

торая учитывает известные положения теории прокатки. Разработана методика расчета этих напряжений. Имеет место определенное соответствие между расчетными и опытными эпюрами удельных сил трения, а также значениями среднего давления, опережения и коэффициента трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / [А.Н.Леванов, В.Л.Колмогоров, С.П.Буркин и др.]. – М.: Металлургия, 1976. – 416с.
2. Семенюта А.Я. Определение удельных давлений при прокатке широких полос средней толщины / А.Я.Семенюта // ДМеТи. Обработка металлов давлением: научные труды. – М.: Металлургия, 1967. – Т52. – С.118-123.
3. Василев Я.Д. Модель напряжений трения при тонколистовой прокатке / Я.Д.Василев, А.В.Дементенко // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – №1. – С.29-33.
4. Шевченко К.Н. Закон трения при прокатке и другие замечания. / К.Н.Шевченко // Теория прокатки: материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. – М.: Металлургиздат, 1962. – С.459-461.
5. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке / А.П.Грудев. – М.: Металлургия, 1973. – 288с.
6. Грудев А.П. Теория прокатки / А.П.Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 240с.
7. Василев Я.Д. Разработка энергосберегающих режимов натяжения на непрерывных станах холодной прокатки / Я.Д.Василев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – №2. – С.34-38.
8. Королев А.А. Новые исследования деформации металла при прокатке / А.А.Королев. – М.: Машгиз, 1953. – 267.

Поступила в редколлегию 07.04.2015.

УДК 621.771.01

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., профессор
ИЗМАЙЛОВА М.К., к.т.н., доцент
ЛОБОЙКО Д.И., аспирант
КУЗЬМИН Е.В., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОСЫ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ

Введение. В работе [1] разработана методика оценки продольной устойчивости простого процесса прокатки и предельной захватывающей способности валков, которая связана с определением среднеинтегральной результирующей продольных сил пластически деформируемого металла. Эта результирующая представляет собой силу сопротивления, реакцию на действие внешних сил. Поэтому если продольная результирующая направлена противоположно движению полосы, то прокатка будет устойчивой, без пробуксовок. В случае равенства её нулю – процесс совершается в предельных условиях, а при положительном векторе этой силы (по ходу прокатки) деформация металла становится невозможной. Кроме того, как следует из [1], потеря равновесия полосы в зоне контакта её с валками может возникать при наличии зоны опережения.

Постановка задачи. Разовьем идею о продольной устойчивости процесса на случай прокатки с натяжением полосы. Пусть в этих условиях деформации выполнено численное решение уравнения Т.Кармана и получена эпюра распределения давления по

длине очага деформации, имеющая вид, приведенный на рис.1, б. Заметим, что в сечениях ψ_1 и ψ_2 давление p_x равно среднему сопротивлению деформации $2k$. На входной части очага деформации действует сила заднего натяжения полосы Q_0 и соответственно продольные напряжения натяжения $\frac{\sigma_0}{2k}$, а на выходной – сила переднего натяжения Q_1 и удельных натяжений $\frac{\sigma_1}{2k}$. Выделим текущий объем металла вблизи входа металла в валки ($\alpha - \varphi_1$) (рис.1, а). Действие отброшенной правой части заменим напряжениями $\frac{\sigma_x}{2k}$. Если процесс является стационарным, то равновесие текущего объема возможно только в том случае, когда напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ направлены по ходу прокатки.

