

УДК 621.771.25/26: 669.1

Ермаханбетов К. Е.  
Быхин Б. Б.  
Абишкенов М. Ж.

## ОПЕРЕЖЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

На кафедре «ОМД» Карагандинского государственного индустриального университета разработана новая система калибровки валков «ромб-квадрат» для прокатки сортовых профилей с реализацией интенсивно пластической деформации (ИПД) [1].

На рис. 1 представлены калибры для производства круглого профиля диаметром 12 мм, из которых первые восемь калибров выполнены в системе калибровки «ромб-квадрат», а остальные два калибра – предчистовой овал и чистовой круг [2–3].

Целью данной работы является исследование опережение металла при сортовой прокатке с реализацией интенсивной пластической деформации.

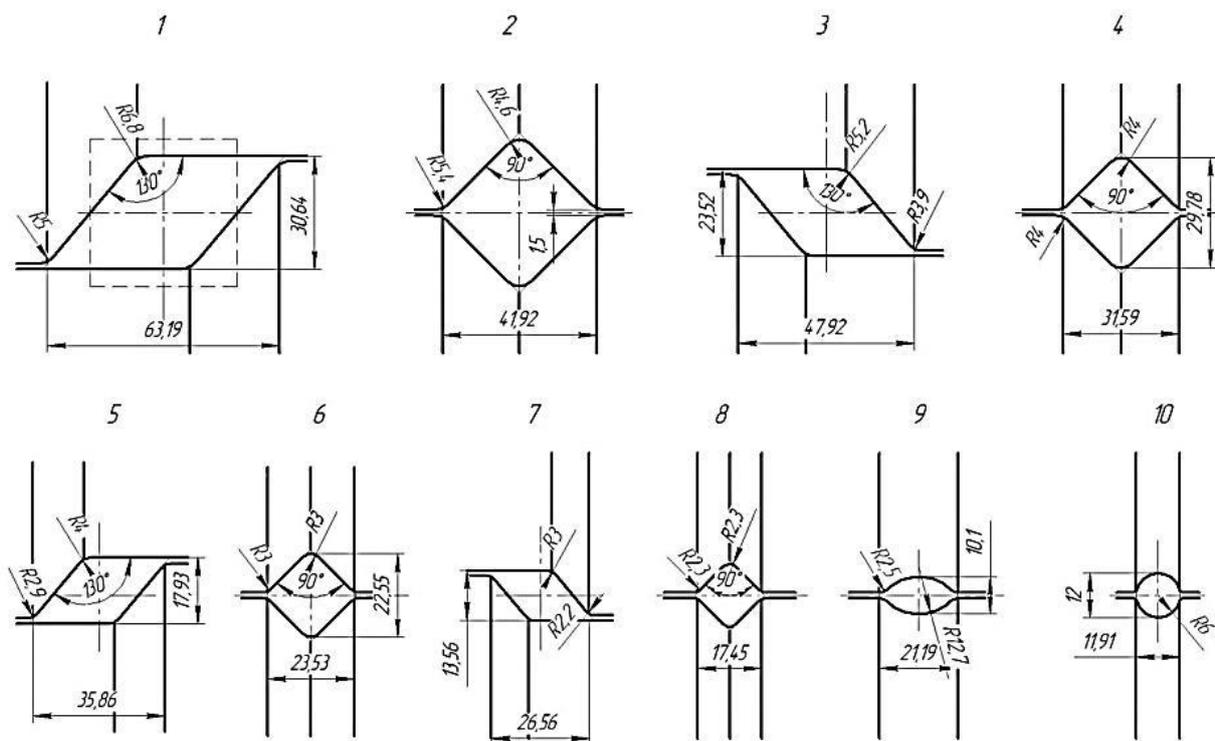


Рис. 1. Схемы калибровки валков лабораторного стана «ДУО 200/150» (1–10 номера проходов)

Особенностью системы калибров ромб-квадрат является наличие ромбических калибров, где диагональные оси ромба расположены под углом к осям валков. Такое расположение калибра обеспечивает в первом ромбическом калибре интенсивный поперечный сдвиг металла и деформацию сжатия за счет действия наклонных стенок калибра и деформацию сжатия металла под действием стенок калибра, расположенных параллельно осям валков. При этом наклонная стенка калибра со стороны верхнего валка вызывает интенсивный поперечный сдвиг слева направо, а аналогичная стенка калибра со стороны нижнего валка интенсивный поперечный сдвиг справа налево. Во втором ромбическом калибре происходят аналогичные схемы деформации, но интенсивные поперечные сдвиги происходят с обратным знаком, то есть со стороны верхнего валка интенсивный поперечный сдвиг направлен справа налево, а со стороны нижнего валка наоборот. Это связано с тем, что во втором ромбическом

калибре наклоны стенок ромба направлены в противоположную сторону, чем в первом ромбическом калибре. В третьем ромбическом калибре направление интенсивно поперечного сдвига повторяет схему деформации, реализуемую в первом калибре, а в четвертом ромбическом калибре – схему деформации, реализуемую во втором ромбическом калибре. Таким образом интенсивная пластическая деформация имеет знакопеременный характер.

