

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДУГИ ПРОКАТКИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В КВАДРАТНОМ ЯЩИЧНОМ КАЛИБРЕ

А. С. Хохлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. В. Астапенко

Анализ процесса прокатки начинается с определения геометрических параметров контактной поверхности прокатываемой полосы и рабочих валков. Применяемые расчетные методики, как правило, используют упрощенное представление очага деформации и адаптирующие коэффициенты, полученные экспериментально для конкретных условий. Это приводит к существенным погрешностям расчета [1].

При прокатке в калибрах геометрия контактной поверхности рассчитывается графически, аналитически или графоаналитически. Все указанные способы имеют статический характер, не учитывающий влияние режима прокатки, геометрии калибров, состояния прокатываемой полосы.

При горячей прокатке высоких полос в ящичных калибрах возникают характерные зоны очага деформации (рис. 1). Они влияют на характер и длительность стадий процесса прокатки, а также на формирование механических свойств полосы [2].

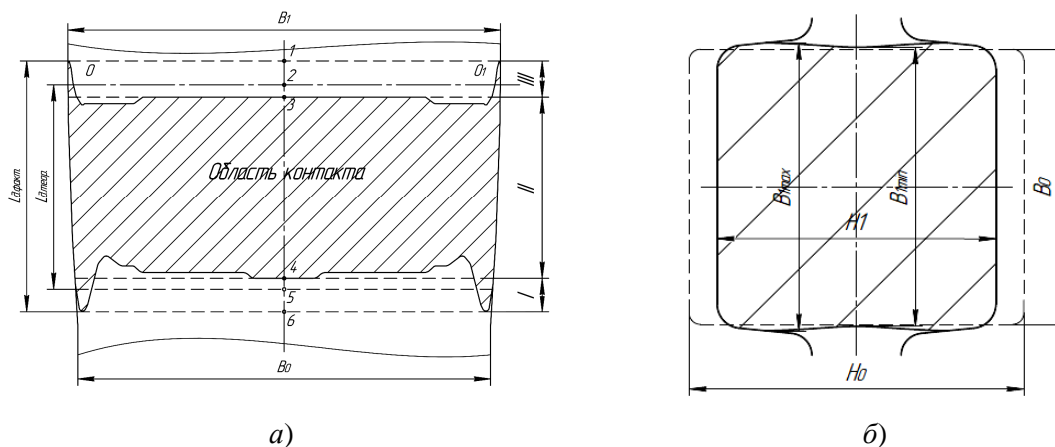


Рис. 1. Схема очага деформации прямоугольной высокой полосы при прокатке в ящичном калибре: а – контактной поверхности; б – сечения раската;  $OO_1$  – плоскость осей валков;  $B_0, B_1$  – исходная и конечная ширина полосы; I – зона контакта по выпускам калибра на входе в очаг деформации (ОД), II – зона одновременного контакта по выпуску и дну калибра, III – зона контакта по выпускам калибра на выходе из ОД;  $L_{д.теор}$  – теоретическая длина дуги контакта;  $L_{д.факт}$  – фактическая длина дуги контакта; 1–6 – характерные точки ОД

В общем случае по длине дуги прокатки можно выделить пять характерных участков:

– на участке между точками 1 и 2, расположенном за плоскостью сечения осей валков  $OO_1$ , происходит контакт полосы с выпусками калибров;

- на участке 2–3 имеет место внеконтактная деформация по дну калибра вследствие утяжки металла выпусками;
- участок между точками 3–4 характеризуется полным контактом и по дну калибра и на его выпусках;
- между точками 4 и 5 внеконтактная деформация по дну калибра объясняется одновременным влиянием высотной утяжки, характерной для прокатки высоких полос, и утяжкой выпусками калибров.
- на участке 5–6, расположенном за зоной геометрической длины очага деформации, контакт происходит на выпусках калибрах.

В зависимости от условий прокатки длина участков и их соотношение меняется. Очевидно, что определение длины дуги прокатки, рассчитанное по классической формуле для гладких валков (участок между точками 2–5, рис. 1, а), дает существенную погрешность [3]:

$$L_{д.теор} = \sqrt{\Delta H R_k - \frac{\Delta H^2}{4}}, \quad (1)$$

где  $L_{д.теор}$  – расчетная длина дуги прокатки, мм;  $\Delta H$  – обжатие полосы по высоте в очаге деформации, мм;  $R_k$  – катающий радиус калибра валка, мм.

В расчетных формулах деформационно-кинематических и энергосиловых параметров прокатки неверное определение длины дуги очага деформации также приводит к значительному ухудшению точности расчетов.

В анализе процесса прокатки высоких полос с  $L_d/H_{ср} < 1$  в ящичных калибрах основным параметром влияния на напряженное состояние принимается не сила контактного трения, а внешние зоны [4]. Главным критерием влияния внешних зон является фактор формы очага деформации  $L_d/H_{ср}$ .

Для определения методики расчета длины дуги прокатки прямоугольной полосы в ящичном калибре, с учетом влияния фактора формы очага деформации, были выполнены семь численных экспериментов по методу конечных элементов с использованием адекватной численной модели. Поскольку указанные условия соответствуют прокатке в клети № 1 стана 370/150, эксперименты проводились для параметров действующего технологического процесса первого прохода согласно универсальной калибровке черновой группы клетей в диапазоне размеров фактора формы очага деформации  $L_d/H_{ср} < 0,1-0,7$ .

