

РОЗДІЛ «ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 621.771.01

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор

ЕРШОВ С. В., д.т.н., професор

РОМАНЮК Р.Я., аспірант

Днепродзержинский государственный технический университет

РАВНОВЕСИЕ МЕТАЛЛА В ВАЛКАХ С УЧЁТОМ СРЕДНЕЙ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

Введение. В работах [1-3] разработан новый метод определения продольной устойчивости процесса прокатки, заключающийся в расчёте средней результирующей горизонтальных контактных сил в очаге деформации. По величине и направлению этой силы можно дать оценку того, в каких условиях протекает процесс и возможен ли он при определённых параметрах.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является изучение закономерностей влияния внутреннего напряжённого состояния металла на продольную устойчивость прокатки, на кинематические параметры, а также на уточнение роли угла нейтрального сечения как регулятора равновесия сил в очаге деформации.

Ввиду того, что исходными данными при определении средней результирующей горизонтальных сил являются эпюры контактных напряжений, обратимся к результатам теоретического исследования по распределению давления $\frac{P_x}{2k}$ (k – сопротивление

чистому сдвигу пластически деформируемого металла) и удельных сил трения $\frac{t_x}{2k}$,

приведённые в [4]. Заметим, что при решении дифференциального уравнения Кармана В.Я.Василёв воспользовался моделью трения, учитывающей как скольжение в очаге деформации, так и кулоновскую связь между контактными напряжениями. При прокатке в условиях, когда $R = 300$ мм, $h_0 = 0,3$ мм, $\alpha_y = 0,017$ рад и $f = 0,044$ (R – радиус валков, h_0 – начальная толщина полосы, α_y – угол захвата в установившемся режиме, f – коэффициент трения), результаты расчёта контактных напряжений имеют вид, показанный на рис.1, а, б.

Результаты работы. На графике рис.1, в приведено распределение контактных горизонтальных напряжений $\frac{q_x}{2k}$ в очаге деформации, рассчитанных согласно [3]. Кривая изменения текущей горизонтальной контактной силы

$$Q_x^* = \frac{Q_x}{2kRb} = \int_{\varphi}^{\alpha} \frac{q_x}{2k} d\varphi, \quad (1)$$

полученная в соответствии с формулой [3, формула (2)], приведена на рис.1, г.

В текущем сечении, например при $\varphi = \varphi_1 = 0,12$ рад, значение силы Q_x^* равно интегральной сумме горизонтальных сил на участке от $\varphi = \alpha$ до $\varphi = \varphi_1$ (рис.2), что соответствует площади под кривой $\frac{q_x}{2k}$ на этом участке (рис.1, в).

Как видно, сила Q_x^* на границах контактной зоны равна нулю (рис.1, з). Отсюда следует, что скорости V_0 и V_1 – скорости полосы на входе в валки и выходе из них соответственно – во времени остаются неизменными, т.е. процесс является стационарным.