Квадратные калибры построены по традиционной схеме, в которой происходят обычные деформации сжатия по высоте.

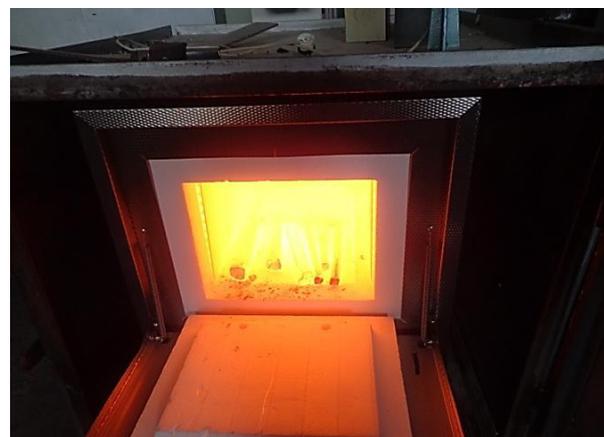
Необычный характер распределения деформации в ромбических калибрах обуславливает изменения в продольной скорости полосы в очаге деформации и в особенности в величине опережения на выходе из калибра.

Поскольку известные формулы для расчета опережения при сортовой прокатке не учитывают влияние интенсивной пластической деформации металла, возникает необходимость экспериментального определения опережения в новой системе калибра.

Общий вид стана сортовой прокатки ДУО «200/150» и нагревательной печи представлены на рис. 2.



а



б

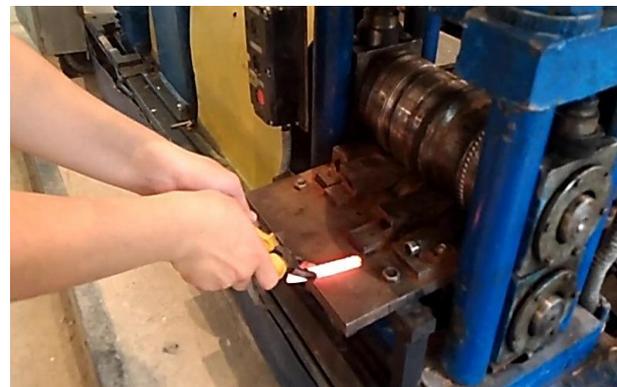
Рис. 2. Общий вид прокатного стана ДУО «200/150» и нагревательной печи:  
а – прокатный стан ДУО «200/150»; б – нагревательная печь «Nabertherm»

В качестве нагревательной печи использована электрическая нагревательная печь модели L40/12 фирмы «Nabertherm» с максимальной температурой нагрева металла до 1200°С. В качестве образцов использовали заготовки размерам 40 × 40 × 150 мм из стали марки Ст5.

На рис. 3 показан момент прокатки полосы в калибрах клетей ДУО 200 и ДУО 150.



а



б

Рис. 3. Прокатка стальных образцов на прокатных станах ДУО 200 и ДУО 150:  
а – ДУО 200; б – ДУО 150

Для определения опережения металла была использована тензометрическая установка ZET 017-T8, которая позволяет с высокой точностью регистрировать время прокатки полосы и окружную скорость валков в каждом проходе.

Опережение определяем по формуле:

$$S = \frac{v_l - v_g}{v_g} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $v_l$  – скорость полосы на выходе из данного калибра, м/с;

$v_g$  – линейная скорость валка, соответствующая катающему диаметру валков, м/с.

Скорость валка определяем по известной формуле:

$$v_g = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n}{60}, \quad (2)$$

где  $\pi = 3,14$ ;

$d_k$  – катающий диаметр калибра, мм;

$n$  – число оборотов валков, об/мин (для первой клетки Дуо-200  $n = 36,21$  об/мин; для второй клетки Дуо-150  $n = 37,73$  об/мин).

