше чертежных. Оба валка изготовлены из низколегированного чугуна. Верхний валок имеет твердость по буртам 53, а в глубине ручья — 42  $H_{от}$ . Поверхность гребня среднего валка имеет твердость 39, а во впадинах — 33  $H_{от}$ .

Химический состав валков: верхнего — 2,88% С; 0,77% Si; 0,42% Mn; 0,32% P; 0,06% S; 0,62% Cr и 0,92% Ni; среднего — 3,12% С; 1,21% Si; 0,52% Mn; 0,22% P; 0,06% S; 0,74% Cr и 1,08% Ni.

По своему характеру износ калибра аналогичен описанному выше. Как особенность износа валков № 102 надо отметить вырывы металла посередине поверхности гребня среднего валка. Вырывы достигают глубины 5 мм при длине до 40—50 мм и ширине 20 мм.

Износ чистовых швеллерных калибров валков № 152 после прокатки на них 252 т металла показан на рис. 56. Верхний валок

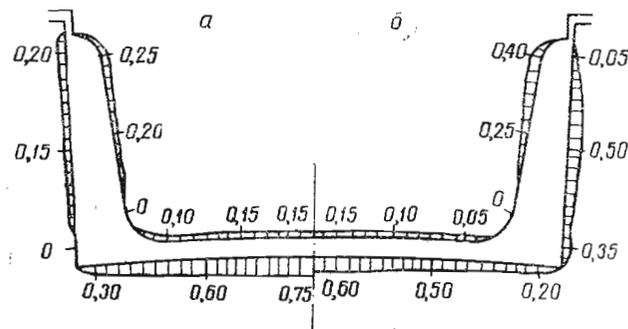


Рис. 56. Износ чистовых швеллерных калибров

изготовлен из низколегированного чугуна, модифицированного магнием. Твердость поверхности гребня 47, во впадинах — 39  $H_{от}$ . Нижний валок изготовлен также из модифицированного магнием чугуна. Твердость его: по буртам 43, в глубине ручья — 38  $H_{от}$ . Химический состав валков № 152: верхнего — 3,04% С; 1,97% Si; 0,55% Mn; 0,28% P; 0,007% S; 0,66% Cr и 0,80% Ni; нижнего — 3,54% С; 0,97% Si; 0,65% Mn; 0,446% P; 0,011% S.

Из рис. 56, а видны те же закономерности износа, что и на предчистовых калибрах. Место наибольшего износа (0,75 мм) находится на нижнем валке посередине дна ручья (где твердость валков и температура прокатываемого металла — минимальные). Вследствие увеличения скольжения металла по мере приближения к замку и пониженной температуры концов полок, при незначительной разнице твердости по глубине ручья, износ боковых стенок все время возрастает по направлению к краям фланцев.

Поверхность гребня верхнего валка значительно тверже, чем дна ручья нижнего валка; поэтому поверхность гребня изнашивается незначительно по сравнению с нижним валком. Износ боковых поверхностей гребня возрастает и достигает максимума у краев фланцев.

На правой половине рис. 56, б приведена схема износа чистового калибра валков № 177, в котором прокатано 170 т швеллера

№ 10. Валки работали после третьей переточки (диаметры их на 18 мм меньше чертежных). Верхний валок изготовлен обточкой чугунного отбеленного валка, отлитого с гладкой бочкой. Глубина отбела 20 мм. Твердость гребня валка 65, а во впадинах —  $31H_{от}$ . Нижний валок изготовлен из чугуна; модифицированного магнием. Твердость по буртам 42, в глубине ручья —  $32 H_{от}$ .

Химический состав валков № 177: верхнего — 3,13% С; 0,54% Si; 0,35% Mn; 0,47% P; 0,06% S, нижнего — 3,69% С; 0,86% Si; 0,73% Mn; 0,39% P; 0,01% S.

Более резкое по сравнению с валками № 152 падение твердости металла от поверхности в глубину валков изменяет картину износа калибра. Износ стенки гребня верхнего валка у края полки почти в два раза больше, тогда как в этом калибре прокатано в полтора раза меньше металла, чем в предыдущем случае. Износ стенок ручья нижнего валка при увеличении диаметра усиливается, но по мере приближения к поверхности твердость металла валка настолько возрастает, что этот фактор начинает преобладать над остальными и износ к краю полки резко уменьшается.

### б) Балки

Сведения об износе балочных калибров приведены в работе Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова [2], где указывается, что открытые фланцы калибра изнашиваются раньше закрытых, а в шейке и в основаниях фланцев калибры вырабатываются несколько быстрее, чем на концах фланцев. Причиной этого являются большие абсолютные обжатия в указанных частях профиля.

Однако при исследовании износа балочных калибров на заводах Юга авторы настоящей работы не наблюдали ни одного случая, когда бы в шейке у основания фланцев калибры вырабатывались быстрее, чем на концах фланцев.

Данные об износе балочных калибров имеются в работе С. Н. Филипова [44]. На рис. 57 показан характер износа калибров балки № 10 после прокатки 202 т металла. Калибры хорошо заполнялись металлом. Только в предчистовом калибре открытые фланцы не заполнялись, что можно было установить по совершенно неизменным в соответствующих местах поверхностям калибров. Для данной калибровки характерен износ боковых поверхностей второго, четвертого и предотделочного калибров в средней части, расположенной против ножки профиля. В предчистовом калибре выработка составила 1,15 мм. Это свидетельствует о неправильно выбранной величине уширения. Чистовые калибры балки № 10 изнашивались сравнительно равномерно, но интенсивно. Износ по ширине составлял 1,72 мм после прокатки 110 т.

Авторы настоящей работы определяли износ чистовых и предчистовых калибров для прокатки балок № 10. Для сравнения

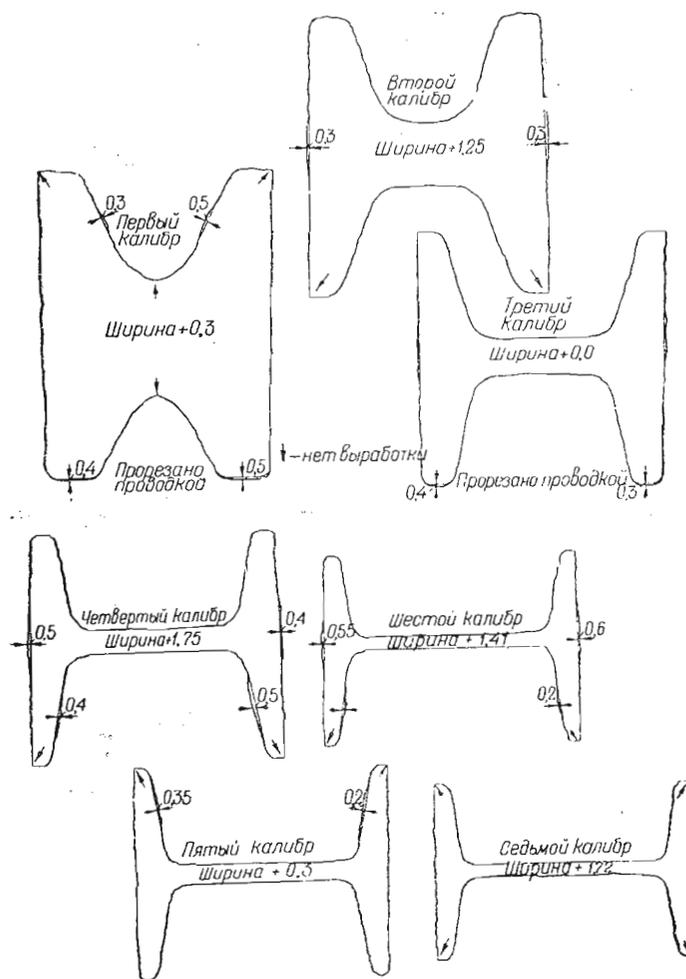


Рис. 57. Износ калибров балки № 10

велись наблюдения за износом чистовых калибров для прокатки балки № 30.

Двутапровая балка № 10 прокатывается на стане «550» из заготовки  $135 \times 118 \times 2300$  мм за 13 проходов, со следующим их распределением: обжимная клеть — 6 проходов; черновая — 4; предчистовая — 2; чистовая — 1.

Как и в предыдущем случае, для продления срока службы валов и сокращения перевалок на валках предчистовой клетки было выточено по три предчистовых балочных калибра. Чистовые валки также имеют три одинаковых калибра. При первой обточке ширина калибров делается с таким расчетом, чтобы высота готового профиля была на величину отрицательного допуска меньше номинальной. При последующих переточках ширину калибров увеличивают на величину суммы отрицательного и положительного допусков по высоте профиля. Во время прокатки в фасонных калибрах штука не кантуется. Одинаковое обжатие верхних и нижних полок балки достигается чередованием открытых и закрытых фланцев.

Коэффициенты вытяжки в предчистовом калибре: по шейке  $\mu_{ш} = 1,286$ ; по фланцам  $\mu_{ф} = 1,174$ ; общий по калибру  $\mu_{к} = 1,203$ . В чистовом калибре: по шейке  $\mu_{ш} = 1,098$ ; по фланцам  $\mu_{ф} = 1,314$ ; общий по калибру  $\mu_{к} = 1,250$ . Выпуски составляют: 1% в предчистовом калибре и 0,5% в чистовом.

Износ был замерен на 23 балочных калибрах. При помощи составных шаблонов (рис. 58) износ определялся в 32 строго определенных точках периметра калибра.

На рис. 59, а представлена схема абсолютного износа предчистового калибра валков № 197 после прокатки 176 т балки № 10. Валки работали после третьей переточки и имели диаметры на 24 мм меньше чертежных. Оба валка изготовлены из низколегированного чугуна. Твердость верхнего валка по буртам — 36, на поверхности гребня — 29  $H_{от}$ . Твердость среднего валка: на поверхности гребня — 39, во впадинах — 34  $H_{от}$ .

Химический состав валков: верхнего — 3,08% С; 1,43% Si; 0,69% Mn; 0,29% P; 0,59% S; 0,53% Cr; 0,64% Ni; нижнего — 2,88% С; 1,31% Si; 0,55% Mn; 0,29% P; 0,07% S; 0,65% Cr и 0,98% Ni.

Из рис. 59, а видна неравномерность износа предчистовых балочных калибров. Наибольшему износу подвергаются верхние валки; средний валок изнашивается несколько меньше.

Поверхность гребня среднего валка изнашивается почти равномерно по всей ширине, и только на углах, около закруглений, износ резко уменьшается, доходя до нуля. Износ боковых поверхностей гребня возрастает с уменьшением диаметра валка и около края полки достигает наибольшей величины (0,35—0,40 мм). У самого края полки износ несколько уменьшается, что можно

объяснить уменьшением удельного давления металла на валки у замка калибра.

Верхний валок по поверхности гребня изнашивается больше, чем средний, так как твердость его значительно меньше. Вследствие малой твердости валка и различной температуры шейки и оснований фланцев раската поверхность гребня изнашивается неравномерно. Максимальный износ происходит посередине ширины гребня.

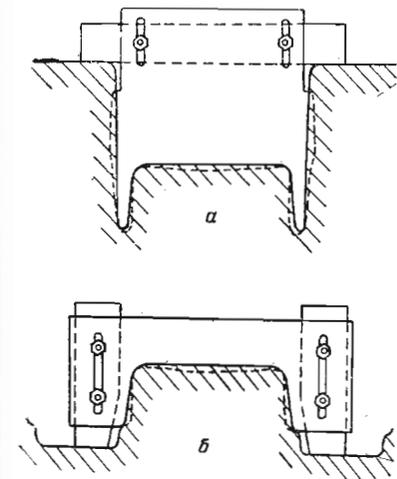


Рис. 58. Составные шаблоны для замера абсолютного износа балочных калибров:

а — для нижнего валка; б — для верхнего валка

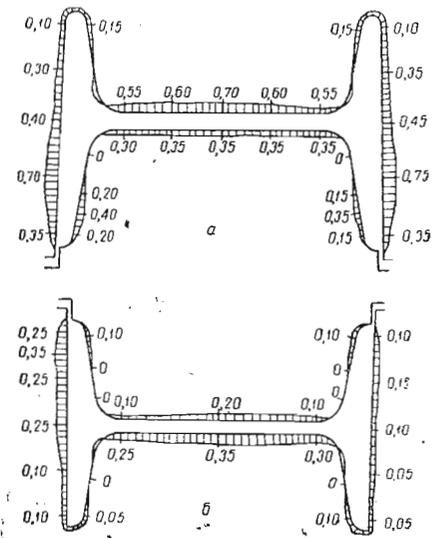


Рис. 59. Износ предчистового и чистового балочных калибров

Особенностью износа балочных калибров является смятие кромок гребня валка с врезом (в данном случае верхнего). Смятие происходит от больших давлений металла на валки, которые развиваются в очаге деформации и вызывают наплывы металла на боковых поверхностях гребня вблизи кромок. Наплывы металла могут стать причиной смены калибра. Калибр (рис. 59, а) вышел из строя вследствие того, что наплывы металла в предчистовом калибре препятствовали выполнению углов профиля в чистовом калибре.

Боковые поверхности гребня больше изнашиваются по направлению к концам полок. Вызывается это уменьшением температуры прокатываемого металла, увеличением скольжения и уменьшением твердости валка к вершине закрытого фланца.

Износ боковых наружных поверхностей ручья под действием все возрастающего скольжения увеличивается в направлении от вершины закрытого фланца к вершине открытого фланца, дости-

гая 0,70—0,75 мм. Только вблизи замка износ валка несколько уменьшается благодаря увеличению твердости валка.

На рис. 59, б показан износ чистового калибра валков № 190, в котором прокатано 126 т балки № 10. Валки прошли две переточки и имели диаметры на 6 мм меньше чертежных и на 26 мм меньше первоначальных. Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна, модифицированного магнием. Твердость его по гребню 45, во впадинах 41  $H_{от}$ . Нижний валок изготовлен из старого чугунного листопрокатного валка и имеет твердость по буртам 40, на поверхности гребня — 32  $H_{от}$ .

Химический состав верхнего валка: 2,99% С; 1,72% Si; 0,65% Mn; 0,30% P; 0,69% Cr; 0,76% Ni; 0,01% S.

Из сравнения рисунков 59, а и б видно, что основные закономерности износа чистовых балочных калибров такие же, как и предчистовых калибров. Места максимального износа находятся на валке с врезом: посередине ширины гребня и у открытого фланца. На последнем валке образуются наплывы металла на кромках гребня вследствие смятия последнего. Разница заключается только в количественных показателях износа: в чистовом калибре допускается меньший износ, чем в предчистовом. Небольшая несимметричность износа калибра, изображенного на рис. 59, б, вызвана неправильной настройкой стана.

#### 6. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ С УЧЕТОМ ИЗНОСА ФЛАНЦЕВЫХ КАЛИБРОВ

Уменьшить износ фланцевых калибров и повысить срок службы валков можно некоторым изменением конфигурации обычно применяемых калибров (рис. 60). Чистовой швеллерный калибр

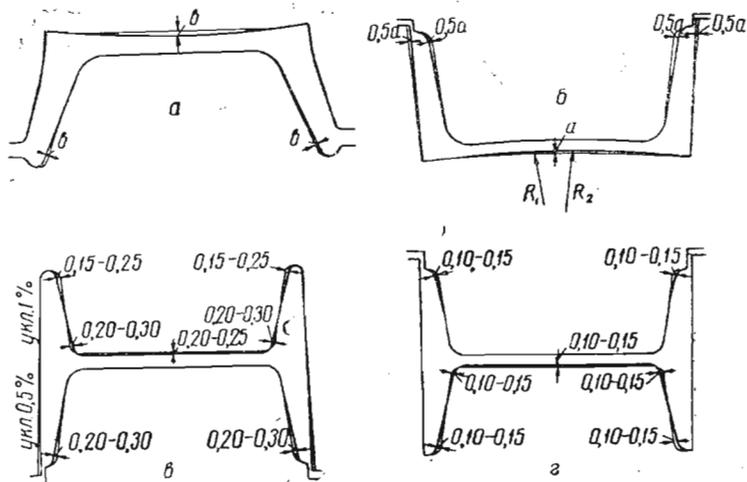


Рис. 60. Изменения формы предчистовых и чистовых швеллерных (а, б) и балочных (в, г) калибров

больше всего изнашивается по шейке. Дно ручья нижнего валка необходимо сделать более выпуклым. Для этого следует описать его меньшим радиусом, который должен быть подобран таким образом, чтобы толщина профиля посередине шейки не выходила за пределы отрицательного допуска. Боковые стенки калибра следует проектировать, исходя из минимальных допускаемых размеров полок швеллера.