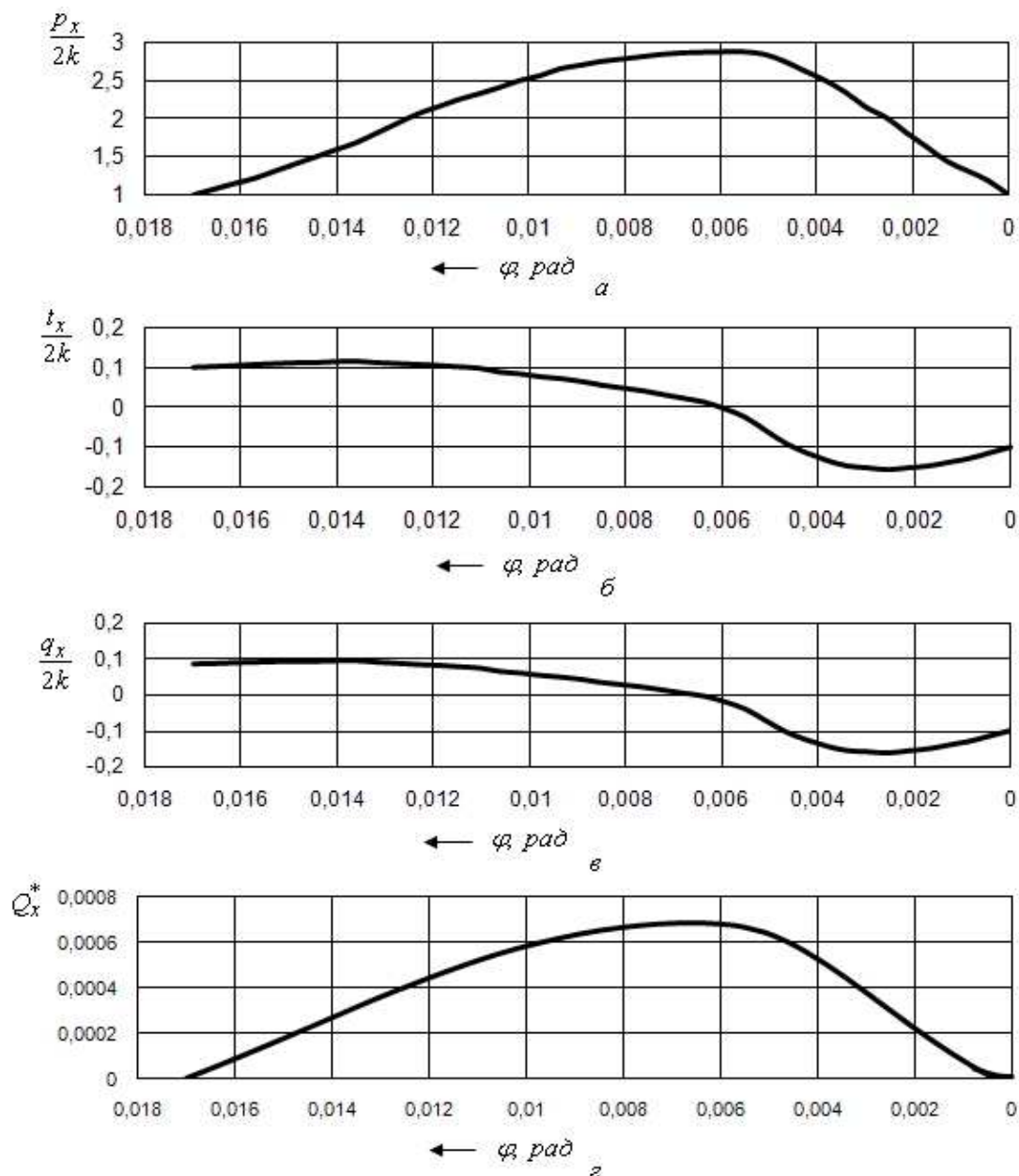


Рисунок 1 – Эпюры распределения контактных напряжений, продольного внешнего напряжения и текущей результирующей горизонтальных внешних сил

Заметим, что по длине зоны контакта полосы с валками текущая сила Q_x^* изменяется по определённому закону, следовательно, всегда можно получить среднее её значение Q_{cp}^* (рис.1, г).

Средняя результирующая горизонтальных контактных сил Q_{cp}^* , как показано в

в работах [1-3], является индикатором продольной устойчивости процесса прокатки. При положительном значении этой силы (направление соответствует движению полосы) процесс протекает устойчиво, при нулевом её значении прокатка ведётся в предельных условиях, если вектор силы Q_{cp}^* направлен противоположно движению металла – процесс невозможен.

При установившемся режиме деформации среднюю результирующую горизонтальных контактных сил можно выделить и при других моделях трения [1,2], действующих в контакте полосы с валками, а также обрабатывая экспериментальные эпюры контактных напряжений [3].

Подчеркнём, что эта сила получена в условиях стационарного процесса. Казалось бы налицо очевидное противоречие, т.к. не соблюдается равновесие контактных сил. Однако обратимся к вычислению продольных нормальных напряжений $\frac{\sigma_x}{2k}$. С учётом уравнения пластичности нетрудно рассчитать эти напряжения (рис.2, а), найти текущее значение горизонтальных внутренних сил в каждом сечении очага деформации (рис.2, б):

$$Q_{x\text{вн}} = \sigma_x h_x b = (p_x - 2k)(h_1 + R\varphi^2) b = 2kRb \left(\frac{p_x}{2k} - 1 \right) \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right);$$

или в безразмерной форме:

$$Q_{x\text{вн}}^* = \frac{Q_{x\text{вн}}}{2kRb} = \left(\frac{p_x}{2k} - 1 \right) \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right), \quad (2)$$

где b – ширина полосы,

и получить среднюю её величину $Q_{x\text{вн}}^*$.

