

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ В ЯЩИЧНЫХ КАЛИБРАХ СИСТЕМЫ «КВАДРАТ–ПРЯМОУГОЛЬНИК–КВАДРАТ»

А. С. Хохлов

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

Калибровка клетей черновой группы универсальна и не зависит от конечного профиля. В условиях сортопрокатного цеха № 2 подкатом является непрерывнолитая заготовка прямоугольного сечения 250×300 мм или квадратного сечения 140×140 мм.

Процесс прокатки в клетях № 1–3 стана 370/150 происходит в ящичных калибрах (рис. 1) по схеме «квадрат–прямоугольник–квадрат» и относится к случаю прокатки высоких полос [1].

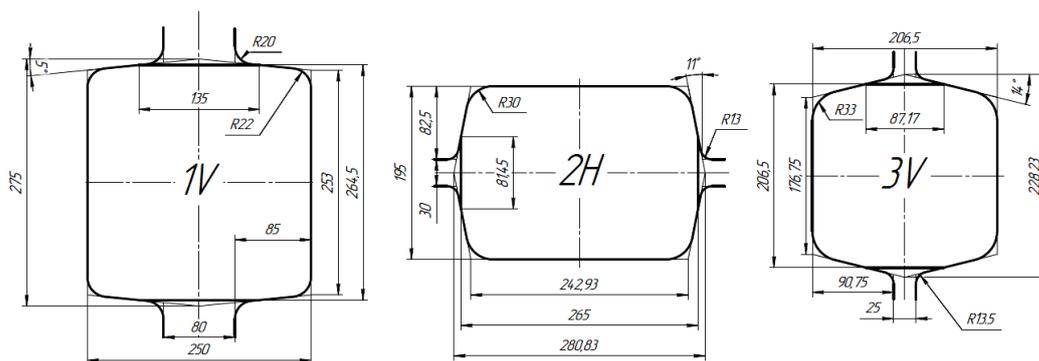


Рис. 1. Геометрия ящичных калибров в клетях № 1–3

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

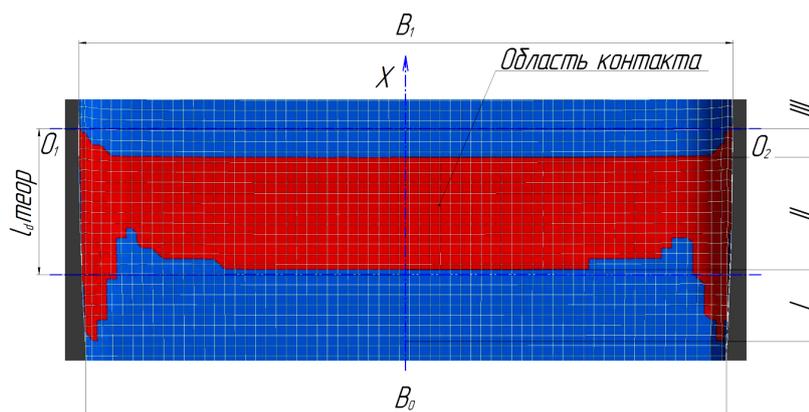


Рис. 2. Очаг деформации в калибре клетки № 1: O_1-O_2 – плоскость осей валков; X – ось прокатки; B_0, B_1 – исходная и конечная ширина полосы; I – зона контакта по выпускам калибра на входе в очаг деформации (ОД); II – зона одновременного контакта по выпуску и дну калибра; III – зона контакта по выпускам калибра на выходе из ОД; $L_{д, теор}$ – теоретическая длина дуги контакта

В деформационно-кинематическом и энергосиловом анализе процесса прокатки высоких полос с $L_{д}/H_{ср} < 1$ в ящичных калибрах основным параметром влияния на напряженное состояние принимается не сила контактного трения, а внешние зоны [3]. Это создает ряд особенностей, не учитываемых в традиционных методиках, приводящих к существенным погрешностям. Определить и учесть эти явления в методике расчетов параметров прокатки в ящичных калибрах – цель данной работы.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе были выполнены аналитические расчеты параметров очага деформации для прокатки в клетях № 1–3 с ящичными калибрами по известным методикам [4]. Определялись длина дуги прокатки $L_{д}$ и угол прокатки α (рис. 3). Влияние характерных факторов прокатки не учитывалось. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 1.