В предчистовом швеллерном калибре дно ручья верхнего валка надо сделать выпуклым. Стрелу выпуклости дна, по сравнению с существующей калибровкой, следует избрать в пределах 0,6—0,8 мм. Наряду с этим необходимо увеличить обжатие полок профиля. Аналогичные изменения желательны внести и в черновые калибры.

Предлагаемое изменение конфигурации предчистового и предшествующих ему швеллерных калибров уменьшит износ и увеличит срок службы чистового и предчистового калибров за счет уменьшения обжатий и искусственного увеличения массы валка в местах, подвергающихся наибольшему износу.

Срок службы балочных калибров можно удлинить увеличением массы металла валка в местах усиленного износа. На валках с врезом (нижний чистовой, верхний предчистовой и т. д.) поверхность гребня следует сделать выпуклой. Стрела выпуклости на чистовых валках не должна превышать 0,10—0,15 мм; на предчистовых — 0,20—0,25 мм.

Учитывая смятие кромки гребня, ширину вершины гребня следует уменьшить примерно на 0,10 мм у чистовых и на 0,20—0,30 мм у предчистовых валков. Ширину гребня у основания надо увеличить в чистовых калибрах на 0,10—0,15 мм, в предчистовых — на 0,15—0,25 мм.

Боковые наружные поверхности ручья предчистового калибра необходимо выполнить двумя уклонами. Уклон стенки, соответствующей закрытому фланцу, можно не изменять; уклон части стенки, расположенной выше уровня поверхности гребня, нужно сделать равным примерно 0,5%. В чистовом калибре, во избежание опасности защемления прокатываемого металла, уменьшать уклон нельзя.

На валках с гребнем (верхний чистовой и средний предчистовой) боковые поверхности также делаются с двумя уклонами. Верхняя половина гребня остается без изменений. Нижняя половина уширяется к основанию, по сравнению с существующей, на 0,10—0,15 мм в чистовых и на 0,20—0,30 мм в предчистовых калибрах.

Внесение предлагаемых поправок в существующую калибровку позволит значительно увеличить стойкость чистовых и предчистовых швеллерных и балочных калибров.

## ГЛАВА V

### ИЗНОС ВАЛКОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ЛИСТОВ, ЗАГОТОВОК, КРУГОВ, КВАДРАТОВ, ТРУБ, РЕЛЬСОВ И ДРУГИХ ПРОФИЛЕЙ

#### 1. ЛИСТОПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ<sup>1</sup>

##### а) Валки непрерывного трехклетьевого стана холодной прокатки

Непрерывные трехклетьевые станы холодной прокатки состоят из трех последовательно расположенных четырехвалковых клеток. Стальные легированные валки имеют твердость поверхности рабочих валков 95—100, опорных 65—75  $H_{от}$ . Стан прокатывает жесть толщиной 0,26—0,31 мм и шириной 230—515 мм. Валки и полосы охлаждаются эмульсией.

Износ рабочих и опорных валков определяют профилографом, изготовленным для визуального и регистрационного замера профиля валков диаметром от 200 до 650 мм и длиной бочки от 300 до 650 мм, состоящим из четырех основных частей: чугунной линейки специального профиля, двух опорных ножек, каретки, перемещающейся по линейке, и механизма перемещения каретки.

Чугунная линейка устанавливается на валке при помощи опорных ножек. Каретка, перемещающаяся по линейке, имеет индикатор со шкалой для визуального наблюдения (точность 0,01 мм). Индикатор соединен системой рычагов с самопишущим пером для записи кривой профиля валка на бумажной ленте. Масштаб записей на ленте: по горизонтали 1:1, по вертикали 1:250; таким образом, 0,01 мм показания индикатора соответствует 2,5 мм записи на ленте. Каретка перемещается с помощью часового механизма, вращающего барабанчик, на который наматывается тросик, соединенный с кареткой.

Валки по профилю замерялись после шлифовки до завалки в стан; затем определялся износ валков после выемки их из стана. Замеры производились после полного остывания валков.

Износ рабочих валков (рис. 61, А), обычно симметричный относительно их оси, происходит на участке, соответствующем

<sup>1</sup> Составлено по материалам исследования, проведенного доц. М. М. Сафьяном и др. под руководством проф. А. П. Чекмарева.

ширине прокатываемых полос, и достигает иногда 0,2 мм по радиусу. На некоторых валках увеличение износа заметно в местах, соответствующих кромкам полосы.

Износ верхних рабочих валков (выпуклых) на тонну продукции оказался большим, чем нижних. Наибольший износ валков наблюдался в третьей клетке, наименьший — во второй.

Замеры износа опорных валков показывают (рис. 61, Б), что в процессе прокатки имеют место три вида износа: несимметричный относительно оси валков (позиции ж, е), местный (позиции а, в) и ступенчатый (позиции жс, з).

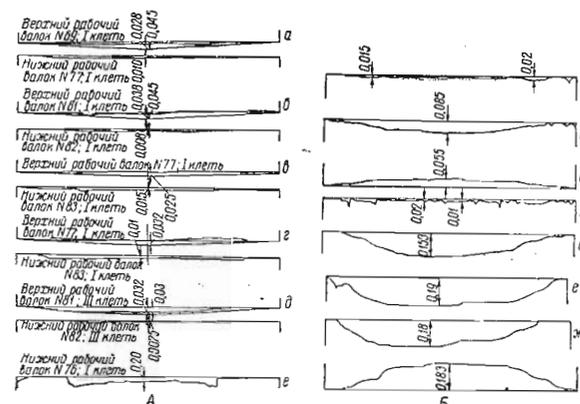


Рис. 61. Износ валков непрерывного трехклетьевого стана холодной прокатки

Максимальный износ опорных валков достигал 0,18 мм на сторону (после прокатки 2370 т металла).

Необходимо иметь в виду, что большой износ опорных валков ведет к ненормальной работе стана: затрудняется его настройка, получается неправильный профиль полосы. Возмозны даже поломки опорных валков, так как при несимметричном износе их давление прокатки передается на шейки неравномерно и одна из них перенапрягается.

##### б) Валки непрерывного тонколистового стана кварто горячей прокатки

На величину износа валков стана кварто, кроме указанных ранее факторов, влияет взаимодействие рабочего и опорного валков (проскальзывание). Проскальзывание в известной степени зависит от скорости. Так как окружные скорости валков повышаются к последней клетке, то можно ожидать и увеличения проскальзывания и износа валков от первой клетки к последней.

На рис. 62 показаны профили выработанных рабочих и опорных валков. Масштабы схем: по горизонтали 1:10, по вертикали 100:1.

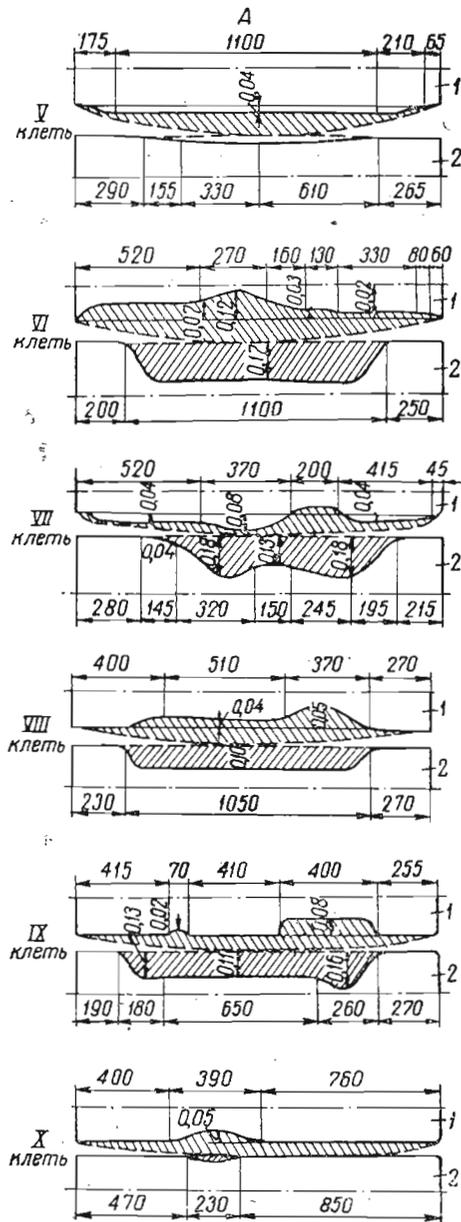
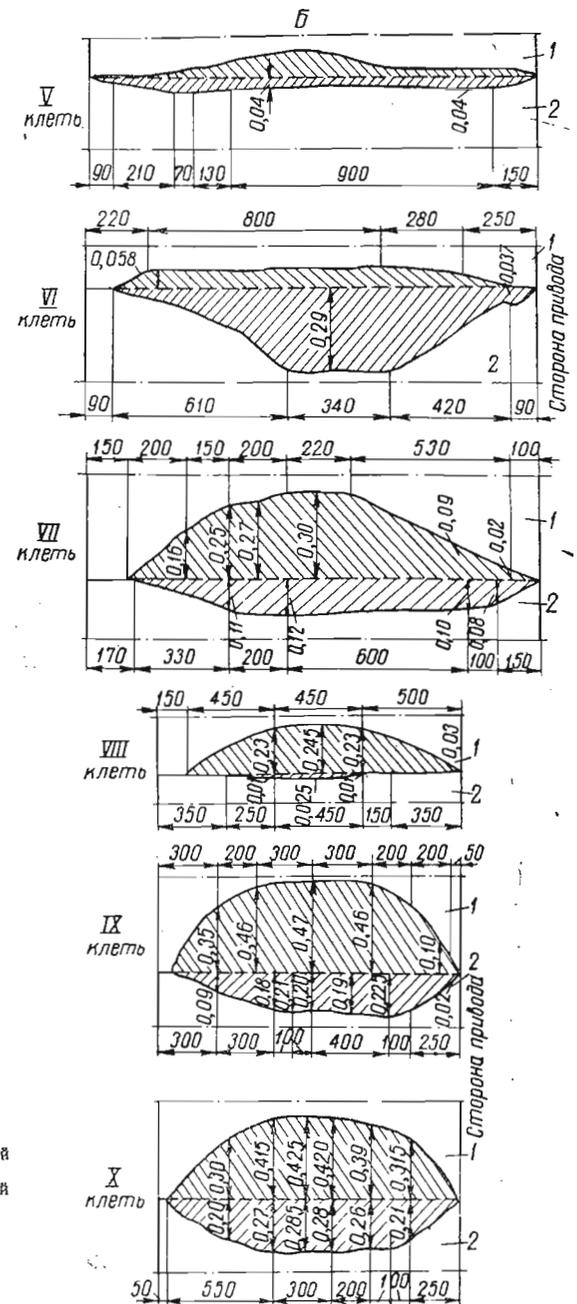


Рис. 62. Износ валков непрерывного тонколистового стана горячей прокатки:  
 1 — верхний рабочий валок; 2 — нижний рабочий валок



1 — верхний опорный валок;  
 2 — нижний опорный валок



0,5—0,75 мм, а на участках *CD* и *MN* он возрастает до 1—1,5 мм. Боковые стенки интенсивно вырабатываются на участках *BC* и *NP*, где износ составляет 3—4 мм. Точки *C* и *N* расположены на высоте 10—15 мм от дна ручья; точки *B* и *P* отстоят от них на 20—30 мм. Затем до точек *A* и *R* выработка снижается до нуля и далее на буртах не наблюдается; точки *A* и *R* расположены примерно на половине высоты боковой стенки ручья.

Износ остальных калибров имеет в общем аналогичный характер. В табл. 3 приведены данные об износе II—VII ручьев валков блюминга. Большие колебания износа на участках *AB* и *PR* обусловлены тем, что операторы блюминга допускают различное заполнение калибров.

### б) Калибры обжимных клетей

На рис. 65 показан износ прямоугольного калибра обжимной клетки трио сортопрокатного стана «550» после прокатки в тече-

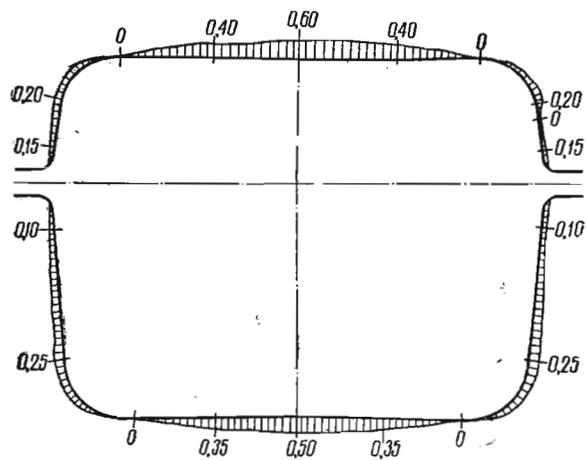


Рис. 65. Износ прямоугольного калибра обжимно-заготовочного стана

ние 568 часов более 17 тыс. т стали разных марок, преимущественно среднеуглеродистых, низкоуглеродистых и низколегированных.

Изображенный на рисунке калибр является пятым по счету в обжимной клетке и расположен в нижнем уровне прокатки. Верхний ручей врезан в средний стальной валок с таким химическим составом: 0,57% С; 0,78% Мп; 0,30% Si; 0,042% S; 0,028% Р. Нижний ручей врезан в нижний стальной валок следующего химического состава: 0,51% С; 0,73% Мп; 0,37% Si; 0,038% S;

0,034% Р. Валки взяты новые, не подвергавшиеся термической обработке, и заложены в стан первый раз.

Как видно из рисунка, калибр изнашивается неравномерно. Наибольший износ наблюдается в середине его дна. На боковых стенках больше всего вырабатываются места у галтелей дна ручья. На дне калибра возле галтелей износ не происходит.

Износ, показанный на рис. 65, можно считать типичным для прямоугольных калибров.

Таблица 3

Износ ручьев валков блюминга

№ калибров	Износ ручья на участках, мм				
	<i>ELK</i>	<i>DE</i> и <i>KM</i>	<i>CD</i> и <i>MN</i>	<i>BC</i> и <i>NP</i>	<i>AB</i> и <i>PR</i>
II	1,5—2,5	0—1,5	1,5—2,0	3,0—5,0	0—3,0
III	2,5—3,0	0—0,5	0,5—2,0	3,0—5,0	0—3,0
IV	3,5—5,0	0—0,5	0,5—2,0	2,0—3,5	0—2,0
V	0—0,5	0—0,2	0—0,5	0—0,5	0—0,5
VI	2,5—3,0	0—0,5	0,5—1,5	1,5—2,5	0—1,5
VII	2,5—3,0	0—0,5	0,5—1,5	1,5—2,5	0—1,5

### 3. КВАДРАТНЫЕ КАЛИБРЫ

Некоторые данные о характере износа квадратных, ромбических и стрелчатых калибров приведены в работе В. А. Писанко [37]. Эти калибры изнашиваются главным образом в вершинах и прилежащих к ним частях боковых сторон, независимо от системы калибровки, так как металл в их вершинах всегда подвергается наибольшему обжатию.

Ю. М. Чижиков [55] отмечает, что при прокатке изменяются геометрические размеры калибра и в результате износа квадратный калибр принимает форму, близкую к кругу.

Необходимо отметить, что тот или иной характер износа зависит от системы калибровки.

На рис. 66, а показан износ квадратного калибра обжимной клетки трио 520 мм мелкосортного стана «260». Калибр стальных валков, прокатавших за 48 часов 2412 т квадрата со стороной 54 мм, под влиянием износа приобрел округлую форму. В местах максимального износа, расположенных почти посередине стороны квадрата, калибр увеличился на 7,5—7,6 мм. По вершине ручья изнашиваются значительно меньше: вертикальная диагональ квадрата увеличилась только на 3,8 мм. Минимальный износ происходит у разъема, но в этих местах валки обычно сильно выщерблены.

Рис. 66, б дает представление о деформации металла в рассматриваемом квадратном калибре, в который задается шести-

гранник. Относительное обжатие посредине калибра оказывается минимальным и резко возрастает в краевых точках металла, в силу чего калибр быстрее изнашивается в этих местах.

На рис. 67, а показан износ квадратного калибра второй обжимной клетки мелкосортного стана «260». Калибр стальных валков предназначен для прокатки квадрата со стороной 33,3 мм. В калибре, работавшем 36 часов, прокатано 1809 т металла.