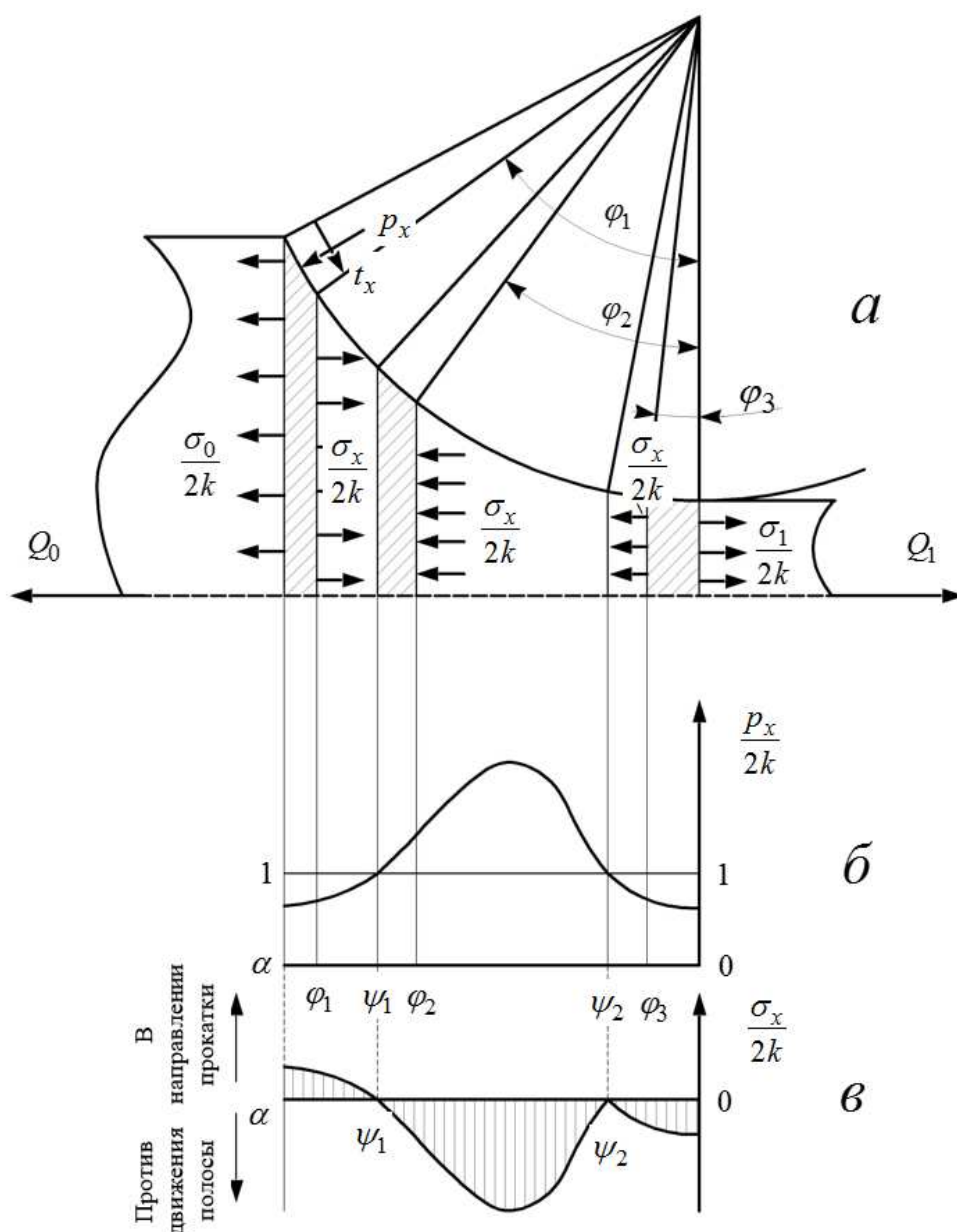


Рисунок 1 – Схема очага деформации, распределение давления и продольных напряжений в нем

Это направление продольных нормальных напряжений будет неизменным вплоть до сечения ψ_1 . Тогда в соответствии с уравнением пластичности напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ на участке $\alpha - \psi_1$ будут изменяться так, как показано на рис.1, в и указанное направление будем считать положительным. Далее рассмотрим участок $\psi_1 - \psi_2$. Здесь в соответствии с уравнением пластичности напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ являются сжимающими и направлены против движения полосы, т.е. так, как показано на рис.1, в.

На участке очага деформации, характеризуемом сечениями $0 - \psi_2$, продольные напряжения существенно зависят от силы переднего натяжения полосы. Как и раньше, выделим текущий объем металла $0 - \psi_3$, равновесие его возможно, если $\frac{\sigma_x}{2k}$ будут направлены противоположно движению полосы. Тогда, в целом, эпюра распределения напряжений $\frac{\sigma_x}{2k}$ приобретает вид, показанный на рис.1, в.