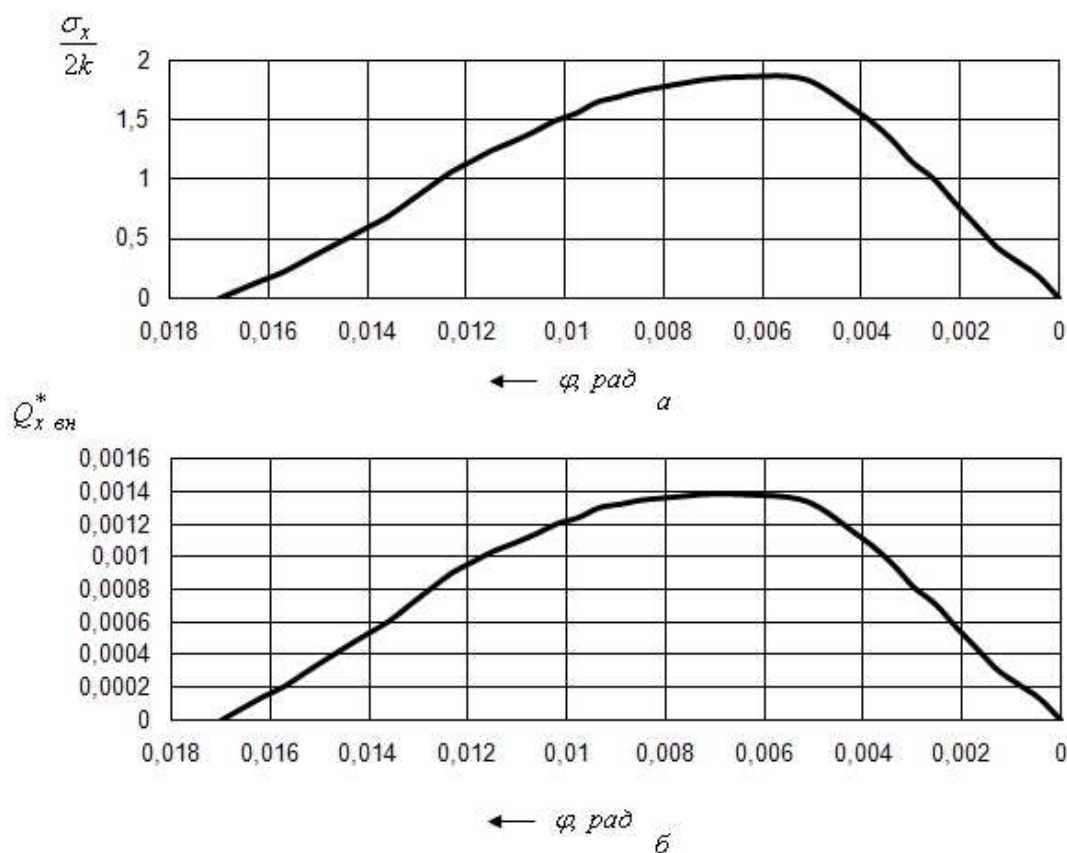


Рисунок 2 – Эпюры распределения внутреннего напряжения и текущей результирующей горизонтальных внутренних сил

Сравнивая текущие значения результирующих горизонтальных контактных и внутренних сил, приходим к равенству:

$$2Q_x^* = Q_{x\text{вн}}^*$$

или

$$2Q_{ср}^* = Q_{ср\text{вн}}^* \quad (3)$$

Следует заметить, что под воздействием результирующей силы $Q_{ср\text{вн}}^*$ на определённой части очага деформации возникает “попятное” движение металла, на что обращал внимание ещё В.Е.Грум-Гржимайло [5]. Если нанести вертикальные линии на поверхность полосы (рис.3, линия 1), то при входе в очаг деформации они изгибаются в направлении, противоположном движению металла (рис.3, кривая 2). Аналогичные опыты с вкрученными в подкат винтами проводил Н.Метц [6] и получил те же результаты. На основании изложенного выше можно заключить, что сила $Q_{ср\text{вн}}^*$ направлена противоположно движению полосы.