По характеру износа этот калибр резко отличается от предыдущего. Прежде всего, он изнашивается менее неравномерно: разница между наибольшим и наименьшим износом составляет 0,40—0,45 мм (в предыдущем случае 3,65—4,0 мм). Максимальный износ наблюдается у вершин ручьев и достигает 1,10—1,45 мм. Износ уменьшается по мере приближения к разъему калибра и у разъема составляет 0,7—1,0 мм. Такой характер износа иллюстрируется рис. 67, б, из которого видно, что относительное обжатие по ширине калибра изменяется очень незначительно.

Таким образом, износ диагональных квадратных калибров в большой степени зависит от характера происходящей в них деформации металла. С этой точки зрения невыгодно применять шестигранную форму раската, задаваемого в квадрат. Шестигранные калибры, чередующиеся с диагональными квадратными, весьма распространены на практике в обжимных и черновых клетях сортопрокатных и проволочнопрокатных станов, поскольку они упрощают форму и настройку вводных линеек квадратного калибра. Однако для уменьшения износа выгоднее применять системы калибровок ромб — квадрат или овал — квадрат.

В практических условиях при выборе систем калибровки всегда необходимо учитывать технологические и эксплуатационные их особенности, а также износостойкость калибров и время, затрачиваемое на перевалки.

#### 4. КРУГЛЫЕ И ОВАЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ

##### а) Калибры для прокатки кругов

В литературе [37] имеются отдельные указания на характер износа круглых и овальных калибров, применяемых для прокатки сортового металла. Овальные калибры изнашиваются главным образом в тех точках, где металл квадратного сечения входит в овал углами. В частях сечения, соответствующих этим точкам, обжатие оказывается максимальным, что и приводит к износу этих частей.

Круглые калибры изнашиваются преимущественно в вершине и внизу, так как в этих местах происходит максимальное обжатие в круге, в который задается металл овального сечения. В действительности, как показывает практика, такой износ наблюдается только при задаче в круглый калибр очень плоского овала с острыми углами. Чистовые круглые калибры наиболее изнаши-

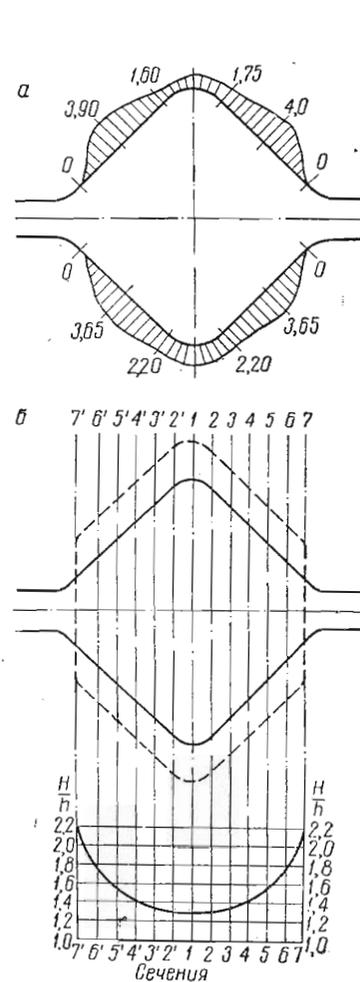


Рис. 66. Износ и распределение обжатий в квадратном калибре сечением 54 мм

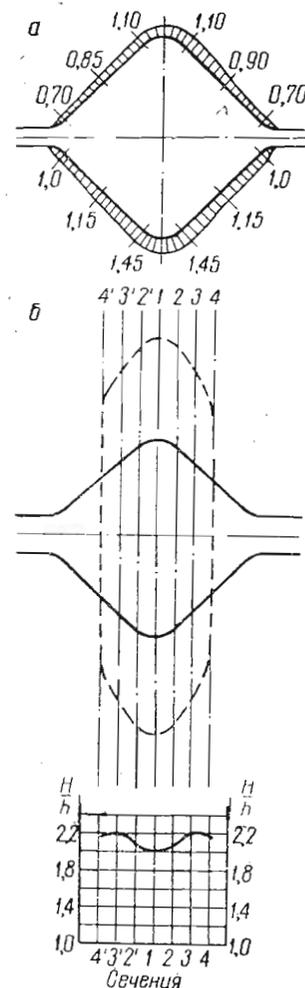


Рис. 67. Износ и распределение обжатий в квадратном калибре сечением 33 мм

ваются не в вершине и внизу, а в местах, расположенных под некоторым углом к осям калибра.

Исследование износа круглых (чистовых) и овальных (предчистовых) калибров для прокатки сортового металла производилось авторами настоящей работы на двух заводах. Износ калибров для прокатки круглой стали диам. 50, 54, 55 и 60 мм изучался на сортопрокатном стане трио «450». Износ калибров для прокатки круглой стали диам. 90 и 100 мм замерялся на рельсобалочном стане дуо «800».

Предчистовые овальные калибры для прокатки кругов среднего диаметра построены таким образом, что металл при идеальном заполнении калибра приобретает остроугольную форму. Очертания калибра строятся одним радиусом из одной точки для каждого ручья. Эти радиусы больше половины и меньше полной высоты вытесы калибра.

Овальные калибры для прокатки кругов большого диаметра спроектированы несколько иначе. Контуры калибра состоят в центральной части из прямолинейных горизонтальных участков, переходящих с обеих сторон в криволинейные, описанные радиусами меньше половины высоты калибра. Концы криволинейных участков образуют с поверхностью валка угол, близкий к прямому.

Чистовые круглые калибры в обоих случаях представляют собой сечение круга соответствующего диаметра с учетом температурного коэффициента.

Износ овальных и круглых калибров определялся путем замера щупом зазора между валком и наложенным на ручей шаблоном. Для замеров применялись заводские шаблоны с заплечиками. Точки замера были строго определены и равномерно распределены по периметру ручья (на овальных калибрах среднего размера было избрано 10 точек, на овальных калибрах большого размера — 18 точек, на чистовых калибрах для прокатки кругов всех размеров — тоже 10 точек). Несовпадение мест максимального или минимального износа с постоянными точками замеров каждый раз отмечалось особо.

Перед постановкой валков в клеть проверялась правильность расточки калибров. Все отступления от чертежа фиксировались. После работы калибров износ их определялся при зафиксированной для новых калибров установке шаблонов. Применение шаблонов с заплечиками позволяло при замерах определять абсолютный износ валков.

На рис. 68, а схематически показан износ предчистового овального калибра для прокатки круга  $d = 54$  мм. В калибре прокатано 220 т металла. Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна, нижний — из полутвердого. Из этой схемы видно, что посередине калибра и у разъема износ валка минимальный. Наибольший износ наблюдается на расстоянии примерно одной шестой ширины калибра от разъема валков. Такой

вид износа обусловлен различным скольжением металла в разных частях калибра. Минимальное скольжение металла в очаге деформации должно быть посередине калибра, где наблюдается только продольное скольжение при минимальной длине очага деформации, и у мест разъема, куда металл подходит благодаря уширению в конце обжатия.

В местах, соответствующих максимальному износу, скольжение оказывается наибольшим, так как металл здесь проходит наибольший путь вдоль очага деформации, и здесь же возникает максимальное поперечное скольжение от уширения. Кроме того, износу овального калибра по описанной схеме способствует неравномерное распределение обжатий по ширине раската.

На рис. 68, б показан износ предчистового овального калибра для прокатки круга диам. 100 мм. В калибре прокатано 600 т металла. Верхний валок изготовлен из низколегированного чугуна, нижний — из полутвердого. По характеру износа калибр, несмотря на различие форм, подобен предыдущему калибру, но в данном случае обнаружены совершенно неизношенные места у разъема валков вследствие незаполнения калибра металлом.

Износ чистового круглого калибра для прокатки круглой стали диам. 90 мм характеризует рис. 68, в. В калибре было прокатано 750 т металла. Валки изготовлены из низколегированного чугуна и имеют твердость бочки, равную 45 Н<sub>от</sub>. Из этого рисунка видно, что круглый калибр изнашивается подобно овальному. Наименее изнашиваемые места расположены по вертикальной оси калибра. Наибольший износ наблюдается в местах, располагающихся под углом примерно в 40° к горизонтальной оси калибра. Если прокатка в предчистовом овальном калибре возможна и при неполном заполнении его, то заполнение чистового калибра обязательно для получения точного профиля. Это сказывается на износе выпусков калибра, который приближается к максимальному, а иногда равен ему. Характер износа позволяет заключить, что основным фактором,

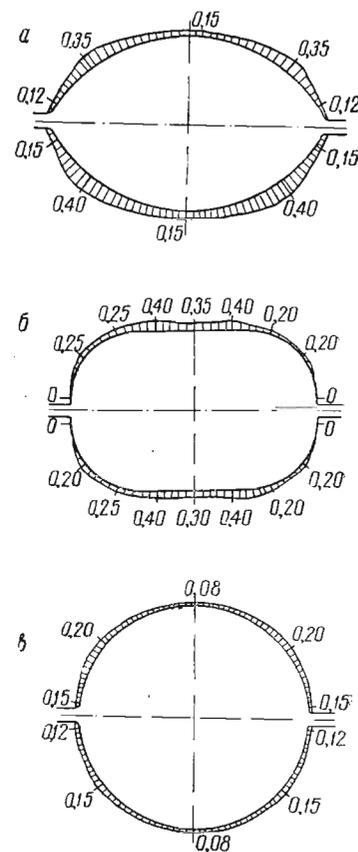


Рис. 68. Износ калибров: а и б — овальных; в — круглого

влияющим на износ круглых калибров (точно так же, как и овальных), является продольное и поперечное скольжение металла в очаге деформации. Описанному виду износа могут способствовать прокатка невыполненного овала и сваливание овального раската в чистовом калибре.

### б) Калибры для прокатки труб

Износ круглых калибров для прокатки труб исследовался рядом ученых [13, 48]. Для выяснения характера износа валков непрерывного трубопрокатного стана были проведены специальные наблюдения за двумя комплектами таких валков. После каждой перевалки брались восковые или гипсовые отпечатки с изношенных калибров. Очерчивая отпечатки и сравнивая их с шаблонами, по которым вытачивались валки, получали картину износа калибра.

Чтобы определить глубину износа калибра по его образующей и на основании этого построить среднюю

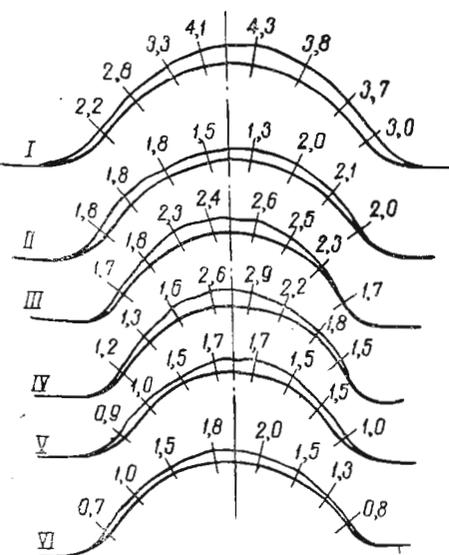


Рис. 69. Износ ручьев непрерывного трубопрокатного стана

форму изношенного калибра, полученные фигуры отпечатков замерылись в восьми точках.

По средним показателям износа на рис. 69 воспроизведена форма изношенных калибров. Чрезвычайно большой износ имеет первый калибр по глубине. Это отчасти объясняется тем, что первый калибр при переточках не доводит до поверхности шаблона, а оставляют его несколько глубже, тогда как остальные калибры перетачивают строго по шаблону. Определенное значение имеет и то обстоятельство, что термические условия работы этого валка наиболее тяжелые.

Второй калибр изнашивается не в середине, а по краям, что, повидому, обусловлено значительным поперечным перемещением металла при большом коэффициенте вытяжки. Применение электронатправки (см. главу VI) резко снизило износ калибров.

Абсолютный износ калибров автоматического стана определялся путем замеров шупом зазора между телом валка и установленным в ручье шаблоном. Замеры производились в семи точках по ручью (через каждые  $30^\circ$ ) с точностью до 0,1 мм.

Среднеарифметические величины износа во всех идентично расположенных точках калибров каждой пары валков приведены в табл. 4.

Таблица 4

Средние величины износа калибров автоматического стана [13]

Расположение точек, в которых замерялся износ калибра	Диаметр трубы, мм	Средний износ калибра в точках, мм							Проката по труб, м
		1	2	3	4	5	6	7	
	76	0	1,21	1,29	1,31	1,16	1,08	0	12000
	89	0	1,54	1,50	1,44	1,48	1,52	0	17500
	114	0	2,38	2,38	2,60	2,38	2,50	0	32000
	83	0	1,30	1,50	1,76	1,60	1,37	0	10600
	89	0	1,66	1,30	1,31	1,37	1,32	0	13600

Результаты исследования показывают, что в непрерывных и автоматических станах круглые калибры изнашиваются неравномерно. Все же форма значительной части калибра сравнительно хорошо совпадает с первоначальной, что позволяет до некоторой степени устранять последствия износа соответствующей настройкой стана. Несколько повышенный износ наблюдается в точках 2 и 6, расположенных под углом  $30^\circ$  к оси валка. Калибр может выйти из строя вследствие изменения своей геометрической формы, а чаще — из-за появления «сетки» или «заполировки», что ведет к ухудшению наружной поверхности трубы.

### 5. РЕЛЬСОВЫЕ КАЛИБРЫ

Рельс — весьма ответственное изделие, прокатываемое с узкими допусками по размерам. Несимметричность профиля рельса относительно одной из осей сечения вынуждает вести прокатку в условиях значительной неравномерности деформации. Глубокий врез профиля в валки способствует неравномерному износу калибров из-за большого различия окружных скоростей в разных точках калибров.

Высокие требования к чистоте поверхности рельсов не позволяют вести прокатку на валках с изношенными шероховатыми чистовым и предчистовым калибрами.

Для прокатки железнодорожных рельсов применяются калибры различных форм (см. рис. 18). Первые имеют трапециевидальную форму с клиновым разрезом пяты; они обеспечивают получение таврообразного сечения и упрочнение середины пяты в результате ее усиленной деформации. Далее идут черновые калибры, в которых чередуются открытые и закрытые фланцы пяты и головки в целях постепенного их утончения. Чистовой калибр

имеет односторонний врез пяты и симметричный врез головки в оба валка, благодаря чему головка рельса приобретает необходимую закругленность. Подошва рельса врезается в валок с минимальным уклоном во избежание защемления металла.

В последние годы на рельсобалочных станах стали применять калибровку с косым расположением черновых калибров. Такая калибровка улучшает условия деформации металла в калибре и удлиняет срок службы валков вследствие меньшего съема металла при переточках.

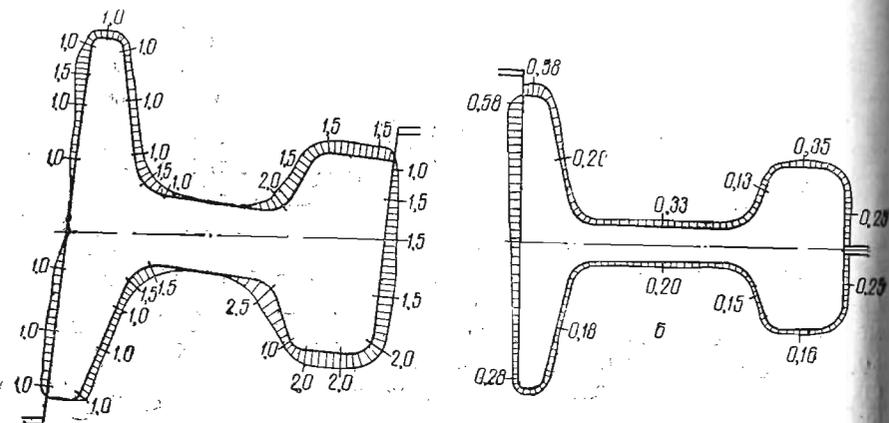


Рис. 70. Износ рельсовых калибров:  
а — черногого; б — чистового

На рис. 70, а представлена схема износа черногого калибра при прокатке рельсов типа Р-50 (по данным завода «Азовсталь»). Оба валка — стальные. Поверхность ручьев подвергалась закалке коксокислородным пламенем: В калибре было прокатано 5990 т металла. Из рисунка видно, что максимальному износу подвергаются места калибра, формирующие головку рельса (износ до 2,0—2,5 мм). В меньшей степени, но все же довольно сильно, изнашиваются открытые и закрытые фланцы, формирующие подошву рельса.

Износ чистового рельсового калибра показан на рис. 70, б. Оба валка — чугунные. Схема построена по средним данным замеров износа семи чистовых калибров<sup>1</sup>. Максимальный износ, достигающий 0,58 мм, наблюдается в открытом фланце — в месте наиболее интенсивного скольжения прокатываемого металла по валкам.