Имея картину распределения продольных нормальных напряжений, нетрудно рассчитать текущие продольные силы пластически деформируемого металла:

$$Q_{xnp.} = \sigma_x h_x b,$$

или в безразмерной форме:

$$Q_{xnp.}^* = \frac{Q_{xnp.}}{2k \cdot R \cdot b} = \frac{\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right). \quad (1)$$

Изменение текущей силы по длине очага деформации приведено на рис.2.

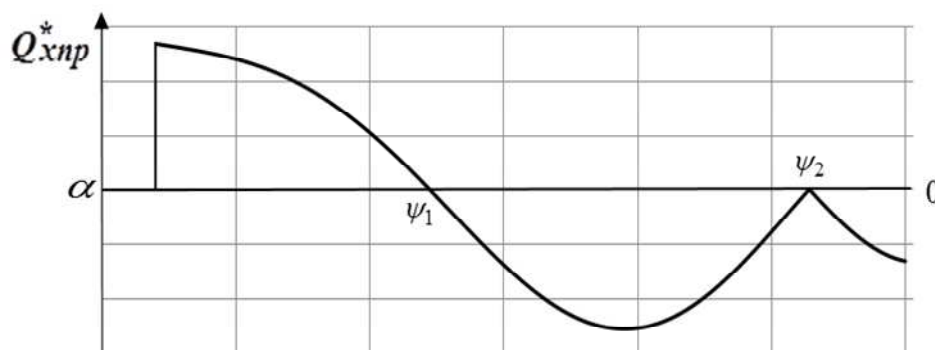


Рисунок 2 – Эпюра текущей продольной силы в очаге деформации

Имея эпюру изменения текущих продольных сил $Q_{xnp.}^*$, нетрудно определить среднеинтегральную результирующую при прокатке полосы с натяжением:

$$Q_{xnp.}^{*н} = \frac{1}{\alpha - \psi_1} \int_{\psi_1}^{\alpha} Q_{xnp.}^* d\varphi - \frac{1}{\psi_1 - \psi_2} \int_{\psi_2}^{\psi_1} Q_{xnp.}^* d\varphi - \frac{1}{\psi_2 - 0} \int_0^{\psi_2} Q_{xnp.}^* d\varphi. \quad (2)$$

Геометрически выражение (2) представляет собой алгебраическую сумму отношений площадей под кривой $Q_{xnp.}^*$ на участках $\alpha - \psi_1$; $\psi_1 - \psi_2$ и $\psi_2 - 0$ к длине этих участков (рис.1, в). Зная величину и направление действия результирующей $Q_{xnp.}^{*н}$, в

соответствии с [1] можно дать оценку продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением. Если эта внутренняя сила направлена противоположно движению полосы, т.е. $Q_{хпр}^{*н} < 0$, то металл в валках будет вести себя устойчиво без потери равновесия. При $Q_{хпр}^{*н} = 0$ процесс будет протекать в предельных условиях. В случаях, когда $Q_{хпр}^{*н} > 0$, т.е. результирующая внутренних сил направлена по ходу прокатки, процесс невозможен.

Результаты работы. Проанализируем конкретные значения продольной результирующей силы при деформации полосы с разными режимами натяжения и сравним результаты расчетов с опытными данными, приведенными в [2].

При решении дифференциального уравнения Т.Кармана в качестве модели трения была использована функция¹:

$$\frac{t_x}{2k} = n_2 f \frac{p_x}{2k} + \frac{1}{2} \sin \left[2n_1 \left(\varphi - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \frac{\varphi - \alpha}{\alpha}, \quad (3)$$

где n_1 и n_2 – постоянные коэффициенты при заданных условиях прокатки:

$$n_1 = \left(\frac{2f}{\alpha} \right)^2; \quad n_2 \text{ – определяется из граничных условий на выходе из валков;}$$

φ – текущий угол в очаге деформации;

f – коэффициент трения при упругом транспортировании металла;

α – угол захвата.