Катающий диаметр валков определяется по формуле:

$$d_k = D_g - \sqrt{F_{l-i} \cdot \lambda_{l-i}}, \quad (3)$$

где  $D_g$  – начальный диаметр валков, (для шести калибров первой клетки  $D_g = 200$ ; для четырех калибров второй клетки  $D_g = 150$ ) мм;

$F_{l-i}$  – площадь поперечного сечения полосы на выходе из каждого калибра, мм<sup>2</sup>;

$\lambda_{l-i}$  – удлинения полосы после данного калибра.

Значения  $F_{l-i}$  и  $\lambda_{l-i}$  принимаем из таблицы калибровки валков, которая разработана для лабораторного стана «ДУО 200/150» работниками кафедры «ОМД» КГИУ. Например, для первой клетки:

$$d_{k1} = 200 - \sqrt{1109,9 \cdot 1,36} = 161,1 \text{ мм};$$

$$v_{g1} = \frac{3,14 \cdot 0,1611 \cdot 36,21}{60} = 0,313 \text{ м/сек.}$$

Скорость выхода металла из данного калибра можем определить по формуле:

$$v_{li} = \frac{l_{li}}{\tau_{li}}, \quad (4)$$

где  $l_{li}$  – длина полосы, выходящей из данного калибра, мм;

$\tau_{li}$  – время прокатки в данном калибре, сек.

Значение  $l_{li}$  и  $\tau_{li}$  определяется экспериментальным путем, так длина полосы, выходящей из данного калибра, определяется штангенциркулем с точностью  $\pm 0,05$  мм; время прокатки полосы в данном калибре определяется с помощью тензометрической станции для измерения параметров прокатки (время, усилие и другие) с точностью  $\pm 0,001$  сек.

Так для первого прохода  $l_1 = 200$  мм,  $\tau_1 = 0,619$  сек, тогда скорость выхода полосы из первого калибра составляет:

$$v_1 = \frac{l_1}{\tau_{li}} = \frac{0,2}{0,619} = 0,319 \text{ м/сек.}$$

Экспериментальное значение опережения определяется:

$$S = \frac{v_1 - v_6}{v_6} \cdot 100\% = \frac{0,319 - 0,313}{0,313} \cdot 100\% = 2\%.$$

Аналогичным способом рассчитываем все экспериментальные значения опережения для всех остальных проходов.

В табл. 1 представлены результаты определения опережения. (Для сравнения приведены результаты расчета опережения по формуле Дрездена).

Таблица 1

Результаты определения экспериментального опережения для всех остальных проходов

№ прохода	$D_{\text{валка}}$ , мм	$F_{l_i}$ , мм <sup>2</sup>	$\lambda_i$	$n$ , об/мин	$d_{ki}$ , мм	$v_{6i}$ , м/сек	$l_i$ , мм	$\tau_i$ , сек	$v_{1i}$ , м/сек	$S_{\text{экс}}$	$S_{\text{расч}}$
1	200	1109,9	1,36	36,21	161,1	0,313	200	0,619	0,319	2	5,1
2	200	876,7	1,26	36,21	166,7	0,316	234	0,729	0,323	2,2	2,0
3	200	680,6	1,29	36,21	170,3	0,33	235	0,703	0,334	1,2	6,4
4	200	551,3	1,23	36,21	174	0,33	203	0,611	0,332	0,6	2,7
5	200	380,1	1,45	36,21	176,5	0,341	264	0,754	0,369	5,9	8,2
6	200	336,4	1,13	36,21	180,5	0,335	301	0,869	0,346	3,3	2,4
7	150	249,1	1,35	37,73	131,6	0,266	274	0,548	0,274	3,0	4,1
8	150	178,8	1,39	37,73	134,2	0,267	293	1,065	0,275	3,0	3,4

По результатам табл. 1 построили сравнительный график изменения опережения по проходам (рис. 4).

На рис. 4 приведен сравнительный график экспериментальных и расчетных значений опережения.