<sup>1</sup> Данные проф. С. Ф. Чукмасова.

## 6. ОКОННОРАМНЫЙ ПРОФИЛЬ

Характер износа калибров для прокатки оконнорамного профиля описан С. Н. Филиповым [44]. На рис. 71 показан износ первых шести калибров после прокатки 188 т металла в каждом из них. В чистовом калибре было прокатано 80 т металла оконно-

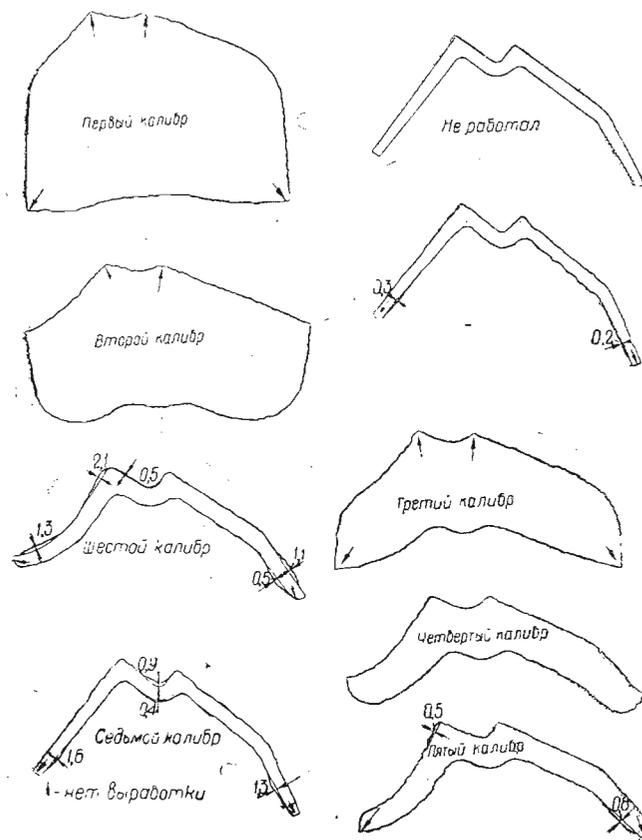


Рис. 71. Износ калибров для прокатки оконнорамного профиля

рамного профиля. Из рисунка видно, что первые четыре калибра изнашивались более или менее равномерно. Пятый калибр выработался неравномерно: максимальный износ, достигающий 0,8 мм, обнаружен в открытой части — в конце длинной полки. Шестой, предчистовой, калибр по степени износа резко отличается от черновых. Поверхность ручьев в конце длинной полки изнашивалась: по верхнему валку — на 1,1 мм, по среднему — на 0,5 мм; в конце

короткой полки износ по верхнему валку составил 1,3 мм, по среднему — 0,3 мм. Верхний валок в глубине ручья (начало короткой полки) износился на 2,1 мм. Таким образом, предчистовой калибр, который должен быть особенно стойким, изнашивается значительно интенсивнее черновых. После прокатки 200 т металла калибровка была значительно искажена.

Так же быстро изнашивались и чистовые калибры. Износ чистового калибра после прокатки 80 т металла в конце короткой полки составил 1,6 мм, а в конце длинной полки — 1,3 мм. Суммарный износ посередине калибра достигал 1,3 мм.

Вследствие неравномерного износа предчистового калибра увеличилась длина полок во время прокатки в чистовом калибре. Однако при одновременном износе концов полок в чистовом калибре уширение растет незначительно. При переходе же на новый чистовой калибр уширение резко возрастает, что вызывает брак по ширине профиля.

Исследования износа калибров показали, что основную тяжесть работы необходимо перенести на первые калибры. В этих же калибрах следует полнее формировать полки. Обжатие в предчистовом и чистовом калибрах должно быть небольшим.

Износ черновых фасонных и чистового калибров<sup>1</sup> для прокатки оконнорамного профиля № 8 представлен на рис. 72. Из рисунку видно, что очень неравномерному и наиболее сильному износу подвергаются верхние валки во втором и третьем черновых и в чистовом калибрах. Особенно велик износ чистового калибра в месте перехода шпоры в полку. Это, повидимому, обусловлено большой и неравномерной деформацией металла в чистовом калибре. Стойкость чистовых калибров в результате неравномерного износа низкая и колеблется от 5 до 10 т на калибр за постановку.

## 7. ПОРОКИ ПРОКАТА ОТ ИЗНОСА КАЛИБРОВ

Пороки проката возникают главным образом от неправильного температурного режима и неправильной настройки стана [5, 10, 14, 43, 44, 55]. Кроме того, большой процент пороков в готовой продукции обуславливается износом валков. Эти пороки обычно не устраняются настройкой стана и требуют смены изношенных калибров или перевалки. Ниже на примере некоторых профилей показаны пороки проката, вызываемые износом калибров.

По размерам. Основной причиной брака готовой продукции является выход размеров профиля за пределы плюсового допуска. Так, перевалку валков при прокатке угловой стали приходится делать из-за выхода за пределы допуска толщины полки, причем из анализа износа калибров и наблюдений за темплетами видно (см. главу III), что наиболее интенсивное увеличение размеров наблюдается у краев полок.

При прокатке фланцевых профилей брак по размерам возможен за счет выхода толщины полок за пределы плюсового допуска, причем настройкой стана устранить этот брак невозможно. В том случае, когда сильно изношены поверхности гребней предчистового калибра, неизбежен брак готовой продукции по толщине шейки, выходящей за пределы плюсового допуска

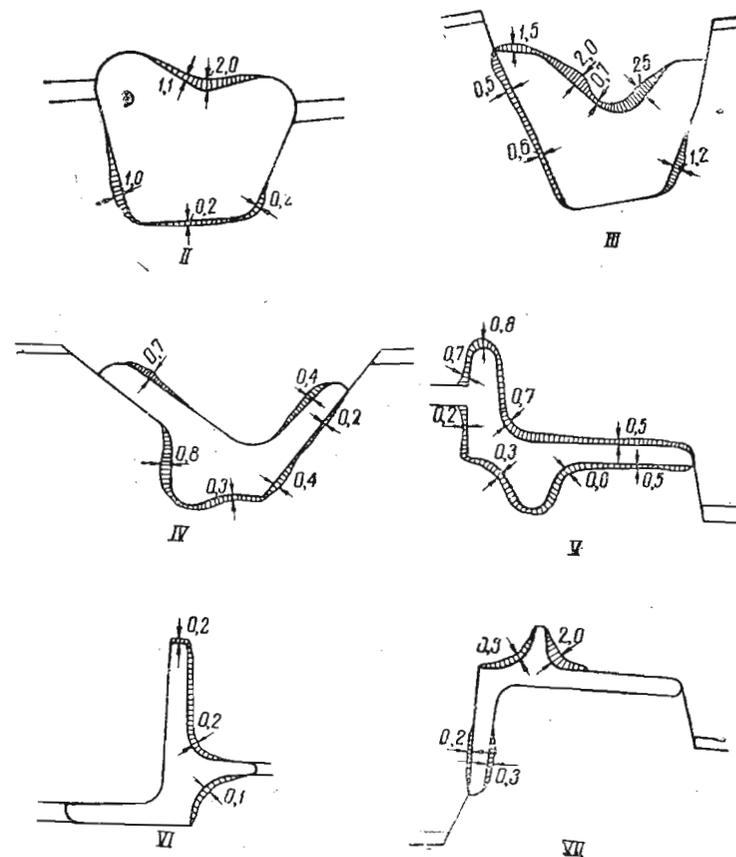


Рис. 72. Износ калибров для прокатки оконнорамного профиля № 8

(см. главу IV). При попытке устранить последний вид брака настройкой неизбежен другой вид брака — волна по шейке профиля, образующаяся вследствие перераспределения обжатий элементов профиля.

Волна. Во время прокатки швеллеров и балок предчистовые калибры неравномерно изнашиваются по вертикали: фланцы почти не изнашиваются, а полотно гребня стирается довольно значительно. Чтобы получить хороший профиль из чистового калибра, в нем нужно увеличить толщину шейки. По мере выра-

<sup>1</sup> По материалам инж. И. А. Крупника.

ботки предчистового калибра толщина шейки готового профиля все возрастает, приближаясь к плюсовому допуску. Дальнейшая работа на изношенном предчистовом калибре приводит к образованию волны по шейке готового профиля (вследствие слишком большого обжатия шейки при незначительном обжатии фланцев), либо к выходу за пределы допуска.

При увеличении неравномерности деформации уменьшается период и возрастает высота волны. Дальнейшее увеличение обжатия шейки приводит к образованию надрывов металла. В конце



Рис. 73. Пороки проката из-за неравномерной деформации

концов различная деформация шейки и фланцев приводит к образованию разрывов металла. Все три стадии развития этого порока показаны на рис. 73.

Низкая или волнистая полка. При прокатке фланцевых профилей вследствие износа предчистовых калибров перераспределяются обжатия между отдельными элементами профиля в чистовом калибре. В результате профиль выходит с низкой или волнистой полкой (ширина полки меняется по длине штуки).

Невыполнение профиля. В результате износа чистового калибра по ширине и по дну (нижний валок) при прокатке швеллеров<sup>1</sup> на полотне готового профиля получается тупой (скошенный) угол.

<sup>1</sup> Это явление наблюдалось на швеллерах № 10 и 12.

При прокатке двутавровых балок из-за смятия кромок гребня верхнего валка и износа поверхности гребня предчистового калибра раскат поступает в чистовой калибр, имея размеры, отличные от чертежных. Шейка раската посередине толще, чем около фланцев; края полки толще, а основания тоньше расчетных. В результате этого обжатия в чистовом калибре распределяются настолько неравномерно, что получается невыполнение внутренних углов профиля, оформляемых верхним валком (рис. 74).

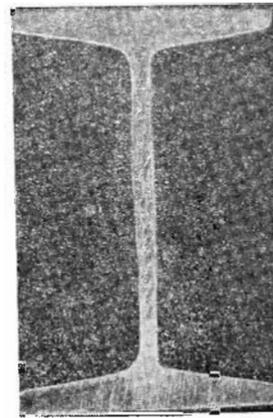


Рис. 74. Невыполнение внутренних углов при прокатке двутавровой балки

Чешуйчатость. При прокатке швеллеров<sup>1</sup> в чистовой клети боковая поверхность гребня верхнего валка очень сильно изнашивается («выгорает»), а внутренняя поверхность полки

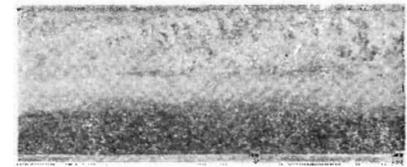


Рис. 75. Чешуйчатость на внутренней полке швеллера

швеллера получается чешуйчатой (рис. 75). Возникновение чешуйчатости можно объяснить следующим образом. Так как окружная скорость гребня валка меньше скорости выходной полосы, то в очаге деформации полоса скользит по валку. Неровности валка, сдвигая находящийся против них металл раската, образуют чешуйки. Направление кривых, ограничивающих чешуйки, подтверждает эпюру распределения скольжения на выходе полосы (см. рис. 41).

При дальнейшей работе на изношенном калибре (при увеличении неровностей валка) чешуйки на внутренней поверхности полки увеличиваются и получают вид крупных, как будто сдвинутых пластинок (рис. 76).

Заусеницы, закаты. Одной из причин образования заусениц, а в дальнейшем — закатов является работа на сильно изношенных черновых калибрах при менее изношенных или совсем новых последующих калибрах. Прокатка полосы при этом происходит с большим уширением и образованием заусениц. В последующих калибрах заусеницы сминаются и образуют закаты.

<sup>1</sup> Как это наблюдалось на швеллерах № 10 и 12.

Скручивание полосы. Иногда из-за неправильной установки арматуры или валков происходит несимметричный износ калибров. По мере увеличения неравномерности (относительно оси симметрии) износа калибра увеличивается несимметричность обжатия металла в данном и следующих калибрах. В результате неравномерных обжатий тыловой конец штуки скручивается. При весьма неравномерном износе возможна поломка валков.

Раковины. Во время прокатки вследствие большого давления на поверхность калибра налипают частицы металла и на валке образуются наросты, шишки. При прохождении раската через чистовой калибр наросты выштамповывают на нем вмятины, раковины.

Раковины возможны на всех профилях. Чаще всего они встречаются на закрытых фланцах двутавровых балок, на шейках швеллеров или балок. В тех случаях, когда раковины образуются в чер-



Рис. 76. Чешуйчатость на внутренней полке швеллера (в виде крупных пластин)

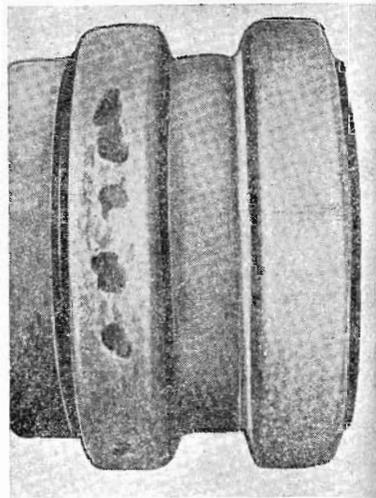


Рис. 77. Вырывы металла на гребне валка, приводящие к образованию шишек на прокатываемом профиле

новых калибрах, при дальнейшей прокатке они сжимаются и могут превратиться в складку — трещину.

Шишки. Во время работы на полотне валка иногда образуются вырывы металла, особенно при прокатке швеллеров и балок (рис. 77). Вырывы наблюдаются посередине горизонтальной поверхности гребня и достигают у чистовых валков по глубине 2,5—3,0 мм, по ширине 5—15 мм и по длине 10—15 мм; у предчистовых валков вырывы бывают глубиной до 7 мм, шириной до 60 мм и длиной до 100 мм.

При работе на таких валках готовый профиль получается с шишками (выступами) в соответствующих местах.

## ГЛАВА VI

### ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

#### 1. ВАЛКИ С ЛИТЫМИ РУЧЬЯМИ

Для производства сортового проката и труб применяются валки с вырезными или литыми ручьями. Первые отливаются с гладкой бочкой из различных по химическому составу и структуре сталей и чугунов; вторые — из чугуна в профилированные кокили, вследствие чего отливки получают почти параллельно контурам калиброванной бочки валка. Глубину отбеленного слоя, обладающего повышенной твердостью, можно регулировать изменением толщины краски и намазки внутренних поверхностей кокилей.

Основным недостатком валков с вырезными калибрами является несоответствие между глубиной чистого отбела в поставляемых валках и глубиной, необходимой для обеспечения равномерного износа калибров и максимальной стойкости валков. При прокатке двутавровой балки № 10 максимальная глубина вреза в чистовой валок составляет 83 мм. Так как при переточках валка снимается примерно 20—25 мм металла на сторону, то, с учетом припуска на обработку, необходимая глубина отбеленного слоя составит приблизительно 120 мм. Примерно такая же глубина отбела чистовых валков необходима для прокатки угловой стали 100 × 100 мм и швеллеров № 10 и 12. Это требование, однако, не удовлетворяется вследствие затруднений, возникающих при отливке валков с такой большой глубиной отбела. При отливке валков с чистым отбелом глубиной в 35—45 мм и более часто получают насквозь отбеленные валки, в связи с чем вальцелитейные заводы принимают заказы на отливку валков, глубина отбеленного слоя которых не превышает 10% их диаметра.

Вырезка калибров на глубину 100—120 мм при отбеленном слое в 20—30 мм приводит, как уже отмечалось, к неравномерному износу ручьев, ухудшению качества поверхности прокатываемой продукции и преждевременному выходу валков из строя.

При обточке гладких литых валков снимается значительная часть отбеленного слоя, что связано с большими расходами на

механическую обработку валков. На калибровку пары отбеленных валков с гладкой бочкой для мелкосортного стана затрачивается значительно больше времени, чем на переточку [20].

Таблица 5

N	Типы кокилей, применяемых для отливки профил. валков	Виды продукции, прокатываемой профилированными валками
1		Равнобокие угелки: 25×25; 30×30; 35×35; 40×40; 45×45; 50×50; 60×60; 75×75; 80×80; 90×90; 100×100
2		Неравнобокие угелки: 45×30; 60×40; 75×50; 90×60; 100×75; 120×80; 130×90
3		Бортовое кольцо N 128, 203 и др.
4		Швеллеры от 5 до 18 номеров, оконнорамный переплет, балка N 22, 27 и др.
5		Трубы диаметром от 44 до 325 мм
6		Круглое железо и трубы диаметром от 32 до 310 мм
7		Трубы диаметром от 44 до 310 мм (правка)
8		Железнодорожные рельсы П-38, Р-43 и др.

и т. д. Виды продукции, прокатываемой в валках с литыми ручьями, приведены в табл. 5, составленной А. Е. Кривошеевым.

Технология отливки валков с литыми ручьями [20—25] разработана настолько детально, что в настоящее время не представляет затруднений отливка валков любого качества. Кокили для отливки грубопрофилированных валков двух видов показаны на рис. 78, а и б.

Указанные недостатки исключаются при работе на валках с литыми ручьями, которые приобретают все большее распространение.

Валки с литыми ручьями применяются на сортопрокатных, рельсобалочных, трубопрокатных и трубопрокатных станах. На указанных валках прокатывают разнообразный сортамент: равнобокую и неравнобокую угловую сталь от 25×25 до 100×100 мм, а также от 45×30 до 130×90 мм, бортовые кольца для автомашин, швеллеры № 5—18, двутавровые балки № 22—27, оконнорамные переплеты промышленных зданий, железнодорожные рельсы, круглое железо и трубы разных диаметров.

На валках с литыми ручьями можно успешно прокатывать и такие профили, как квадраты, полосы, автободья, рельсовые накладки и подкладки

Валки с литыми ручьями обладают наивысшей износостойкостью. Так, по данным А. Е. Кривошеева, при прокатке угловой стали 40×40 и 45×45 мм на мелкосортном стане валки с рабочим слоем твердостью 260  $H_B$  за одну постановку в клеть прокатывали 50 т металла на калибр (на более мягких валках — до 30 т), а после закалки в кольцевых печах — по 60—70 т. Применение более твердых, не подвергаемых термической обработке, валков с шаровидным графитом повысило стойкость до 65—70 т на калибр при твердости 315—325  $H_B$  и до 85—95 т при твердости 340—380  $H_B$ . Валки с отбеленными литыми ручьями прока-

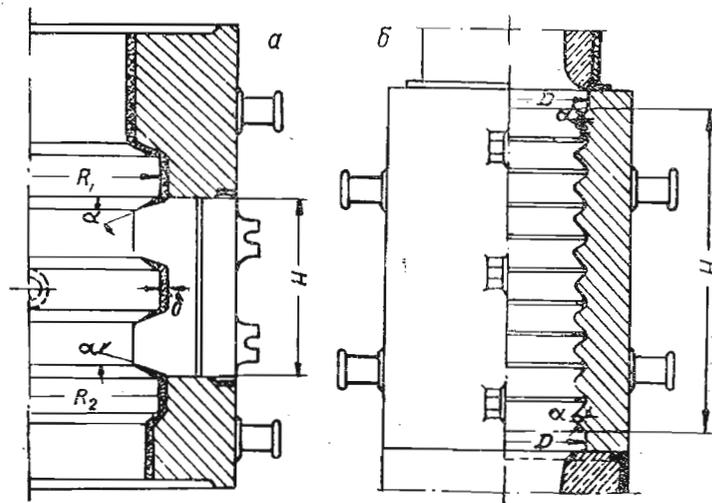


Рис. 78. Кокили для валков с литыми ручьями

тывали по 85—100 т при твердости 370—380  $H_B$  и по 120—150 т при твердости 390—420  $H_B$  (на первых постановках при твердости рабочей поверхности 430—460  $H_B$  прокатано в среднем 209 т).

Высокая стойкость валков с литыми ручьями обеспечивается наличием слоя чистого отбела по дну ручья глубиной в 16—20 мм.

При прокатке рудничных рельсов на среднесортном стане валки с твердостью 220—240  $H_B$  прокатывали за одну постановку в клеть 90—110 т металла на калибр и 200—250 т при твердости 290—310  $H_B$ .

На крупносортных станах повышение твердости рабочего слоя с 190—210 до 260—280  $H_B$  увеличило стойкость валков в полтора—два раза. Так, чистовые валки с твердостью 200—220  $H_B$  прокатывали за одну постановку 1100—1300 т рельсов Р-43 или швеллеров № 22—24, а после повышения твердости до 260—280  $H_B$  — даже 2600—3000 т. Изменение калибровки валков и ре-

жима их эксплуатации позволило повысить твердость рабочего слоя до 300—330  $H_B$  при сохранении вязкости сердцевины и шеек и соответственно увеличить стойкость валков до 3600—4800 т.

На рис. 79 графически показано, как возрастает стойкость предчистовых валков рельсобалочного стана по мере повышения твердости рабочего слоя (кривая 1). Стойкость валков чистовой клетки того же стана характеризуется на том же рисунке кривой 2.

Во избежание поломок твердость верхних и нижних валков черновых клеток ограничивают величиной 280  $H_B$ , а средних валков — 300  $H_B$ . Для предчистовой клетки твердость соответственно равна 290 и 320  $H_B$ .

Вследствие высокой стойкости описываемых валков сокращаются простой станом на перевалки, улучшается качество проката и возрастает выход годного. Расход валков снижается в 2—4 раза.

К сожалению, прогрессивная технология отливки валков с ручьями применяется не на всех вальцеделательных заводах. Наряду с этим освоение отливки грубопрофилированных валков на всех заводах дало бы огромную экономию металла и привело бы к повышению производительности прокатных станом.

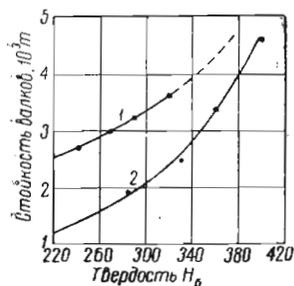


Рис. 79. Зависимость стойкости от твердости рабочего слоя валков:

1 — стойкость в предчистовой клетке рельсобалочного стана; 2 — стойкость в чистовой клетке рельсобалочного стана

ментов на структуру и твердость металла валков с отбеленным рабочим слоем<sup>1</sup>.

Валки с отбеленным рабочим слоем отливают из легированного, среднелегированного (1,0—2,8% Ni; 0,4—1,2% Cr) и высоколегированного (3,4—4,6% Ni; 0,6—1,4% Cr) чугуна. Твердость отбеленного слоя в основном зависит от содержания связанного углерода. При содержании углерода в нелегированном чугуне 2,6—2,8% твердость рабочего слоя не превышает 56—59  $H_{с-1}$ , а при содержании углерода 3,8% твердость возрастает до 74  $H_{от}$  за счет увеличения количества избыточных карбидов.

Другим средством повышения твердости отбеленного слоя является легирование никелем: при введении 1,0—1,8% Ni матрица получает сорбитную структуру, при 1,8—2,8% Ni — трооститную или троостито-мартенситную и при 3,4—4,6% Ni — мартенсито-аустенитную. Твердость валков с мартенсито-аустенито-карбидной

структурой при увеличении содержания углерода от 2,8 до 3,8% возрастает в среднем с 79 до 89  $H_{от}$ .

Для использования таких валков с литыми ручьями необходима разработка и внедрение соответствующего режущего и шлифовального инструмента.

Различным содержанием в чугуне кремния регулируют чистоту и глубину отбеленного слоя. Если снижением содержания кремния не удается достаточно углубить слой чистого отбела, в чугун вводят хром и другие карбидообразующие элементы.

Марганец не оказывает существенного влияния на служебные свойства валков. Он значительно слабее хрома тормозит графитизацию, способствует обессериванию и вместе с кремнием раскисляет чугун. При повышенном содержании (0,8—1,2%) марганец, как и хром, уменьшает интенсивность падения твердости от поверхности вглубь валака.

Качество прокатных валков может быть улучшено модифицированием валкового металла [25, 26]. Обработка валкового чугуна присадками силикокальция, кремния, алюминия, никеля, меди, титана, хрома, ванадия, бора, серы, теллура, магния и других элементов в самых различных сочетаниях позволяет регулировать и улучшать макроструктуру валков. Присадки в ковш или в литник применяют при отливке отбеленных валков из расплавов с плохой отбеливаемостью. Даже при таких расплавах модифицирование дает возможность получать валки с глубиной чистого отбела 15—25 мм и переходным слоем 25—40 мм.

Макроструктуру валков улучшает присадка в ковш силикокальция или комплексных присадок типа серы с ферросилицием, теллура с ферросилицием, магния с ферросилицием и др.

С 1949 г. наибольшее распространение получило модифицирование чугуна магнием, что позволяет значительно повысить износостойкость и прочность прокатных валков. Магний, в отличие от других элементов, коренным образом изменяет структуру чугуна; графит при этом выделяется не в виде пластинок, а в виде глобулей (шариков). Чугун с шаровидным графитом по своим механическим свойствам (табл. 6) близок к литой стали, у которой предел прочности при растяжении равен 40—60  $кг/мм^2$ .

Серый с шаровидным графитом чугун твердостью 270  $H_B$ <sup>1</sup> имеет предел прочности при растяжении 40  $кг/мм^2$ , удлинение 1,34%, временное сопротивление изгибу 88  $кг/мм^2$ , стрелу прогиба 0,49 мм и ударную вязкость 0,33  $кгм/см^2$ . Отбеленный чугун твердостью 450  $H_B$  имеет предел прочности при растяжении 22  $кг/мм^2$ , удлинение 0,65%, временное сопротивление изгибу 52  $кг/мм^2$ , стрелу прогиба 0,3 мм и ударную вязкость 0,14  $кгм/см^2$ .

Высокие показатели механических свойств серого магниевом чугуна обеспечивают надежную службу прокатных валков. Такие валки могут заменить более дорогие и менее износостойкие сталь-

<sup>1</sup> Из работ А. Е. Кривошеева [24, 25, 26].

<sup>1</sup> По данным А. Е. Кривошеева.

Таблица 6

## Механические свойства магниевого чугуна

Литературные источники	Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>			Стрела прогиба, мм			$\sigma_{\text{в}}$ кг/см <sup>2</sup>
	при растяжении	при сжатии	при изгибе	при	при	$\delta$ %	
				$l=300$ мм	$l=600$ мм		
[7]	48—58	—	74—107	3,0—4,5	—	—	—
[6]	30—80	150—250	75—140	—	15—30	1—15	3—10
[15]	49—72	168—221	108—119	—	8—26	2—22	1,2—1,4
[33]	45—65	—	70—120	—	—	1—10	—

ные валки на обжимных, черновых и предчистовых клетях сорто- и листопрокатных станом, на пилигримовых и других станом.

Приведенные в табл. 7 данные показывают, что применение валков с шаровидными включениями графита на чистовых клетях тонколистовых станом позволило уменьшить поломки валков и повысить их стойкость.

Таблица 7

## Стойкость валков тонколистовых станом

Профиль проката	Стойкость валков в т проката		Поломки валков, %	
	с шаровидными включениями графита	с пластинчатыми включениями графита	с шаровидными включениями графита	с пластинчатыми включениями графита
Тонкий лист . . . . .	2093	510	13,6	100
Кровельное железо . . . . .	752	460	5,0	75
Жесть . . . . .	490	288	0	20

Сортопрокатные валки с вырезными ручьями при изготовлении чугуна с пластинчатыми включениями графита имеют твердость ручьев в среднем  $50 H_{\text{от}}$ , вследствие чего их стойкость оказалась низкой. Применение в тех же условиях валков с шаровидными включениями графита повысило твердость ручьев в среднем до  $55 H_{\text{от}}$  и привело к увеличению стойкости валков на 40—120% (табл. 8).

При производстве валков с шаровидными включениями графита обработку чугуна производят 98—99%-ным магнием марок МГ-1 и МГ-2. Для образования в глубинных слоях прокатных валков шаровидных включений графита остаточное количество магния должно составлять 0,05—0,08% в рядовых чугунах и

## Стойкость валков мелкосортного станом

Профиль проката	Стойкость валков в т проката			
	с пластинчатыми включениями графита		с шаровидными включениями графита	
	за постановку	на один калибр	за постановку	на один калибр
Угловая сталь:				
30×30 мм . . . . .	137	33	296	70
40×40 мм . . . . .	264	43	364	68
45×45 мм . . . . .	248	48	438	90
Бортовое кольцо . . . . .	103	23	166	41
Швеллер № 5 . . . . .	139	43	260	86

0,03—0,06% в расплавах с пониженным содержанием неметаллических включений. Для обработки валкового чугуна магнием применяются специальные испарители емкостью в 10—15 кг с отверстиями диам. 7—12 мм и общей площадью сечения 10—16 см<sup>2</sup>/т. Попадая в расплавленный чугун, металлический магний, имеющий низкую температуру плавления (651°) и испарения (1110°), легко испаряется. Эффективность усвоения магния зависит от времени контакта паров магния с металлом; поэтому наилучшие результаты достигаются при увеличении столба металла в ковше над испарителями и рассредоточении диффундирующих пузырьков магния по всему объему металла.

Применяя различные методы ввода магния в чугун (в ковше или в форму, металлический магний или лигатуры), можно получить валки самого разнообразного качества: от состоящих из серого магниевого чугуна до имеющих твердый отбеленный поверхностный слой из необработанного магнием чугуна и с мягкой, прочной сердцевиной из магниевого чугуна с шаровидным графитом.

На тонколистовых станом, работающих на горячих шейках, к валкам, модифицируемым методом полупромывки, должны предъявляться строгие требования относительно плавного перехода от твердого отбеленного слоя к вязкому — внутреннему. При резком переходе валки предрасположены к растрескиванию и отслаиванию отбела.

А. Е. Кривошеев рекомендует соблюдать следующие условия:

1) применяемый для заливки форм расплав должен образовывать совершенно чистый отбел на глубину не менее 20 мм;

2) общая глубина отбеленного и переходного слоев должна составлять от 45 до 75 мм;

3) при модифицировании сердцевины вала через литник нельзя вводить избыточное количество графитизирующей присадки для предотвращения образования грубой и непрочной структуры.

Как показали наблюдения за эксплуатацией валков из чугуна с магнием, проведенные под руководством А. Е. Кривошеева, их применение вполне целесообразно на черновых и предчистовых клетях листопркатных и сортопркатных станов. В случаях работы чистовых валков с большими нагрузками целесообразно готовить отбеленные валки с литыми калибрами и прочной магниевой сердцевиной, хотя в большинстве случаев обычные отбеленные валки с литыми калибрами вполне удовлетворяют требованиям прочности.

### 3. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА ВАЛКОВ ГАЗОВЫМ ПЛАМЕНЕМ

На многих отечественных заводах уже освоены и внедрены в производство различные способы повышения твердости и износостойкости стальных и чугунных валков путем поверхностной закалки. Нагрев поверхности под закалку производится: токами высокой частоты, контактным способом, пламенными горелками и в кольцевых печах.

Нагрев калиброванных валков под закалку и отпуск токами высокой частоты встречает затруднения, так как требует создания большого числа сложных индукторов по конфигурации калибров.

Контактный нагрев прокатных валков неприменим вследствие больших размеров и сложных очертаний калибров. Кроме того, при контактном нагреве трудно обеспечить требуемую однородность закаленного слоя и провести отпуск на заданную твердость.

Наиболее подходящие в условиях металлургического завода способы повышения износостойкости валков — нагрев газокислородным пламенем и закалка в кольцевых печах.

Поверхностная закалка стальных валков газокислородным пламенем разработана и внедрена специалистами Кузнецкого металлургического комбината, завода «Азовсталь» и Сибирского металлургического института<sup>1</sup> [30, 35].

Наиболее изнашивающиеся участки калибров валков после чистовой обточки подвергают нагреву коксокислородным пламенем и закалке водой. Установка для закалки состоит из станка для вращения валков, трубопроводов для подвода газа и воды, горелок и приборов для контроля за их работой.

Установка Кузнецкого металлургического комбината состоит из расположенных на общей траверсе горелок с шарнирным креп-

лением, которым можно придать любое расположение по отношению к валку. Станина установки выполнена в виде коробки размером 3600×1600×600 мм, которая может быть заполнена водой (имеется канализационный спуск).

На заводах «Азовсталь», им. Петровского и других горелки установлены на специально приспособленном для этого вальцетокарном станке, имеющем роликовые люнеты (рис. 80). Предусмотрена возможность получения любой окружной скорости вал-

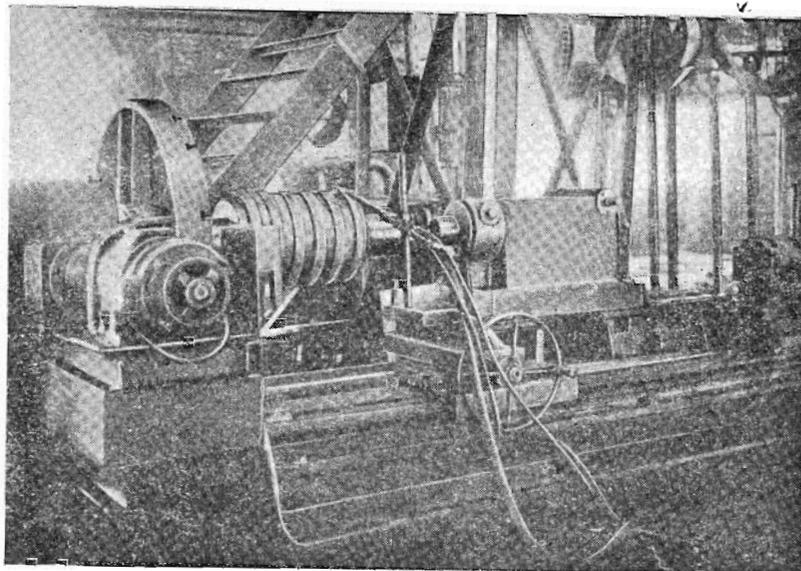


Рис. 80. Закалка прокатного вала

ков в пределах 40—200 мм/мин, при диаметре валков от 300 до 1200 мм. Во избежание проскальзывания и движения рывками валок вращается принудительно — посредством захватных хомутов, надеваемых на трещ.

Станок для закалки валков оборудован устройством для подачи газа и воды, а также для отвода охлаждающей воды. Коксовый газ подводится к коллектору, снабженному штуцерами с вентилями и задвижкой. Для определения расхода газа устанавливаются самопишущие расходомеры. Кислород подводится от баллонов также к коллектору, имеющему вентили, с помощью которых включаются и отключаются сменяемые баллоны без остановки работы всей установки.

Применение коллектора и его размеры обуславливаются продолжительностью операции закалки и расходом кислорода на эту операцию. К коллектору подводится вода для охлаждения горелок и для закалки. От коллектора коксовый газ, кислород,

<sup>1</sup> Работа удостоена Сталинской премии.

ни вода подаются к горелкам резиновыми шлангами. Использованную воду собирают в переносную ванну.

На установках для газопламенной поверхностной закалки прокатных валков в условиях металлургического завода целесообразно применять инжекторные горелки низкого давления. Эти горелки позволяют пользоваться коксовым газом, не повышая его давления. Для закалки широких полос на валке применяются многофакельные горелки с большим количеством мелких отверстий для выхода газовой смеси. Горелки изготавливаются изогнутыми по контуру закаливаемого калибра. Вода для закалки подается через трубку с отверстиями, изогнутую и расположенную параллельно горелке, непосредственно под ней.

Горелки должны быть вполне исправными и комплектными. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда каждая горелка предназначена только для одного определенного вида работы.

Глубина закаленного слоя зависит от скорости закалки, мощности пламени, давления газа и кислорода в горелках, охлаждающей среды, расстояния горелки от закаливаемой поверхности, а также от материала валка, его диаметра и формы закаливаемого участка. Необходимая твердость валка достигается регулированием количества воды, подаваемой на поверхность под пламя горелки. Окружная скорость вращения закаливаемого участка валка поддерживается в пределах 40—140 мм/мин, в зависимости от диаметра валка, его материала и предусмотренного режима закалки. Поверхность стальных валков нагревается под закалку до 1000—1200°, чугуновых — до 850—900°.

Скорость закалки контролируется прибором, градуированный диск которого вращается вместе с валом. При помощи секундомера по шкале диска определяется расстояние (в мм), пройденное закаливаемым участком за 1 минуту и характеризующее скорость закалки.

При поверхностной закалке калибров особое внимание обращается на обработку участков повышенного износа. Для облегчения работы газозакальщика при закалке и отпуске пользуются специальными шаблонами. Закалочные шаблоны точно указывают места, подлежащие закалке, и устанавливают ширину закаливаемой дорожки. Этими же шаблонами определяют места и границы зоны закалки при возвращении валка на переточку после прокатки, когда закаленные места подвергаются отпуску. Участки калибров, не подверженные интенсивному износу, закалять не следует.

Технология поверхностной закалки должна обеспечить закалку и отпуск поверхности валка на определенную глубину и придать металлу соответствующие структуру и твердость.

Закаленный слой калибров стальных валков, удовлетворяющий требованию равномерности по глубине и окружности послед-

них, должен иметь твердость 500—600 Н<sub>В</sub> и глубину вместе с переходным слоем 3,5—5,0 мм.

Сопряжение двух соседних дорожек надо выполнять без разрыва сплошности и нарушения глубины закаленного слоя.

По конфигурации закаленный слой должен возможно точнее соответствовать наиболее изнашивающемуся участку калибра. Наиболее важными факторами, влияющими на глубину и твердость закаленного слоя, являются окружная скорость валка на закаливаемой дорожке и температура нагрева поверхности валка.

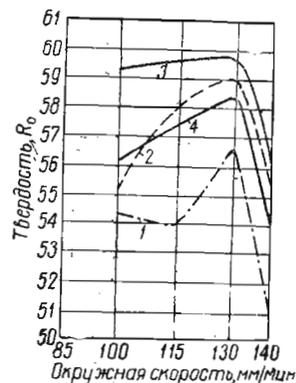


Рис. 81. Зависимость твердости закаленного слоя валка от скорости вращения закаливаемой дорожки:

1 — при давлении кислорода 3,5 атм; 2 — при давлении кислорода 4,0 атм; 3 — при давлении кислорода 4,5 атм; 4 — средняя кривая



Рис. 82. Зависимость глубины закаленного слоя от окружной скорости валков:

1 — при давлении кислорода 3,5 атм; 2 — при давлении кислорода 4,0 атм; 3 — при давлении кислорода 4,5 атм; 4 — средняя кривая

Зависимость глубины закаленного слоя и его твердости от окружной скорости валка графически показана на рис. 81 и 82.

При применяемых скоростях закаленный слой состоит из мартенсита и троостита, переходной слой — из сорбита и сорбитообразного перлита. Скорость закалки и давление кислорода выбираются с таким расчетом, чтобы обеспечить получение мелкоигльчатого мартенсита. Высокая температура нагрева под закалку способствует увеличению твердости поверхности. При этом увеличиваются иглы мартенсита и, следовательно, возрастает склонность металла к образованию трещин.

Отпуск стальных валков производится при температуре 650—750°. Окружная скорость обрабатываемой части валка при отпуске выбирается в пределах 40—50 мм/мин. Для валков, содержащих легирующие элементы, режим отпуска устанавливается по результатам специального исследования или экспериментальным

путем. Поверхность нагретого под отпуск валка охлаждают водой, чтобы предотвратить возникновение отпускной хрупкости. Технология закалки и отпуска чугунных валков такая же, как и для стальных валков.

Поверхностная закалка газовым пламенем способствует увеличению стойкости валков. В табл. 9 [30] приведены данные о превышении стойкости прокатных валков на одном из отечественных заводов.

Таблица 9

Результаты работы валков без закалки и с закалкой

Стан и прокатываемые профили	Клеть	Материал валка	Количество металла, прокатанного на валках						Увеличение стойкости
			без закалки			с закалкой			
			за кампанию (стойкость) т	на комплект т	расходный коэффициент	за кампанию (стойкость) т	на комплект т	расходный коэффициент	
Обжимной все профили	900	Кованая сталь	20900	188000	0,197	45300	410000	0,092	2,2
Рельсобалочные	800 (I)	То же	9000	58000	0,76	14000	124000	0,355	2,15
Рельсы типа I—V	800 (II)	Чугун	1648	11540	3,90	25400	30250	1,56	2,6
Листовой все профили	Черновая (верхняя и нижняя) Черновая (средний валок)	Кованая сталь	12800	89600	0,184	26000	182000	0,09	2
		То же	3670	22000	0,273	11500	75000	0,08	3,4

По данным другого завода, при прокатке швеллера № 30 на стане «800» стойкость валков первой клетки, подвергнутых закалке, увеличилась в 3,4 раза. Стойкость валков второй (предчистой) клетки на этом же профиле после закалки увеличилась в 2,5 раза. Закалка валков обжимного стага «900» увеличила их стойкость в 2,3 раза.

Поверхностной закалке можно подвергать не только бочки прокатных валков, но и шейки. Закалка шеек производится на той же установке на глубину 2,0—2,5 мм последовательно отдельными лентами за несколько раз. Закаленные шейки в работе быстро приобретают зеркальную поверхность, что снижает коэф-

фициент трения. Шейки подвергаются закалке один раз за время службы валка.

При газопламенной поверхностной закалке валков особенно важно проследить за тщательной настройкой горелок. Остановки, всякие перерывы в работе горелок при закалке и особенно при отпуске приводят к браку, появлению лятности, вынуждающей повторно обрабатывать пропущенные места.

При резком уменьшении скорости вращения или остановке валка возможен другой вид брака — оплавление нагреваемой поверхности. Во избежание такого брака необходимо при остановке валка немедленно перекрывать газ у работающих горелок. При нарушении технологии отпуска и закалки на валке возможно появление трещин.

Оборудование для поверхностной закалки валков используется также для отпуска закаленных участков отработавших валков перед их переточкой. Отпуск сокращает время на переточку и избавляет от применения особо твердых резцов.

При организации поверхностной закалки газопламенными горелками необходимо обеспечить соблюдение требований техники безопасности.

#### 4. ЗАКАЛКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ В КОЛЬЦЕВЫХ ПЕЧАХ

Одним из методов повышения стойкости чугунных прокатных валков служит закалка в кольцевых печах. На заводе им. Дзержинского [35] поверхностной закалке подвергались низколегированные валки с твердостью бочки 30—40 Н<sub>ст</sub>, применявшиеся в черновых и чистовых клетях станов «330» и «500». Химический состав закаливаемых валков: до 3,6% С; 0,6% Mn; 0,8—1,5% Si; до 0,3% P; 0,6—1,0% Cr; 0,8—1,2% Ni.

Стойкость валков до термической обработки была низкой: при прокатке бортового кольца на стане «330» чистовые валки менялись дважды в смену, при прокатке угловой стали 75×50×6 мм на стане «500» чистовые валки менялись каждую смену.

Установка для поверхностной закалки прокатных валков, предложенная Л. Ф. Молотковым, В. И. Малым и П. П. Семененко, состоит из кольцевой печи, привода с редуктором и трубопроводом для подвода компрессорного воздуха и воды.

Кольцевая печь (рис. 83) состоит из двух полукольцевых сварных кожухов, изготовленных из листовой стали толщиной 10 мм. Нижняя половина кожуха укреплена на сварной раме, верхняя половина — съемная. Диаметр печи для закалки валков станов «280» и «330» равен 850 мм, для валков стана «500» — 1100 мм. Длина кожуха печи равна длине бочки валка — 570 и 840 мм для чистовых валков стана «280» и «330» и 1600 мм — для валков стана «500».

Шейки во время нагрева валка находятся вне печи, не нагреваются до высокой температуры и не требуют особой защиты.

Кожух печи внутри футерован шамотным кирпичом. Для засыпки в печь коксика в верхней половине кожуха имеются два-три раструбы.

Компрессорный воздух подается в печь через коллектор и трубопроводы. По окружности кожуха имеется от 27 до 63 трубопроводов, из которых верхние и нижние во время работы соединены резиновыми шлангами. Отдельные секции трубопроводов снабже-

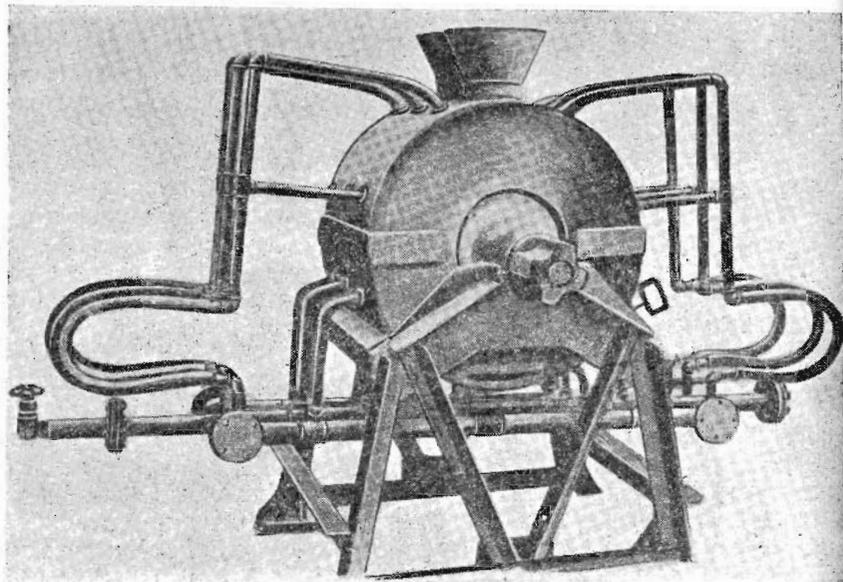


Рис. 83. Кольцевая печь для закалки валков

ны вентилями для регулировки подачи воздуха в различные части печи. Через эти же трубопроводы подается в печь вода для закалки.

Прокатный валок укладывается для термической обработки шейками на опоры нижнего полукольца печи, устанавливается верхняя половина кожуха и коксик засыпается через раструбы. По воздухопроводам в печь подается воздух для горения. Раструбы закрываются крышками, и в печи создается положительное давление. Атмосфера в печи — восстановительная, что исключает окисление и обезуглероживание поверхности валка. Горящий коксик образует вокруг валка раскаленное кольцо, и валок довольно быстро нагревается до высокой температуры. Температура печи, благодаря регулированию подачи воздуха, легко может достигнуть 1400°. Равномерность нагрева валка по диаметру достигается вращением его с помощью мотора через редуктор.

Степень нагрева валка контролируется оптическим пиромет-

ром. Температура поверхности валка замеряется через два смотровых окна в момент освобождения поверхности от коксика. Для точного определения температуры закалки поверхность валка перегревается на 50—60° выше заданной температуры и, после прекращения подачи воздуха, медленно охлаждается вместе с печью. Температура снижается со скоростью 1—2° в минуту. Регулируя подачу воздуха в печь, можно создать любой режим выдержки, обеспечивающий равномерный прогрев даже самой сложной формы профилированного валка.

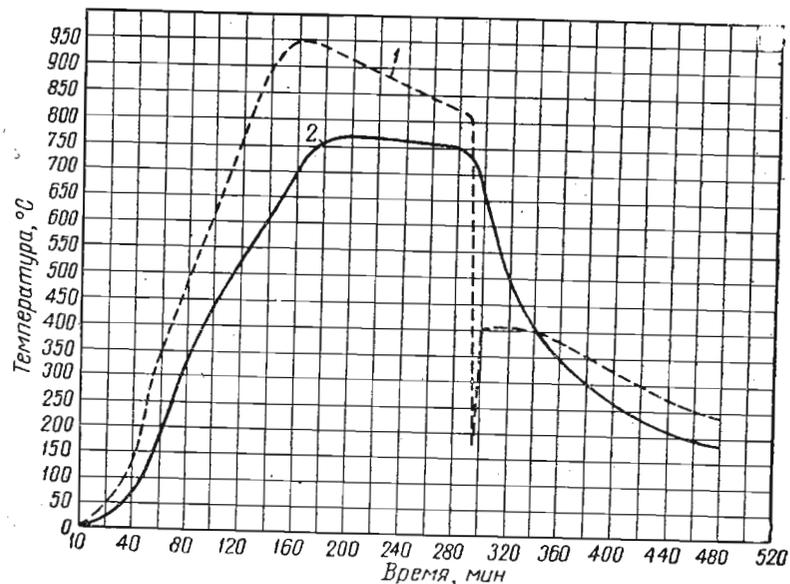


Рис. 84. Кривые изменения температуры поверхности (1) и центра валка (2) в разные периоды нагрева в кольцевой печи

Закалка поверхности валка производится непосредственно в печи. С этой целью прекращается подача воздуха, и в коллектор подается вода, которая по трубам попадает в печь, тушит коксик и закаливает валок. Для лучшего распыления воды по трубам одновременно с водой подается воздух. Вода в печи быстро нагревается за счет горения коксика и тепла разогретой футеровки печи, благодаря чему закалка поверхности валка получается более мягкой. Лабораторными исследованиями установлено, что твердость и структура низколегированного чугуна, закаленного в кипящей воде, такие же, как при его закалке в масле, тогда как закалка этих образцов в воде при 20° приводит к образованию трещин. Закалку рекомендуется производить при температуре 800—850°.

Кривые изменения температур валка в разные периоды термической обработки приведены на рис. 84 [35]. Из кривых рис. 84

Средняя стойкость прокатных валков станом «280», «330» и «500»

Стан	Профиль	Стойкость на один надибр		Увеличение стойкости %
		до закалки т	после закалки, т	
280	∠25×25 мм	28,0	44,4	59
330	∠40×40 мм	22,0	53,5	143
330	∠45×45 мм	31,6	77,1	144
330	∠60×40 мм	40,0	111,1	178
330	∠45×30 мм	25,0	58,7	135
330	Борткольцо	12,5	32,3	158
330	Швеллер № 5	13,1	46,0	251
500	∠75×50 мм	62,0	112,9	82
500	∠75×75 мм	182,0	363,1	100
500	Рудничные рельсы	115,0	313,5	173
500	∠90×60 мм	124,0	180,0	45

видно, что в кольцевой печи валок прогревается по всему сечению, причем перед закалкой разность температур поверхности и центра валка равна всего 65°.

На рис. 85 представлена кривая изменения твердости по сечению валка, из которой видно, что твердость закаленного слоя (порядка 450—480 Н<sub>В</sub>) распространяется на глубину до 30 мм. Переход от закаленного слоя к незакаленному — равномерный.

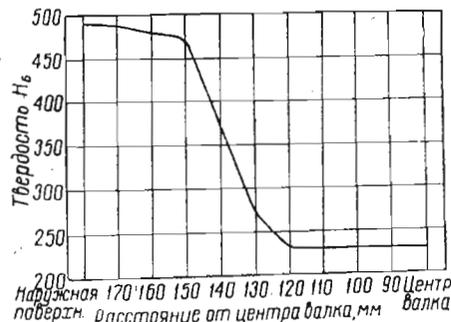


Рис. 85. Кривая изменения твердости по глубине закаленного слоя чугуна валка

Микроструктура металла валка у поверхности — мартенситная, при наличии структурно-свободного цементита и незначительного количества графита. Микроструктура центра валка характеризуется наличием сорбитообразного перлита.

Чтобы предотвратить образование трещин, необходимо обеспечить прогрев валка и равномерную подачу охлаждающей воды на закаляемую поверхность. Концентрации напряжений и образованию трещин при за-

калке способствуют резкие переходы от большего диаметра к меньшему, всякие выточки и острые углы. Поэтому перед закалкой валки подвергаются черновой обточке, при которой острые углы закругляются, а резкие переходы сглаживаются. После закалки валки проходят чистовую обточку для снятия по диаметру 1—2 мм металла и восстановления острых углов калибров.

Образование трещин в значительной степени зависит от времени подачи воды, определяющего полную или неполную закалку поверхности валка. Время подачи воды в печь выбирают с таким расчетом, чтобы температура поверхности валка сразу после закалки была равна 150—200°, а оставшийся запас внутреннего тепла обеспечил самоотпуск закаленной поверхности до 350—400°. Твердость поверхности при данной температуре самоотпуска равна 65—75 Н<sub>СТ</sub> (в зависимости от диаметра валка).

Для предохранения шеек валков от трещин в местах перехода их в бочку необходимо тщательно оберегать шейки от попадания на них закалочной воды. Для этого под шейками в кожухе печи оставляют достаточное пространство для стока воды. При нагреве валков в кольцевых печах шейки чернеют; очищают их пескоструйным аппаратом, а затем быстро шлифуют на станке.

В табл. 10 приведены данные о средней стойкости валков до и после закалки в кольцевых печах.

Описанный метод закалки чугунных прокатных валков в кольцевых печах, применявшийся на заводе им. Дзержинского в 1950—1952 гг., сыграл положительную роль при выпуске силами металлургических заводов валков с повышенной износостойкостью поверхности бочки. Однако закалка в кольцевых печах сопряжена с существенными недостатками, так как после нее валки обладают повышенной хрупкостью. В настоящее время вальцелитейные заводы, применяя отливку в профилированные формы, модификацию металла магнием и другие усовершенствования, имеют возможность выпускать валки с практически любыми механическими свойствами и заданной твердостью.

### 5. ЭЛЕКТРОНАПЛАВКА ВАЛКОВ

Электронаплавка изношенных мест в деталях, применяемая в различных отраслях производства, за последнее время получила распространение и в прокатном деле. В настоящее время наплавка прокатных валков производится на Кузнецком и Магнитогорском металлургических комбинатах, на заводах им. К. Либкнехта, им. Дзержинского, им. Ленина, Челябинском трубопрокатном, Челябинском металлургическом и других [16, 38, 45]. Имеются сведения о применении электронаплавки и за границей.

Наплавленный слой металла должен быть плотным, не иметь пор, раковин, шлаковых включений и обладать высокой твердостью, износостойкостью, чистой поверхностью после обработки и способностью легко обрабатываться на вальцетокарных станках. Технологический процесс наплавки должен обеспечить хорошую свариваемость основного металла с наплавляемым.

Качество наплавленного слоя во многом зависит от правильного выбора марки электродной стали и обмазки. Наплавка элек-

тродами из аустенитной стали X23H13 и X25H15, покрытыми специальной обмазкой, увеличивает срок службы валков в шесть и более раз по сравнению с валками, восстановленными переточкой. На заводе Флорин поверхность валков горячей прокатки восстанавливают наплавкой аустенитной жароупорной сталью, обладающей такими преимуществами:

1) высокая жаропрочность (при 900° предел прочности ее еще составляет 12 кг/мм<sup>2</sup>, тогда как предел прочности низколегированных жароупорных сталей понижается до этой величины уже при 500°);

2) слабая окисляемость вследствие высокого (до 18%) содержания хрома;

3) отсутствие способности закаливаться, а поэтому и склонности к образованию трещин под действием температурных напряжений.

Для наплавки валков горячей прокатки применяются электроды такого химического состава: 0,2—0,4% С; 1—5% Мп; 14—18% Сг; 6—9% Ni; до 1,4% Si; до 2% W. Содержание фосфора и серы в электродах должно быть минимальным.

Наплавка валков холодной прокатки производится электродами из высокоуглеродистой стали.

Челябинский трубопрокатный завод применяет для электродов обмазку из сложной сухой многокомпонентной смеси состава: 32% мрамора; 8,5% доломита; 27,5% плавикового шпата; 4,8% ферромарганца; 1,7% ферросилиция; 5% ферротитана; 13,5% сталинита; 4% поташа; 3% декстрина. Сухая смесь замешивается на жидком стекле удельного веса 1,35—1,50.

Составные части обмазки подвергаются предварительной обработке. Обмазанные электроды сушатся 8—10 часов, а затем прокаливаются 1,5—2 часа в электропечи при температуре 180—210°.

При химическом составе сталинита: 8—10% С, 13—17% Мп, 16—20% Сг, до 3% Si наплавленный слой имеет следующий состав: 0,31—0,40% С; 0,86—1,24% Мп; 0,27—0,58% Si; 19,3—24,6% Сг; 9,95—13,4% Ni.

При наплавке электродами с обычной обмазкой нанесение поверх основного дополнительного покрытия, состоящего из тонкого слоя графита или слоя из 20% графита и 80% плавикового шпата, значительно повышает стойкость прокатных валков. Графит меловой обмазки электродов насыщает наплавляемый металл углеродом до такого же содержания, как в основном металле. В случае применения электродов со сталинитовой обмазкой получают наплавленный металл, легированный хромом и марганцем, твердостью 250—300 Н<sub>В</sub>.

Валки, восстанавливаемые наплавкой, должны обладать высокой вязкостью, что достигается изготовлением их из металла с небольшим содержанием углерода или соответствующей термиче-

ской обработкой. Основной металл восстанавливаемой части вала должен быть без трещин. Наплавляемую поверхность валков необходимо тщательно очищать. Для выяснения рода ремонта, в котором нуждаются валки, необходимо определить характер износа их путем детального обмера ручьев. При небольшом износе и местных выкрашиваниях наплавку можно производить, не ставя валок на ролики, вальцетокарный станок или какое-либо другое приспособление.

На сильно изношенные валки наваривают сначала промежуточный слой из мягкой стали. Для уменьшения внутренних напряжений, возникающих при сварке, валок иногда предварительно подогревают газовыми горелками до температуры 200—350°.

Наплавку ручьев производят электродами diam. 4—8 мм при следующих режимах:

Диаметр электродов, мм . . .	4	6	8
Сила переменного тока, а . . .	180	250—270	350—380

Длина дуги во всех случаях составляет 3—5 мм.

На очищенную поверхность бочки вала наплавляют слой толщиной от 3 до 8 мм, добиваясь получения ровной поверхности. После механической обработки толщина наплавленного слоя составляет 2—5 мм. Наплавка более толстых слоев считается нерентабельной, хотя имеются случаи наплавки боковых стенок калибра слоем толщиной в 30—40 мм. Стойкость валков при этом возрастает вдвое [16]. Ширина наплавляемого валика обычно равна 15—18 мм.

Следует избегать стыков, особенно на буртах, фланцах и острых углах. В таких местах термические напряжения достигают максимума и часто возникают усадочные трещины.

Валики наплавляемого металла следует накладывать на поверхность вала, расположенную горизонтально или слегка наклонно.

Направление наплавки нужно менять и боковые стенки ручья наплавлять от ребер к дну ручья. В процессе наплавки нижний конец электрода направляют на границу между основным металлом и основанием ранее наплавленного валика.

Расплавленный металл должен располагаться на уже наплавленном слое. Глубина провара при этом уменьшается и образующийся шлак смещается к внешнему краю вершины наплавленного валика. Благодаря этому возможность затеков расплавленного металла уменьшается и процесс расплавления электрода и формирование валика происходят под слоем жидкого флюса, что повышает качество наплавленного металла. Наварку горизонтальных участков калибров, ступенчатых или листопркатных валков производят в горизонтальном положении. При этом их устанавливают на роликовые опоры, что позволяет поворачивать валки вручную во время наплавки. Для наварки боковых стенок ручьев валки устанавливают вертикально.

При быстром охлаждении наплавленного слоя возможно образование трещин. Поэтому для обеспечения замедленного охлаждения очищать наплавленную поверхность от шлака следует некоторое время спустя после наплавки. Для снятия сварочных напряжений после наплавки валки рекомендуется подвергнуть отжигу в течение 5—10 часов при 300—500°.

Трещины чаще всего образуются в местах перехода, например, на ступенчатых валках в местах резкого изменения диаметра. Во избежание возникновения трещин такие валки нужно делать с выемками в местах перехода.

Обточку наплавленных валков производят инструментом из твердых сплавов, а окончательную доводку — маятниковыми шлифовальными станками. Небольшие дефекты, обнаруженные при обточке, заваривают непосредственно на станке. После обточки наплавленный поверхностный слой валков наклепывают пневматическим молотком с бойком специальной формы для получения более плотной наплавки и мелкокристаллического строения (строение наплавленного слоя имеет характер типичной литой структуры). Твердость наплавленного слоя в результате наклепа увеличивается с 180—235 до 310—400  $H_B$ . При наплавке толщиной 30—40 мм необходимо применять проковку и насечку каждого наплаваемого слоя. Проковка производится при температуре не ниже 500°, насечка — зубилом после охлаждения. Металлографические исследования показали, что проковка и насечка значительно улучшают структуру наплавленного металла [16].

Эксплуатация углеродистых пилигримовых валков из стали Ст. 45 с наплавленными ручьями показала, что расход валков на 1 т труб составляет от 3,5 до 4 кг. Расход аустенитовых электродов для наплавки пары валков диам. 355 мм составляет 130—150 кг. Средняя стойкость между переточками наплавленных валков такого диаметра составляет 1502 т труб, тогда как стойкость хромоникельмолибденовых ненаплавленных валков — 530 т труб, а наплавленных — 1242 т.

При прокатке 2200 т сортового металла в черновой клети стана «450» износ наплавленных валков составил лишь 0,5—1,0 мм, тогда как при прокатке 1950 т на ненаплавленных валках износ достигал 4—6 мм. На стане «750» при одинаковом количестве прокатанного металла износ фланцев наплавленных валков не превышал 0,2—0,8 мм, а у ненаплавленных был много больше — от 5 до 7 мм.

В последнее время большие успехи достигнуты в области автоматической наплавки валков под слоем флюса, разработанной Институтом электросварки им. Патона.

Для наплавки рабочих поверхностей на валках горячей прокатки применяется порошковая электродная проволока диам. 3,6 мм марки ПП-3Х2В8, а также флюс АН-20. Проволока получается из мягкой ленты путем ее сворачивания в трубку при про-

волакивании через кольцо, с одновременным заполнением трубки специальным порошком.

Рекомендуется такой химический состав порошковой проволоки марки ПП-3Х2В8 [45]: 0,65—0,71% С; 2,7—2,9% Cr; 9,4—10,2% W; 0,28—0,32% V; 1,40—1,50% Mn; не более 0,30% Si; не более 0,04% S; 1,9—2,1%  $Na_2SiF_6$ .

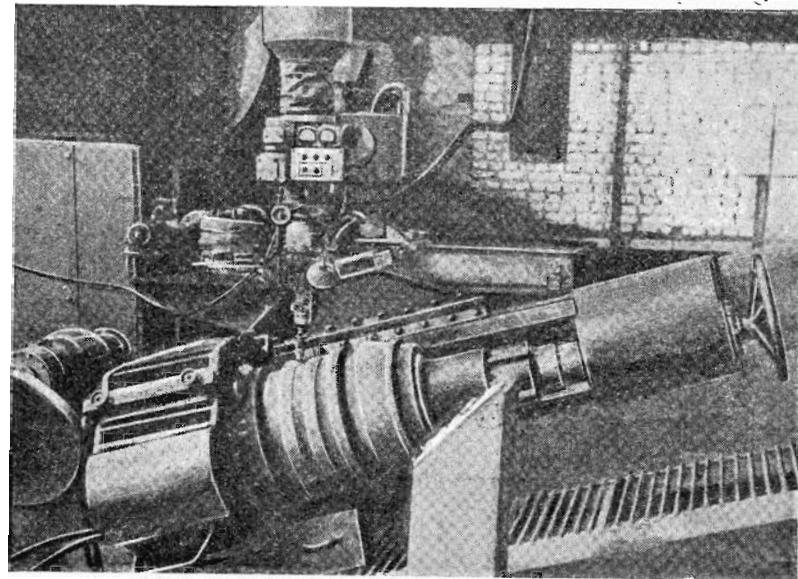


Рис. 86. Вальцenaплавочный станок

Для наплавки валков применяется постоянный ток, что позволяет обеспечить постоянство сечения наплаваемого валика вне зависимости от колебаний сетевого напряжения. Источниками питания служат сварочные преобразователи типа ПС-300 или ПС-500.

Как и в предыдущих случаях, при автоматической наплавке прокатных валков необходима предварительная обточка рабочих поверхностей. Наилучшее формирование сварного шва обеспечивается, если наплаваемый участок расположен горизонтально или с небольшим наклоном (до 20°) к горизонту.

Общий вид вальцenaплавочного станка во время работы показан на рис. 86. На станке можно наплавливать валки проволочных, сорто- и трубoproкатных станов диам. 300—700 мм, общей длиной до 2500 мм, весом до 4 т.

На рис. 87 показан момент наплавки трубoproкатного валка. Наплавке могут подвергаться ручки почти любой формы (пока еще не разработана техника наплавки глубоких врезанных ручьев.

типа балочных). Валок устанавливается в центрах передней и задней бабок, укрепленных на поворотной траверсе. Компенсация теплового удлинения валка при нагреве и наплавке производится жесткой пружиной, расположенной в задней бабке.

При наплавке круглых, овальных и других фасонных ручьев центр кривизны калибра необходимо совмещать с центром поворота траверсы. Поэтому конструкция станка предусматривает возможность перемещения валка вдоль траверсы, а также траверсы по вертикали. Кроме того, траверса может поворачиваться под углом до  $70^\circ$  к горизонтали в обе стороны. Скорость поворота устанавливается таким образом, чтобы получить нужный шаг подачи при наплавке ручьев с различной кривизной.

Предусмотрен также быстрый установочный поворот. При установке валка на станок и съема со станка сварочная головка вместе с бункером для флюса отводится в сторону.

Во время работы станка излишек флюса ссыпается в сборник и возвращается в бункер при помощи всасывающей системы.

Автоматическая наплавка валков освоена и впервые введена в повседневную производственную практику на заводе им. Ленина применительно к валкам семиклетьевого непрерывного трубопрокатного стана. До применения наплавки на валках из углеродистой стали прокатывали в среднем 5500 труб, на валках из легированной стали — 6700 труб. Внедрение наплавки позволило значительно повысить стойкость валков и улучшить работу стана. После наплавки на валках прокатывали в 1953 г. 63 109 труб, т. е. в 11,5 раза больше, чем на ненаплавленных валках из углеродистой стали, и в 9,5 раза больше, чем на валках из легированной стали.