Решение осуществляли с применением метода Рунге-Кутты, для чего была составлена программа расчета на ЭВМ. Для случая прокатки стального образца 94 (номер фигуры 94) [2] результаты расчета эпюр распределения нормального давления, удельных сил трения и текущей продольной силы пластически деформированного металла приведены на рис.3. Образец прокатывался со значительным задним натяжением полосы $\frac{\sigma_0}{\sigma_{T_0}} = 0,394$ (σ_{T_0} – напряжение текучести на входе в очаг деформации). Параметры деформации, некоторые результаты опытов и расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1 – Режим обжатий, кинематические и силовые параметры при холодной прокатке стального образца № 94

№ фигуры	Толщина полосы, мм		$\frac{\sigma_0}{\sigma_{T_0}}$	$\frac{P_{cp}}{2k}$	$l_{сн},$ мм	$\alpha_{сн},$ рад	$R_{сн},$ мм	$v_B,$ мм/с	f	f_{cp}	$S,$ %	$Q_{ср пр.}^{*н}$
	h_0	h_1										
94	1,95	1,5	0,394	$\frac{1,05}{1,1}$	7,97	0,056	142,4	50	0,2	0,16	$\frac{1,4}{2,4}$	-0,0011

Примечание: в числителе – опытные данные; в знаменателе – расчетные;

$$f_{cp} = \frac{\int_{\gamma}^{\alpha} \frac{t_x}{2k} d\varphi + \left| \int_0^{\gamma} \frac{t_x}{2k} d\varphi \right|}{\int_0^{\alpha} \frac{p_x}{2k} d\varphi}.$$

¹ – предыдущая статья

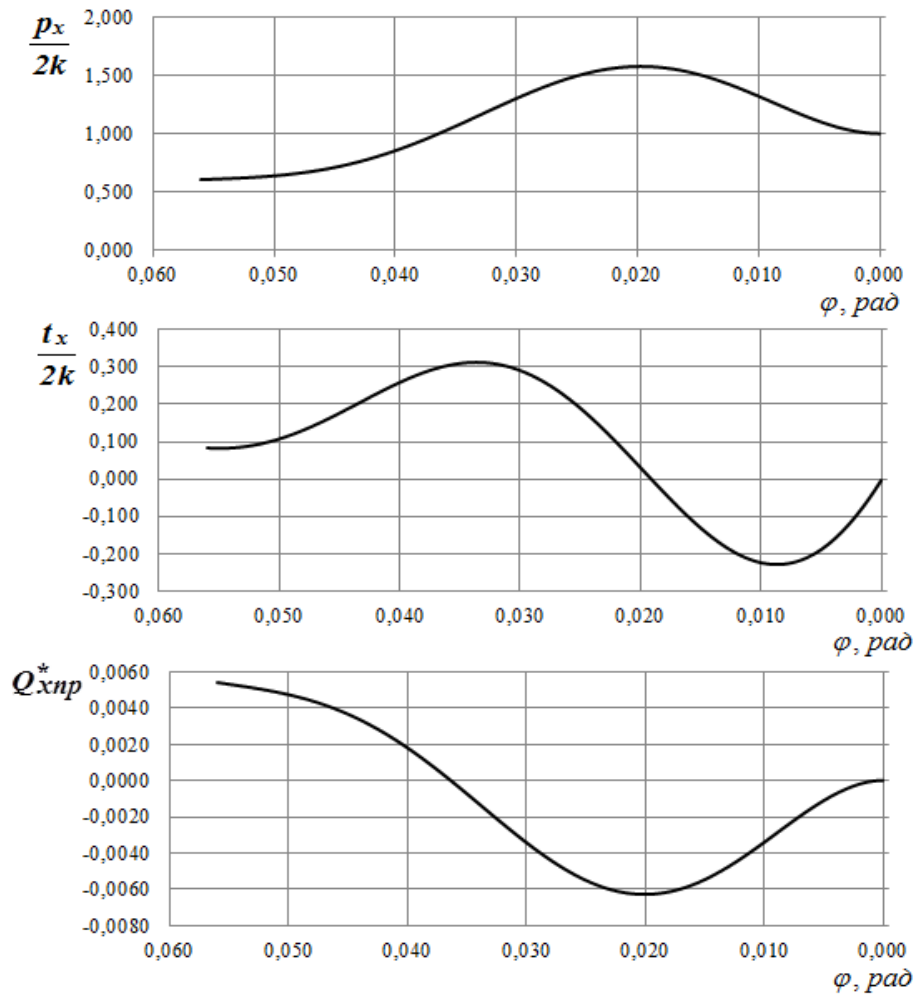


Рисунок 3 – Эпюры распределения нормального давления, удельных сил трения и текущей продольной силы пластически деформируемого металла для образца №94