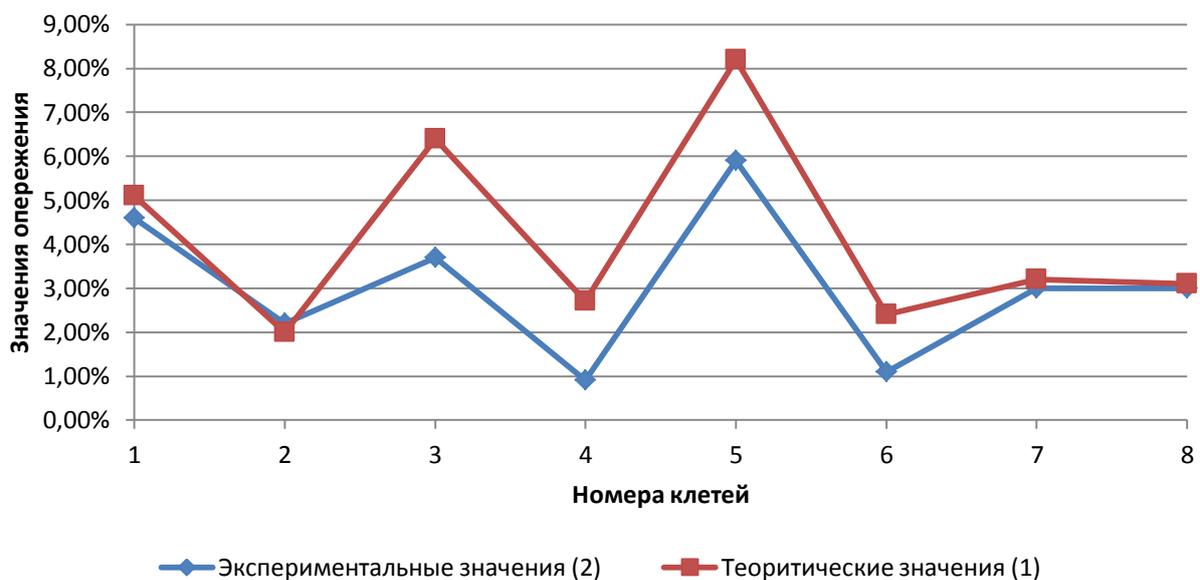


Рис. 4. Сравнительный график экспериментальных и расчетных значений опережения

Из графика видно, что характер изменения экспериментального опережения в целом повторяет особенность изменения по ходам расчетного значения опережения. Вместе с тем экспериментальное значение опережения практически во всех ходах по абсолютной величине ниже значения расчетного опережения, определенного по теоретической формуле Дрездена. Такое различие обусловлено развитием интенсивной поперечной сдвиговой деформации в направлении ширины полосы, которое приводит к снижению скорости движения металла в продольном направлении, следовательно, к снижению значения опережения на выходе из калибра.

### ВЫВОДЫ

При прокатке в новой системе «ромб-квадрат» в ромбических калибрах реализуется интенсивная поперечная сдвиговая деформация, которая обуславливает соответствующее снижение скорости полосы в продольном направлении в очаге деформации.

В следствие этого фактическое опережение на выходе из калибра будет меньше, чем при прокатке в традиционных ромбических калибрах, где интенсивные поперечные сдвиги отсутствуют.

При непрерывной прокатке сортовых профилей с использованием новой системы «ромб-квадрат» необходимо будет вносить изменения в константу калибровки валков в связи с низким уровнем опережения металла и согласовывать рабочие скорости валков с учетом этих изменений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 25272 Республика Казахстан. Способ горячей прокатки слитков и непрерывнолитых заготовок / Найзабеков А. Б., Быхин М. Б., Ногаев К. А., Быхин Б. Б. ; заявитель и патентообладатель Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Карагандинский государственный индустриальный университет». – № 2010/1356.1 заявл. 05.11.2010 ; опубл. 15.05.2013, Бюл. 5.
2. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М. : Интермет инжиниринг, 2001. – 240 с.
3. Грудев А. П. Технология прокатного производства / А. П. Грудев. – М. : Metallurgija, 1994. – 656 с.

### REFERENCES

1. Pat. 25272 Respublika Kazahstan. Sposob gorjachej prokatki slitkov i nepreryvnolityh zagotovok / Najzabekov A. B., Byhin M. B., Nogaev K. A., Byhin B. B. ; zajavitel' i patentoobladatel' Respublikanskoe gosudarstvennoe predprijatje na prave hozjajstvennogo vedenija «Karagandinskij gosudarstvennyj industrial'nyj universitet». – № 2010/1356.1 zajavl. 05.11.2010 ; opubl. 15.05.2013, Bjul. 5.
2. Grudev A. P. Teorija prokatki / A. P. Grudev. – M. : Intermet inzhiniring, 2001. – 240 s.
3. Grudev A. P. Tehnologija prokatnogo proizvodstva / A. P. Grudev. – M. : Metallurgija, 1994. – 656 s.

Ермаханбетов К. Е. – магистрант КГИУ;

Быхин Б. Б. – канд. техн. наук, проф. КГИУ;

Абишкенов М. Ж. – преп. КГИУ.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: [kuanish44@inbox.ru](mailto:kuanish44@inbox.ru)