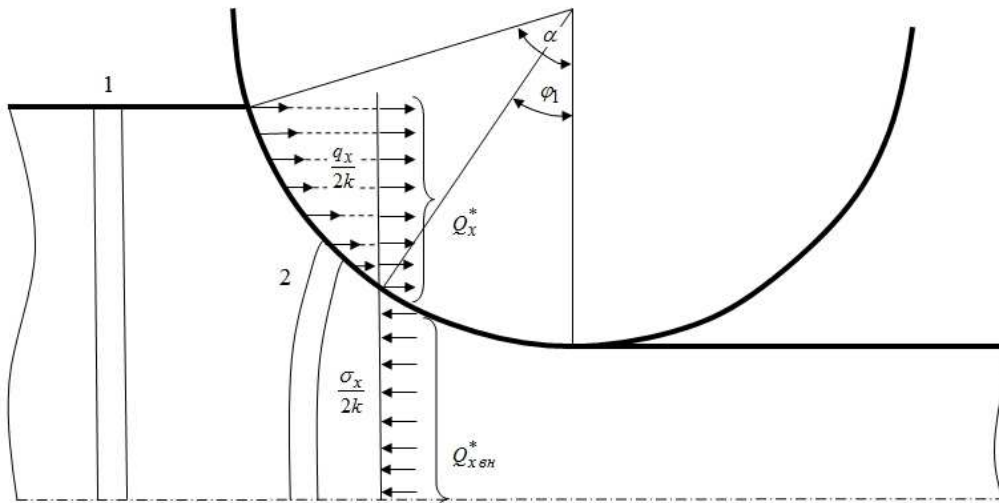


Рисунок 3 – Силы, действующие в очаге деформации при установившемся процессе прокатки

Анализируя выражение (3), необходимо подчеркнуть, что при данном значении угла нейтрального сечения γ втягивающие силы затрачиваются не только на преодоление выталкивающих, но и на уравнивание внутренних сил. В этом можно убедиться, если сравнить значения γ , полученные непосредственно из решения дифференциального уравнения равновесия Т.Кармана по эпюрам распределения удельных сил трения и по формуле Павлова-Экелунда при одинаковых условиях прокатки. Результаты вычислений приведены в табл.1.

Анализ полученных данных показывает, что угол нейтрального сечения, определяемый из эпюр всегда меньше, чем по указанной формуле. Это связано с тем, что при решении уравнения Т.Кармана в равновесии участвуют и внутренние силы деформируемого металла, а при расчёте по формуле Павлова-Экелунда только контактные.

Таблица 1 – Сравнение значений угла нейтрального сечения

№ п/п	Толщина полосы, мм		Угол захвата, α , рад	Радиус валков, R , мм	$\frac{l_d}{h_{cp}}$	Коэф. трения, f	Угол γ , рад		Относ. разница, %
	h_0	h_1					по эпюрам	по формуле Павлова	
1	0,3	0,21	0,017	300	20	0,044	0,006	0,0069	13,4
2	0,6	0,42	0,024	300	14	0,056	0,0072	0,0094	23,4
3	9	6,6	0,2	60	1,54	0,15	0,033	0,037	10,8
4	9	6,6	0,2	60	1,54	0,2	0,05	0,055	9,1
5	5	4,45	0,129	93	2,54	0,152	0,026	0,037	29,7
6	1,0	0,64	0,06	100	7,3	0,06	0,0078	0,0087	11,5
7	2,4	0,5	0,141	100	9,7	0,2	0,04	0,0456	12,3

Важно отметить, что угол γ изменяется таким образом, чтобы обеспечить равновесие сил (3). Если оно нарушилось, например, контактные силы $2Q_{cp}^*$ стали больше $Q_{ср\ вн}^*$, то возникает избыточная сила в направлении прокатки. Она приведёт к ускорению и увеличению скорости полосы, что вызовет рост угла γ и, в конечном счёте, к восстановлению равенства (3).

Следовательно, регулирующая роль угла нейтрального сечения заключается в поддержании равновесия между результирующими горизонтальными силами на контакте и внутри деформируемого металла. Других, горизонтально направленных сил в очаге деформации не действует. Кроме того, согласно (3) внутренние силы, оказывая влияние на значение γ , влияют и на кинематические прокатки.