Первый опыт применения автоматической наплавки валков на сортопрокатном стане завода им. Петровского показал, что стойкость валков чистовой клетки при прокатке обода 202 возрастает более чем в 4 раза. В одном калибре до наплавки прокатывали в среднем 70—75 т металла, а после наплавки — около 330 т.

Новый способ восстановления прокатных валков электронаплавкой специальными сплавами имеет ряд преимуществ. Основные из них:

а) возможность постоянной работы на расчетной, наиболее производительной калибровке валков;

б) постоянство диаметров парка валков; в результате этого повышается производительность станков вследствие сокращения продолжительности перепапок (отпадает необходимость в установке подкладок под подушки) и применения только оптимального режима прокатки;

в) повышение стойкости валков между обработками на вальцекарных станках, в связи с чем резко понижается количество перепапок и переточек и улучшается качество проката благодаря меньшему износу калибров;

г) увеличение общего срока службы валков в несколько раз;

д) возможность изготовления валков из сравнительно дешевой стали (без молибдена);

е) возможность дальнейшего совершенствования калибровки применяемых валков.

Описанный способ может также применяться для восстановления шеек валков, трещин, изношенной арматуры, проводок и другого оборудования.

## 6. УПРОЧНЕНИЕ ВАЛКОВ ОБКАТКОЙ

Эффективной мерой повышения усталостной прочности и износостойкости прокатных валков является упрочнение поверхности. Можно указать на два основных способа поверхностного упрочнения деталей: 1) путем термической или термохимической обработки; 2) путем наклепа (обкатка стальными закаленными роликами, дробеструйная обработка и т. п.).

Термическая обработка поверхности валков дает неплохие результаты в прокатной практике. Упрочнение стальных прокатных валков путем наклепа до сих пор не применялось; лишь в последнее время (1953 г.) оно осуществлено на одном из отечественных заводов.

Практическое применение обкатки с целью повышения усталостной прочности стальных изделий в машиностроительной промышленности началось сравнительно давно (1936—1938 гг.). В частности, промышленные опыты по обкатке шеек осей на Ворошиловградском паровозостроительном заводе производились в 1938 г. [32]. В настоящее время упрочнение обкаткой с большим эффектом применяется для осей железнодорожных вагонов и паровозов, штоков штамповочных молотов, пальцев кривошипов, торсионных валов, подступичных частей различных осей, валов и многих других. Большая глубина наклепа, чистота поверхности детали после обкатки, простота приспособлений для обкатки и возможность изготовления их на любом заводе позволяют широко применять этот способ для упрочнения поверхности калибров стальных валков.

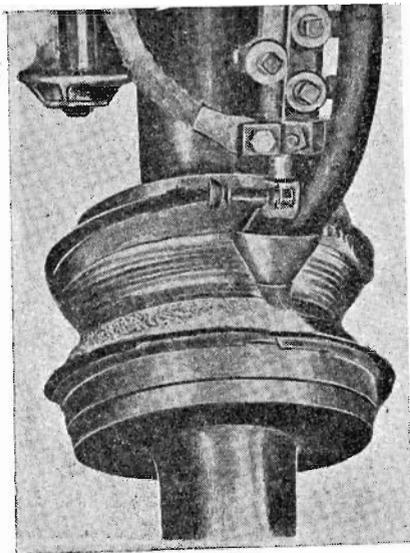


Рис. 87. Автоматическая наплавка трубопрокатного валка

Для обкатки валков легко приспособить однороликовое приспособление ЦНИИТМАШ, устанавливаемое на суппорт вальцетокарного станка. Ролики изготавливают из стали ШХ15, закаляют на твердость порядка 60 R [27] и тщательно полируют по про-

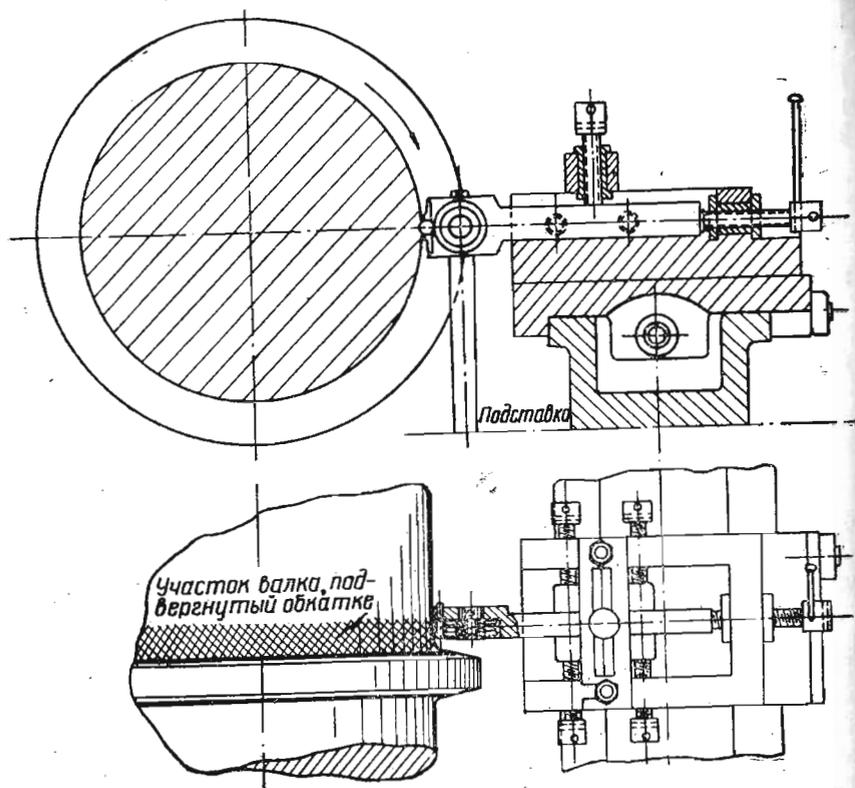


Рис. 88. Установка обкаточного приспособления на суппорте вальцетокарного станка

фильному радиусу. Необходимое давление роликов на обкатываемый валок достигается с помощью винтовой тарированной пружины.

Поверхностная накатка повышает не только усталостную прочность детали, но и износостойкость ее. В опытах В. А. Кельдюшева [17] исследовался износ стальных накатанных и ненакатанных шеек при трении по стальному и бронзовому вкладышу. При трении по стальному вкладышу со смазкой износ ненакатанной шейки после 580 тысяч оборотов был на 71,4% больше износа накатанной шейки.

Имеются данные [29] о значительном повышении твердости поверхности детали в результате обкатки ее стальными закаленными роликами. Увеличение твердости поверхности способствует повышению износостойкости.

На одном из отечественных заводов обкатке с целью предотвращения кольцевых трещин подвергался второй ручей нижнего валка стана блюминг «830»<sup>1</sup>. Обкатка производилась приспособ-

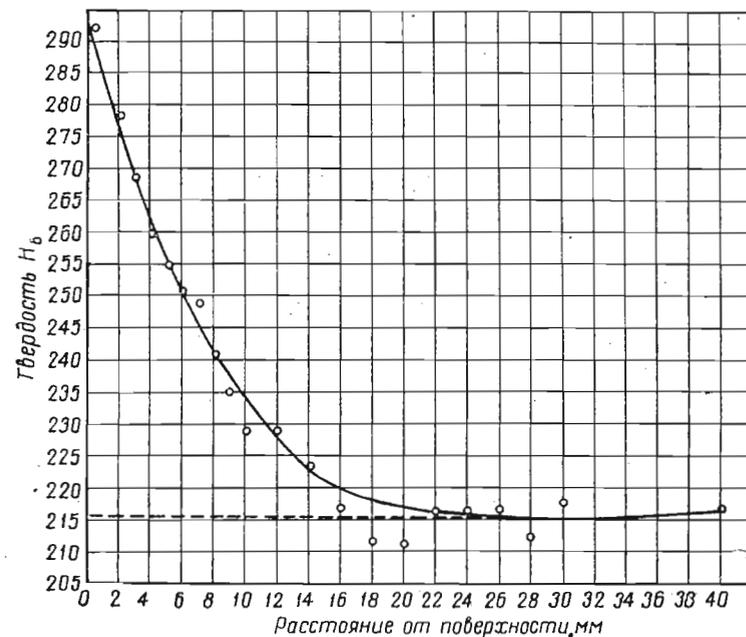


Рис. 89. Изменение твердости по глубине валка после обкатки роликом  $\varnothing 30$  мм (Кузема И. Д. и Петин А. Г.)

лением, позволяющим осуществлять ее на вальцетокарном станке сразу же после обточки (рис. 88). Ролик диам. 30 мм от трения о рабочий валок катится по опорному ролику фасонной формы, что позволяет применять значительную деформацию при небольших усилиях. Уменьшение диаметра валка в ручье после обкатки достигает 2—3 мм.

Характер изменения твердости по глубине валка после обкатки показан на рис. 89. По данным завода, стойкость валков в результате обкатки увеличилась на 65%.

<sup>1</sup> Работа проведена инженерами И. Д. Кузема и А. Г. Петиним.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров П. А., Внедрение прокатки по минимальным допускам, *Сталь*, 1933, № 9.
2. Бахтинов Б. П. и Штернов М. М., Калибровка прокатных валков, *Металлургиздат*, 1953.
3. Бунин К. П. и Кривошеев А. Е., Износ чугуна для валков, *Сталь*, 1946, № 11—12.
4. Бунин К. П., Отбеленный чугун, *Металлургиздат*, 1947.
5. Гарин М., Брак при прокатке и меры борьбы с ним, *ГОНТИ*, 1935.
6. Гиришович Н. Г., К теории образования глобулярного графита в чугуне, *Литейное производство*, 1951, № 1.
7. Гостев Б. И. и Ушаков А. Д., Применение чугуна со сфероидальным графитом для изготовления втулок балансира, *Литейное производство*, 1951, № 4.
8. Грозин Б. Д., Износ металлов, *Гостехиздат, УССР*, 1951.
9. Грум-Гржимайло В. Е., Прокатка и калибровка, *КУБУЧ*, 1933.
10. Грюнер П. и Брюгеман Т., Источники дефектов при прокатке, *Шталь унд Айзен*, 71 (1), 71 (2), 1951.
11. Губкин С. И., Теория обработки металлов давлением, *Металлургиздат*, 1947.
12. Давиденков Н. Н., Динамические испытания металлов, *ОНИ*, 1936.
13. Емельяненко П. Т. и Борисов С. И., Износ калибров и расход валков автоматического стана, *Металлург*, № 3, 1938.
14. Зарошинский М. Л., Прокатка стали, *Металлургиздат*, 1948.
15. Захаров В. А., Чугун со сфероидальной формой графита, *Литейное производство*, 1951, № 11.
16. Калачев Ю. А., Восстановление наплавкой изношенных валов прокатных станов, *Автогенное дело*, 1948, № 1.
17. Кельдюшев В. А., Исследование износа деталей, обработанных методом накатки, *Техника железных дорог*, 1947, № 5.
18. Конвисаров Д. В., Износ металлов, *ГОНТИ*, 1938.
19. Конвисаров Д. В., Трение и износ металлов, *Машгиз*, 1947.
20. Кривошеев А. Е., Калиброванные прокатные валки, *Т и ПМ*, 1937, № 2.
21. Кривошеев А. Е., Теория калибровки постоянных профилированных форм и их эксплуатация, *Т и ПМ*, 1938, № 7—8.
22. Кривошеев А. Е., Качество калиброванных валков, *Т и ПМ*, 1939, № 9.
23. Кривошеев А. Е., Валки высокой стойкости, *Сталь*, 1946, № 3.
24. Кривошеев А. Е., Отбеливаемость чугуна и качество валков, *Научные труды ДМетИ*, вып. XV, 1948.
25. Кривошеев А. Е. и Рудницкий Л. С., Улучшение качества отбеленных валков присадками в ковш и в литник, *Научные труды ДМетИ*, вып. XXIV, 1950.
26. Кривошеев А. Е., Рудницкий Л. С. и Белай Г. Е., Обработка чугуна магнезиом, *Научные труды ДМетИ*, вып. XXXI, 1954.
27. Кудрявцев И. В., Саверин М. М. и Рябченков А. В., Методы поверхностного упрочнения деталей машин, *Машгиз*, 1949.
28. Кудрявцев И. В. и Саввина Н. М., Повышение усталостной прочности сварных соединений поверхностным наклепом, *Автогенное дело*, 1951, № 4.
29. Кудрявцев И. В., Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении, *Машгиз*, 1951.
30. Куницын Н. М., Газопламенная поверхностная закалка прокатных валков, *Металлургиздат*, 1953.
31. Львов М. А., Приборы для измерения температур в металлургии, *Металлургиздат*, 1944.
32. Мелькумов А. М. и Замкевич А. Ф., К вопросу о запресовке тендерных осей, *Транспортное машиностроение*, 1938, № 14.
33. Моделевич Д. М., О внутреннем давлении при графитизации магнитоного чугуна, *Литейное производство*, 1952, № 3.
34. Молотков Л. Ф., Коэффициент трения при горячей прокатке, *Материалы по теории прокатки*, ч. IV, *Металлургиздат*, 1948.
35. Поверхностная закалка стальных и чугунных валков прокатных станов, крупных осей и валов, *Металлургиздат*, 1952.
36. Павлов И. М., Теория прокатки, *Металлургиздат*, 1950.
37. Писанко В. А., Механическая обработка прокатных валков, *Металлургиздат*, 1947.
38. Пляцковский О. А., Лившиц А. С., Щепак М. И., Лозинский А. Б. и Крюков И. И., Повышение стойкости прокатных пилгримовых валков наплавкой, *Вестник машиностроения*, 1953, № 11.
39. Свечников В. Н. и Гриднев В. Н., Опыт изучения стойкости чугунных прокатных валков, *Т и ПМ*, 1936, № 5.
40. Северденко В. П., Влияние внешнего трения на деформацию при прокатке, *Прокатка и калибровка*, *Оборонгиз*, 1940.
41. Северденко В. П., Распределение истинного удельного давления в калибре при прокатке двутавровой балки, *Обработка металлов давлением*, ч. I, *Металлургиздат*, 1952.
42. Тринкс В., Калибровка прокатных валков, ч. I и II, *ГОНТИ*, 1935.
43. Трофимчук В. Д., Точность при прокатке и факторы, ее обуславливающие, *Металлургиздат*, 1940.
44. Филипов С. Н., Настройка прокатных станов, *Металлургиздат*, 1951.
45. Фрумин И. И., Повышение стойкости прокатных валков посредством наплавки, *Автоматическая сварка*, 1954, № 3.
46. Целиков А. И., Прокатные станы, *Металлургиздат*, 1946.
47. Чекмарев А. П., Повышение стойкости прокатных валков, *Т и ПМ*, 1936, № 1.
48. Чекмарев А. П., Емельяненко П. Т. и Шевченко А. А., Исследование процесса непрерывной прокатки труб, *Т и ПМ*, 1937, № 1.
49. Чекмарев А. П. и Молотков Л. Ф., Давление на валки и опережение в калибрах, *Т и ПМ*, 1937, № 9.
50. Чекмарев А. П., Уширение при прокатке, *Научные труды ДМетИ*, вып. XII, 1948.
51. Чекмарев А. П., Точная прокатка, *Гостехиздат УССР*, 1952.
52. Чертавских А. К., Трение и смазка при обработке металлов давлением, *Металлургиздат*, 1949.
53. Чижиков Ю. М., Новый метод определения пластичности, *Заводская лаборатория*, 1948, № 5.
54. Чижиков Ю. М., Оценка пластичности металлов и сплавов применительно к условиям горячей обработки давлением, *Заводская лаборатория*, 1949, № 2.
55. Чижиков Ю. М., Прокатное производство, *Металлургиздат*, 1952.

Авторы  
*ЧЕКМАРЕВ Александр Петрович*  
и *МАШКОВЦЕВ Ростислав Аркадьевич*

\* \* \*

Ответственный редактор *Ю. И. Николаевский*  
Редактор издательства *С. М. Сиренко*  
Технический редактор *С. П. Андреев*  
Корректор *Ю. П. Рябко*

\* \* \*

Сдано в производство 11/V 1955 г.  
Подписано к печати 4/X 1955 г.  
Бумага 60 × 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> — 4,625 бум. л. = 9,25 печ. л.  
Т-08319 Уч. изд. л. 9,0 Тираж 4000  
Заказ 1514 Цена 4 р. 55 к.

\* \* \*

Типография *Металлургиздата*,  
Москва, Цветной бульвар, д. 30