Длина дуги контакта при прокатке высокой прямоугольной полосы в ящичном калибре – параметр условный, определяемый из соотношения и формы зон контактной поверхности:

$$L_{ср} = \frac{F_y \cdot 2}{(B_0 + B_1)}, \quad (2)$$

где  $L_{ср}$  – средняя длина дуги прокатки, мм;  $F_y$  – вертикальная проекция контактной поверхности, мм<sup>2</sup>;  $B_0 = 250$  и  $B_1$  – ширина полосы до и после прокатки, мм.

Угол прокатки также имеет условный характер и, как величина обратная дуге прокатки, может быть определен по формуле

$$\alpha_{усл} = \frac{(H_0 - H_1)}{L_{д.ср}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{усл}}$  – условный угол прокатки, рад;  $H_0 = 300$  и  $H_1$  – ширина полосы до и после прокатки, мм.

Параметры очага деформации определялись по результатам моделирования путем построения геометрии и расчета площадей в программном пакете Компас. Результаты представлены в таблице.

Параметры и результаты эксперимента

Параметр	Фактор формы очага деформации, $L_{\text{д.теор}}/H_{\text{ср}}$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$H_1$ , мм	297,4	289,77	277,899	262,774	245,333	226,596	207,283
$\Delta H$ , мм	2,6	10,23	22,101	37,226	54,667	73,404	92,717
$B_1$ , мм	255,2	255,92	257,88	260,93	263,71	267	272,83
$F_y$ , мм <sup>2</sup>	6663,6	10887,4	17069,0	22900,8	28708,2	34242,1	39323,4
$L_{\text{д.теор}}$ , мм	29,732	58,976	86,685	112,503	136,333	157,979	177,549
$L_{\text{ср}}$ , мм	26,380	43,040	67,217	89,644	111,768	132,465	150,425
$\alpha_{\text{усл}}$ , рад	0,087	0,173	0,255	0,331	0,401	0,465	0,522

Полученные результаты охватывают весь возможный диапазон обжатий  $\Delta H$  в клетки № 1 стана 370/150. Поскольку аналитические расчеты приводят к существенным погрешностям, расчет параметров деформации корректнее выполнять по полученным графикам зависимости от фактора формы очага деформации (рис. 2).

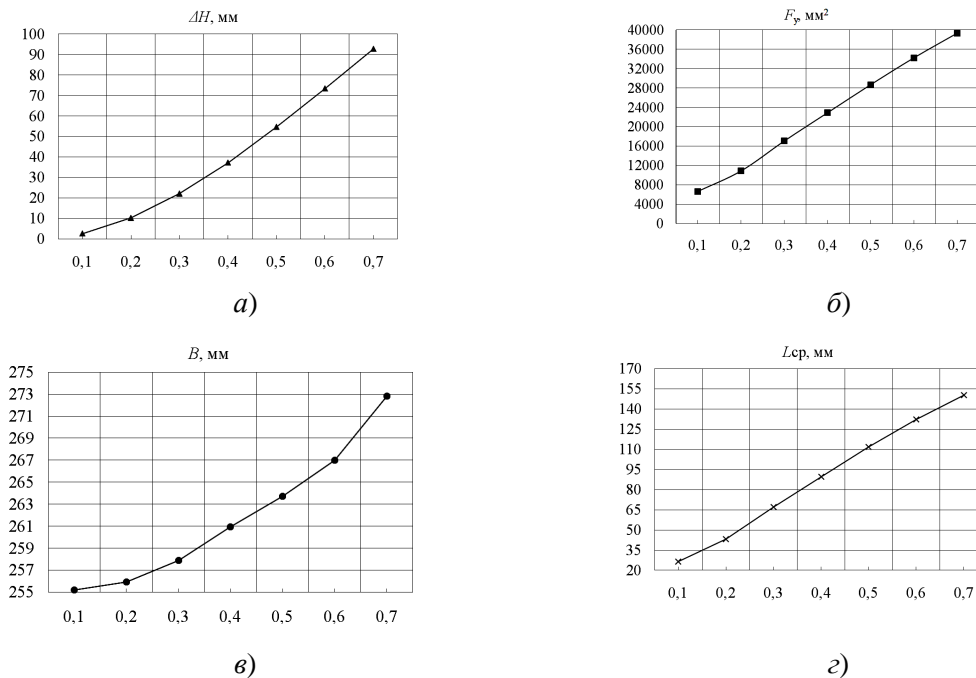


Рис. 2. Зависимость параметров прокатки от фактора формы очага деформации  $L_{\text{д.теор}}/H_{\text{ср}}$ : а – обжатия полосы по высоте за проход,  $\Delta H$ ; б – вертикальной проекции контактной поверхности,  $F_y$ ; в – ширины полосы после прохода,  $B$ ; г – средней длины дуги прокатки,  $L_{\text{ср}}$

По результатам исследования в применяемую методику [3] для расчета деформационных параметров прокатки в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» были внесены изменения.

### Литература

1. Стрельченко, А. В. Исследование влияния геометрии ящичных калибров валков на образование термоциклических трещин в условиях мелкосортно-проволочного стана горячей прокатки 370/150 ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «БМК» / А. В. Стрельченко, И. А. Зуев, И. В. Астапенко // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2019. – Т. 75, № 1. – С. 80–86.
2. Астапенко, И. В. Особенности горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре / И. В. Астапенко, Д. М. Васильков // Современные проблемы машиноведения материалы XII Международ. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 114–117.
3. Бобарикин, Ю. Л. Практическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Прокатка и волочение» по теме «Калибровка прокатных валков» / Ю. Л. Бобарикин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 1997. – 68 с.
4. Васильков, Д. М. Исследование параметров очага деформации полосы при прокатке в валках с ящичными калибрами черновой группы клетей стана 370/150 ОАО «БМЗ» / Д. М. Васильков // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVIII Международ. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 178–182.