Таким образом, как показало исследование, при устойчивом процессе прокатки на контакте металла с валками всегда действует результирующая сила Q_{cp}^* в направлении движения полосы. Тогда принятое в теории положение о том, что, действующие на контакте силы взаимно уравновешены, является спорным. Равновесие в очаге деформации действительно соблюдается, но с учётом внутренних сил. Отсюда следует, что при установившемся процессе общая равнодействующая контактных сил наклонена в сторону движения полосы. Только в предельном случае прокатки, когда $Q_{cp}^* = 0$, она принимает вертикальное направление. Очевидно, что с учётом силы Q_{cp}^* плечо момента будет отличаться от величины, равной $\psi \cdot l_d$ (ψ – коэффициент плеча момента; l_d – геометрическая длина очага деформации), что будет являться объектом дальнейшего исследования.

Выводы. Показано, что равновесие в очаге деформации имеет место только с учётом внутренних сил пластически деформируемого металла. Втягивающие металл в валки силы затрачиваются не только на преодоление выталкивающих, но и на уравновешивание внутренних сил. В связи с этим определённое влияние на угол нейтрального сечения оказывает напряжённое состояние прокатываемого металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко О.П. Влияние режима трения на устойчивость прокатки при однозонном скольжении металла в валках / О.П.Максименко, Р.Я.Романюк, А.А.Никулин // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2008. – № 6. – С.26-29.

2. Максименко О.П. Теоретический анализ захватывающей способности валков в установившемся режиме прокатки. / О.П.Максименко, А.А.Никулин, Р.Я.Романюк // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2008. – №10. – С.32-34.
3. Максименко О.П. Исследование средней результирующей горизонтальных сил в очаге деформации при прокатке / О.П.Максименко, Р.Я.Романюк // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2009. – № 10. – С.22-24.
4. Василев Я.Д. Развитие теории контактных напряжений при прокатке / Я.Д.Василев // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2002. – С.86-96.
5. Грум-Гржимайло В.Е. Прокатка и калибровка / Грум-Гржимайло В.Е. – Л.: “Кубуч”, 1933. – 127с.
6. Метц Н. Опытное исследование горячей прокатки железа / Н.Метц // Вопросы металлургии. – 1926. – №1-2. – С.12-17.

УДК 621.771.01

ЕРШОВ С.В., д.т.н., профессор
МЕЛЬНИК С.Н.*, к.т.н., гл. калибровщик
МОСЬПАН В.В.*, гл. прокатчик
ГАВРИЛИН С.Ю., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет
*ОАО Днепровский металлургический комбинат им. Дзержинского

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ КОРЫТНОГО ТИПА С ОТОГНУТЫМИ КРАЯМИ

Введение. Локомотивом потребления крупных фасонных профилей является строительная и машиностроительная отрасли. С ростом развития данных отраслей растет и требование к техническим характеристикам фасонных профилей. Также требуется снижение металлоемкости профиля, снижение энергетических и материальных затрат на освоение новых профилей.

Производство фасонных профилей корытного типа с вертикальной осью симметрии и отогнутыми краями [1] осуществляется на крупносортовых, рельсобалочных и универсально-балочных станах. К крупным профилям данной группы следует отнести: шпунтовая свая корытного типа «Ларсен», металлическая шпала и сортовой металл для крепления горных выработок СВП, а также близкий по форме к данной группе швеллер стальной горячекатаный.

К конструкции приведенного ряда профилей предъявляют особые требования, а именно: повышенный момент сопротивления, возможность работы в условиях на изгиб.

Отличие от профилей СВП профиля металлической шпалы и шпунтовой сваи типа «Ларсен» заключается в отсутствии замковых (кулачковых) элементов. Сходство заключается в выборе общих способов прокатки – корытный, балочный.

Разработкой методов расчета калибровки валков швеллерной стали занимались многие исследователи: А.Н.Скорыходов, И.Я.Тарновский, Б.М.Илюкович, Б.В.Мерекин, М.М.Штернов, Б.П.Бахтинов, Д.И.Старченко, Б.Б.Диомидов, Н.В.Литовченко, А.П.Чекмарев, М.М.Геллерман, Г.В.Бергеман, А.А.Чичкан.

В работах М.М.Штернова, Б.П.Бахтинова основой для разработки методов расчета калибровки швеллера является принятие равенства коэффициентов деформации стенки и фланцев $k_c = k_\phi = k$. [2]. Авторы дают рекомендации для выбора общего коэффициента деформации: