

УДК 621.771.2

Медведев В. С.
Разицкий Н. А.**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УШИРЕНИЯ МЕТАЛЛА
ПРИ ПРОКАТКЕ КРУГОВ НА ГЛАДКОЙ БОЧКЕ**

Вытяжные системы калибров «круг – гладкая бочка – круг» (рис. 1) используются при производстве широкого сортамента профилей [1].

Основные преимущества этой системы:

- валки с гладкой бочкой более просты в изготовлении, имеют более длительный срок службы по сравнению с фасонными калибрами и обладают более высокой нагрузочной способностью по сравнению с фасонными валками (благодаря отсутствию концентраторов напряжений в виде врезанных ручьев, заметно ослабляющих несущую способность фасонных валков);
- применение гладких валков повышает универсальность калибровки прокатного стана, уменьшается расход валков, сокращается время простоев на перевалки и число перевалок;
- благодаря свободному уширению металла исключается возможность переполнения калибров, получения закатов или лампасов;
- при прокатке слитков и блюмов в первых проходах обеспечивается хорошее удаление окисной пленки.

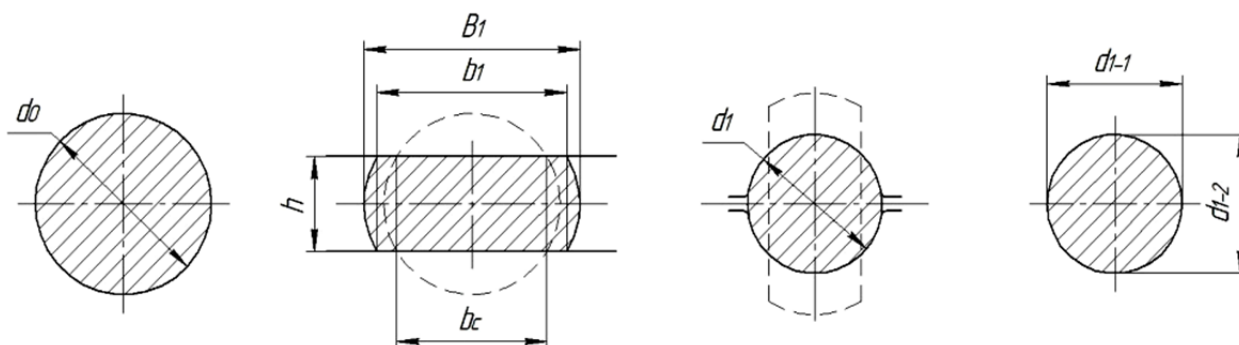


Рис. 1. Система калибров «круг – гладкая бочка – круг»

На величину уширения металла Δb при прокатке оказывают влияние следующие факторы [2]:

- условия трения на контактных поверхностях и ширина полосы;
- величина и степень неравномерности деформации полосы при прокатке;
- химический состав и механические свойства материала обжимаемой полосы;
- диаметр, состояние поверхности катания и материал валков;
- температура металла при прокатке;
- скорость прокатки.

Известно множество формул для расчета уширения металла при прокатке полос на гладкой бочке. Наиболее распространенными из них являются формулы А. П. Чекмарева [1, 2], Б. П. Бахтинова [3], А. И. Целикова [4], Э. Зибеля [5] (табл. 1).

Цель настоящего исследования – определение уширения металла при прокатке круга на гладкой бочке.

Деформация металла при прокатке круга на гладкой бочке значительно отличается от прокатки полос, поэтому при экспериментальном исследовании была поставлена задача определить возможность использования данных формул для расчета уширения металла при прокатке круга на гладкой бочке.

Таблица 1

Формулы для расчета уширения металла при прокатке полос на гладкой бочке

Величина уширения Δb , мм	
Чекмарев А. П.	$\Delta b = \frac{2 b_{cp} \Delta h k_{огр}}{(H+h) \left[1 + (1+\alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \right]}$
Бахтинов Б. П.	$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$
Целиков А. И.	$\Delta b = 0,54 c_\sigma c_\sigma \left(l - \frac{\Delta h}{2\mu} \right) \ln \frac{h_0}{h_1}$
Зибель Э.	$\Delta b = 0,35 \frac{H-h}{H} \sqrt{R(H-h)}$

В. К. Смирновым, В. А. Шиловым и Ю. В. Инатовичем [6] для расчета коэффициента уширения металла при прокатке по схеме «круг – гладкая бочка» рекомендована эмпирическая зависимость:

$$\beta = 1 + c_0 \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)^{C_1} A^{C_2} a_0^{C_3} a_k^{C_4} \delta_0^{C_5} \psi^{C_6} (\operatorname{tg} \varphi)^{C_7},$$

где $A = \frac{D_*}{H_1}$ – приведенный диаметр валков;

$a_k = \frac{B_k}{H_1}$ – отношение осей калибра;

$\operatorname{tg} \varphi$ – выпуск калибра;

$a_0 = \frac{H_0}{B_0}$ – отношение осей полосы до прохода;

$\frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H_1}$ – коэффициент обжатия;

$\delta_0 = \frac{H_0}{H_0^1}$ – степень заполнения предыдущего по ходу калибра;

ψ – показатель трения;

c_0, \dots, c_7 – постоянные коэффициенты, зависящие от схемы прокатки. Для системы калибров «круг-гладкая бочка» $c_0 = 0,179$; $c_1 = 1,357$; $c_2 = 0,291$; $c_6 = 0,511$; $c_7 = 0$.

Среднеарифметическая величина относительной погрешности уширения, рассчитанная по данной зависимости, составляет 5,3 %. Данная зависимость может использоваться при определении уширения металла при прокатке круга на гладкой бочке.

Хайкиным Б. Е. и др. [7] даются зависимости для определения коэффициента вытяжки μ при плющении круга в гладких валках и ширины плоскоовального сечения раската b_1 по контакту его с валками:

$$\mu = 1 + 0,2 \frac{D/d_0 + 3}{D/d_0 + 1} (d_0/h - 1),$$

– ширина плоскоовального сечения раската b_1 по контакту его с валками:

$$b_1 = B_1(1 - h/d_0)^{1/3}.$$

В валки стана 250 были врезаны 4 круглых калибра диаметром 16, 19, 24 и 32 мм, а также 4 калибра типа «гладкая бочка» с раствором валков 13, 15, 18,5 и 25 мм (рис. 2). Материал валков – чугун.

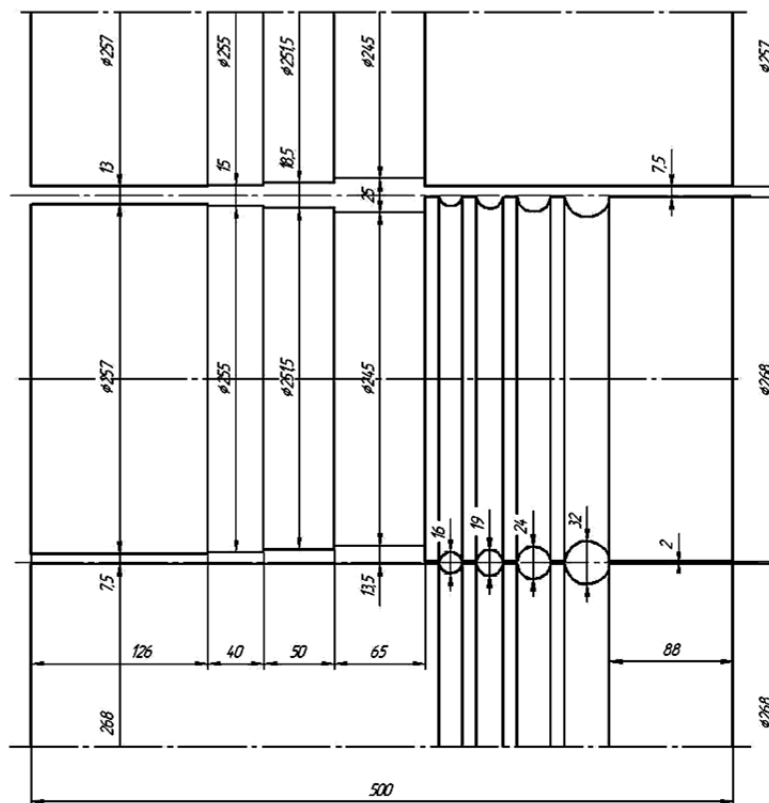


Рис. 2. Калибровка валков стана 250

Исходной заготовкой служили круги диаметром 45 и 40 мм из Ст. 3, которые последовательно прокатывали в системе калибров «круг – гладкая бочка – круг» до круга диаметром 16 мм. Температура прокатки 1100 °С. Скорость прокатки 2 м/с.

Результаты замеров темплетов по калибрам и фактическое уширение металла на гладкой бочке приведены в табл. 2.

Уширение рассчитывали тремя методами:

– первый – расчет по методу приведенной полосы с учетом ширины заготовки, равной диаметру круга d_0 (см. рис. 1). Величина абсолютного обжатия приведенной полосы равна $\Delta h = H_{np} - h$. Высоту приведенной полосы определяем из выражения $H_{np} = F_k/d_0$, где F_k – площадь круга поперечного сечения образца;

– второй – расчет по методу приведенной полосы с учетом ширины заготовки, равной длине основания сегмента, который образуется при перекрытии круга образующей вала $b_c = \sqrt{d_0^2 - h^2}$ (см. рис. 1). Высоту приведенной полосы определяем из выражения $H_{np} = 2F_c/b_c + h$, где F_c – площадь сегмента;

– третий – расчет уширения по величине максимального обжатия, равного $\Delta h = d_0 - h$.

Анализ результатов расчета (табл. 2) показал, что наилучшую сходимость расчетных значений уширения металла с фактическими данными дает третий метод – определение уширения по величине максимального обжатия.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по прокатке кругов на гладкой бочке

№ образца	Диаметр образца d_0 , мм	Катающий диаметр бочки валка D_K , мм	Размеры полосы, мм			Фактическое уширение Δb_ϕ , мм	Расчетное уширение металла Δb_p , мм						
			h	B_1	b_1		Формула Чекмарева	Формула Бахтинова	Формула Целикова	Формула Зибеля	Формула Смирнова	Формула Хайкина	Формула авторов статьи
1	45,0	245,0	28,5	51,5	34,0	6,5	8,55	4,65	5,33	5,77	5,98	3,45	5,33
2	45,0	245,0	26,5	53,7	38,0	8,7	10,10	5,18	6,23	6,85	7,87	5,73	6,70
3	45,2	245,0	25,0	54,2	40,0	9,0	11,45	5,57	6,94	7,78	9,81	7,76	7,91
4	45,1	245,0	21,0	56,2	44,1	11,1	15,01	6,41	8,72	10,16	16,58	13,38	11,31
5	40,0	245,0	24,9	46,5	32,0	6,5	8,27	4,78	5,59	5,68	5,89	3,68	5,65
6	40,0	245,0	24,9	46,2	31,5	6,2	8,27	4,78	5,59	5,68	5,89	3,68	5,65
7	32,0	245,0	23,8	35,0	20,5	3,0	4,13	2,99	3,13	2,84	2,22	-0,85	2,60
8	32,2	245,0	20,9	37,0	24,5	4,8	6,45	4,34	4,98	4,57	4,27	2,18	4,88
9	32,1	251,5	17,8	40,0	30,5	7,9	9,16	5,77	7,15	6,61	7,69	5,88	7,86
10	32,0	251,5	17,0	40,8	31,0	8,8	9,86	6,09	7,68	7,13	8,82	6,90	8,71
11	32,0	255,0	13,8	45,7	38,8	13,7	13,31	7,49	10,30	9,59	16,24	12,06	12,82
12	24,1	251,5	16,9	27,5	17,6	3,4	4,25	3,45	3,81	3,15	2,48	0,44	3,54
13	24,0	255,0	13,7	30,8	23,0	6,8	7,10	5,41	6,48	5,44	5,69	4,07	7,30
14	24,0	257,0	11,5	32,9	27,0	8,9	9,48	6,80	8,72	7,31	9,90	7,36	10,75
15	19,1	255,0	15,1	20,7	11,1	1,6	2,24	2,05	2,13	1,66	1,07	-1,21	1,74
16	19,1	257,0	11,9	23,5	17,0	4,4	5,00	4,43	5,02	4,01	3,52	2,06	5,63
17	19,0	257,0	11,1	24,0	17,8	5,0	5,72	4,99	5,78	4,64	4,46	2,98	6,85

Относительная погрешность уширения, равная:

$$\delta = \frac{\Delta b_{\phi} - \Delta b_p}{\Delta b_{\phi}} 100 \%,$$

составила для формул А. П. Чекмарева, Б. П. Бахтинова, А. И. Целикова и Э. Зибеля соответственно -22 , $+19$, $+5$ и $+12$ % (среднеарифметические значения).

Расчеты по приведенным обжатым дают заниженные значения уширения (первый метод на $51-65$ %, второй метод на $20-42$ %).

Прямая зависимость для определения величины уширения Δb при прокатке круга на гладкой бочке авторами [7] не приводится.

Формулу для определения уширения Δb через коэффициент вытяжки выведем из условия постоянства объема:

$$\eta \beta \mu = 1,$$

где $\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h}$ – коэффициент обжатия (H , h – высота полосы до и после прокатки);

$\beta = \frac{b}{B}$ – коэффициент уширения (B , b – ширина полосы до и после прокатки);

$\mu = \frac{l}{L}$ – коэффициент вытяжки (L , l – длина полосы до и после прокатки).

После несложных преобразований условия постоянства объема получим:

$$\Delta b = d_0 \left(\frac{\pi d_0 \mu^{-1}}{4 h} - 1 \right).$$

Уширение, определенное по этой формуле с учетом зависимости Б. Е. Хайкина и др. [7], приведено в табл. 2. Среднеарифметическая величина относительной погрешности уширения составляет $47,9$ %.