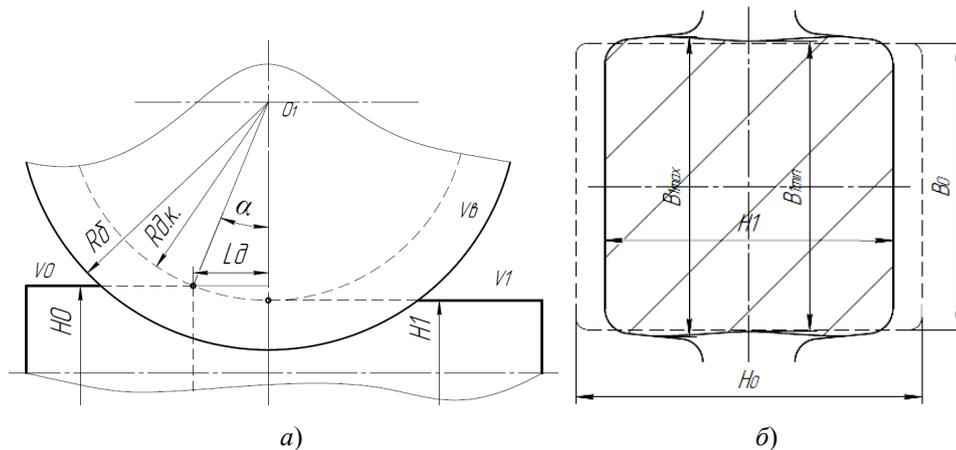


Рис. 3. Схема к расчету параметров деформации в калибрах клеток № 1–3:
 а – контактной поверхности; б – сечения раската

Таблица 1

Исходные для расчета параметров процесса прокатки в клетях № 1–3

Геометрические параметры прокатки полосы		Клеть № 1	Клеть № 2	Клеть № 3
Высота полосы, мм	до прокатки H_0	300	264,5	365
	после прокатки H_1	250	195	206,5
Ширина полосы, мм	до прокатки B_0	250	250	195
	после прокатки B_1	264,5	265	206,5
Диаметр бочки вала $D_б$, мм		850	850	750
Диаметр вала по дну калибра вала $D_{д.к}$, мм		680	685	568,5

Расчет геометрических параметров (рис. 3) произведем по следующим формулам [5]:

$$\alpha = \sqrt{\frac{(H_0 - H_1)}{R_{д.к}} \cdot \frac{180}{\pi}}; \tag{1}$$

$$L_d = \sqrt{(H_0 - H_1)R_k}, \tag{2}$$

где α – угол прокатки, град; H_0 и H_1 – высота полосы до и после прокатки в клетях, мм; $R_{д.к} = D_k / 2$ – радиус вала по дну калибра, мм; L_d – длина дуги прокатки, мм.

Площади контакта и поперечного сечения прокатываемого металла в клетях № 1–3 определим по формулам [4]:

$$F_n = k_F (B_{0_n} + B_{1_n}) \sqrt{R_k (H_{0_n} - H_{1_n})}; \tag{3}$$

$$S_n = S_{n-1} \mu_{n-1}, \tag{4}$$

где F – площадь контактной поверхности вала с полосой; k_F – коэффициент влияния формы калибра; R_k – радиус вала по дну калибра; S – площадь сечения раската в калибре; μ – коэффициент вытяжки в калибре; n – номер прохода от конца прокатки.

На втором этапе выполнен численный эксперимент процесса прокатки в клетях № 1–3 с ящичными калибрами в соответствии с параметрами технологического процесса стана 370/150 ОАО «БМЗ» [1]. Моделирование проводилось в программном пакете SimufactForming 15 с наложением на заготовку сетки конечных элементов с размером ячейки 2 мм. По результатам численного эксперимента были определены форма и размеры контактной поверхности очага деформации и сечения раската на выходе из калибров.

Параметры очага деформации определялись по результатам моделирования путем построения геометрии и расчета площадей в программном пакете Компас. Результаты аналитического расчета и численного эксперимента представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты аналитического расчета параметров процесса прокатки в клетях № 1–3

Технологические параметры		Клеть № 1	Клеть № 2	Клеть № 3
Длина очага деформации L_d , мм	расчет	125,5	154,3	128,9
	модель	118,425	142,844	120,716
Угол прокатки α , град	расчет	22,8	25,8	26,9
	модель	19,6	24,53	23,18
Площадь контактной поверхности F_k , мм ²	расчет	34930,3	39728,3	25887,1
	модель	30711,2	35625,9	22149,5
Площадь поперечного сечения раската S_p , мм ²	расчет	65136	50496	41310
	модель	64452	50133	40720

Сравнительный анализ результатов аналитического расчета и численного эксперимента (см. табл. 3) показывает, что применяемые в методике коэффициенты формы калибра k_F дают погрешность более 10 %. Расчет площади сечения раската также дает погрешность, сопоставимую с назначаемыми натяжениями в межклетьевых промежутках при определении скорости вращения валков (до 5 %). Поэтому в формулу (4) необходимо ввести поправочный коэффициент влияния сечения раската k_S .

Таблица 3

Результаты анализа расчета и численного эксперимента

Расчетные коэффициенты		Клеть № 1	Клеть № 2	Клеть № 3
Влияния формы калибра k_F	расчет	0,5	0,5	0,5
	модель	0,439	0,448	0,428
Влияния сечения раската k_S	модель	0,989	0,993	0,986

По результатам исследования в применяемую методику 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 Междунар. 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. 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, И. В. Астапенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVIII Междунар. 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.
4. 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.
5. Теория прокатки : справочник / А. И. Целиков [и др.]. – М. : Металлургия, 1982. – 335 с.