В данной работе путем статистической обработки экспериментальных данных по прокатке кругов на стане 250 получили следующую эмпирическую зависимость (рис. 3) абсолютного уширения Δb от относительного обжатия $\Delta h/d_0$, где $\Delta h = d_0 - h$:

$$\Delta b = 39,6 (\Delta h/d_0)^2.$$

Среднеарифметическая величина относительной погрешности при расчете уширения по данной зависимости составляет $-1,4$ %.

Ширина полосы после прокатки:

$$B_1 = d_0 + \Delta b.$$

Ширину зоны контакта полосы с рабочей поверхностью вала b_1 найдем из отношения:

$$\frac{\Delta h}{d_0} = a \frac{b_1}{B_1},$$

где a – коэффициент пропорциональности, равный $a = 0,797(\Delta h/d_0) + 0,237$.

Ширина зоны контакта полосы с рабочей поверхностью вала b_1 равна:

$$b_1 = \frac{(d_0 + \Delta b) \Delta h}{a d_0}.$$

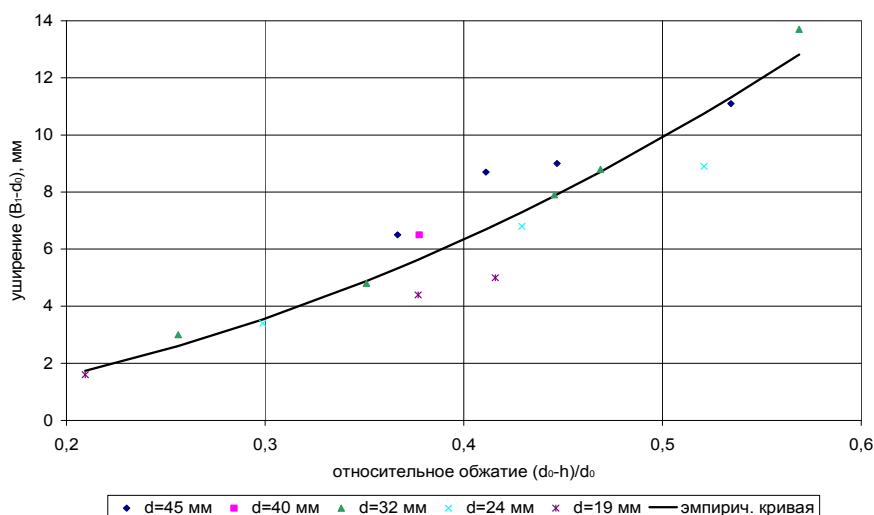


Рис. 3. Зависимость абсолютного уширения $\Delta b = B_1 - d_0$ от относительного обжатия $(\Delta h/d_0) = (d_0 - h)/d_0$

Полученные эмпирические зависимости справедливы для деформации металла в условиях эксперимента, т. е. при изменении относительного обжатия $\Delta h/d_0$ в пределах от 0,21 до 0,57 и параметра D_K/d_0 в пределах от 5,4 до 13,5.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований определено уширение металла при прокатке круга на гладкой бочке. Проведен анализ известных расчетных формул для определения уширения металла и дана оценка их точности. Путем статистической обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости для расчета уширения металла и ширины зоны контакта металла с валками. Полученные зависимости могут быть рекомендованы для расчета уширения при прокатке кругов на гладкой бочке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекмарев А. П. Теория продольной прокатки / А. П. Чекмарев, А. А. Нефедов, В. А. Николаев. – Харьков : изд-во ХГУ, 1965. – 212 с.
2. Чекмарев А. П. Калибровка прокатных валков / А. П. Чекмарев, М. С. Мутьев, Р. А. Машковцев. – М. : Металлургия, 1971. – 512 с.
3. Бахтинов Б. П. Калибровка прокатных валков / Б. П. Бахтинов, М. М. Штернов. – М. : Metallurgizdat, 1953. – 783 с.
4. Целиков А. И. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М. : Металлургия, 1980. – 320 с.
5. Виноградов А. П. Калибровка прокатных валков / А. П. Виноградов, Г. А. Виноградов. – М. : Metallurgizdat, 1950. – 344 с.
6. Смирнов В. К. Калибровка прокатных валков / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. – М. : Металлургия, 1987. – 368 с.
7. Усовершенствованная система калибровки для прокатки круглых профилей из качественных сталей / Б. Е. Хайкин, А. В. Семков, Л. М. Железняк, Р. Д. Бондин // Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1986. – № 4. – С. 38–39.

Медведев В. С. – д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник УкрНТЦ «Энергосталь»;
 Разиньков Н. А. – инж. I категории УкрНТЦ «Энергосталь».

УкрНТЦ «Энергосталь» – Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь», г. Харьков.

E-mail: energostal@energostal.org.ua

Статья поступила в редакцию 16.10.2012 г.