Анализ изменения текущей продольной силы Q_{xnp}^{*n} по длине очага деформации показывает, что вблизи входа металла в валки эта сила положительная, направлена по ходу прокатки. Далее она меняет свое направление. Причем площадь под кривой отрицательных значений Q_{xnp}^{*n} больше положительных, т.е. $Q_{ср\ np.}^{*n} < 0$ и равна -0,0011, следовательно, в данных условиях деформации процесс прокатки образца совершался устойчиво без частичных пробуксовок, что подтверждают результаты опыта. Обратим внимание на то, что опытные и расчетные значения среднего давления $\frac{P_{ср}}{2k}$ и опережения S достаточно близки (табл.1.).

Аналогичные расчеты были проведены и для остальных образцов с натяжением из работы [2]. Сравнительные результаты приведены на рис.4. Из рис.4 видно, что с увеличением заднего удельного натяжения полосы средняя результирующая продольных сил $Q_{ср\ np.}^{*n}$ по абсолютной величине уменьшается, следовательно, уменьшается и продольная устойчивость процесса прокатки. Об этом можно судить и по опытному опережению S . Важно отметить, что одним из ограничений на величину натяжения

полосы при прокатке может быть продольная устойчивость металла в валках. Это обстоятельство необходимо особо учитывать при непрерывной прокатке листовой стали.

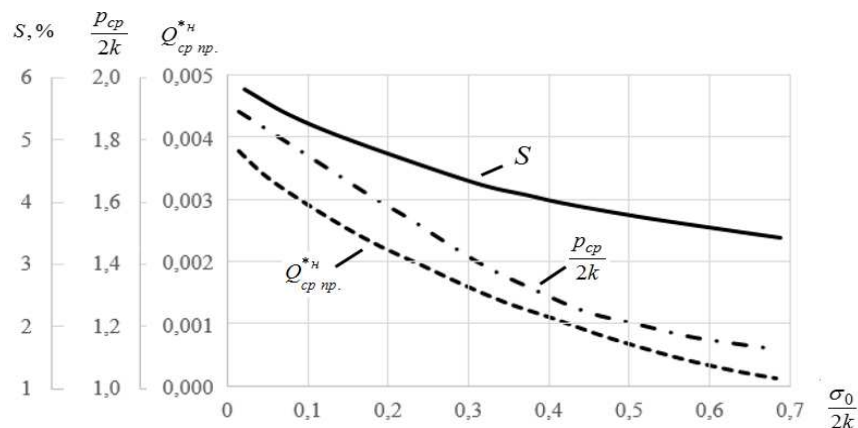


Рисунок 4 – Влияние заднего натяжения полосы на некоторые параметры прокатки

Выводы. Разработан метод оценки продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением. Показано, что с увеличением заднего натяжения результирующая продольных сил по абсолютной величине уменьшается и, следовательно, снижается устойчивость процесса прокатки. Последнее необходимо учитывать при назначении режимов натяжения полосы, особенно в случаях непрерывной прокатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко О.П. Анализ силового взаимодействия в очаге деформации при прокатке / О.П.Максименко, Д.И.Лобойко, Р.Я.Романюк // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №6. – С.47-49.
2. Королев А.А. Новые исследования деформации металла при прокатке / А.А.Королев. – М.: Машгиз, 1953. – 267с.

Поступила в редколлегию 07.04.2015.

УДК 621.771.01

ЄРШОВ С.В., д.т.н., професор
 ГЕЙМУР К.Г., аспірант
 КРАВЧЕНКО К.О., аспірант
 МАРЧЕНКО К.К., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ КАЛІБРІВ ПРИ ПРОКАТУВАННІ КРУГЛОЇ ЗАГОТОВКИ В ОВАЛЬНОМУ КАЛІБРІ

Вступ. Для виготовлення прокатної продукції необхідна велика кількість прокатних валків різної форми і розмірів. Крім того, в процесі експлуатації десятки тисяч прокатних валків кожен рік виходять з ладу та списуються в металобрухт з причини зносу та пошкодження. Ці обставини вимагають шукати способи збільшення зносостійкості прокатних валків та удосконалювати їх якість.

До методів збільшення зносостійкості валків можна віднести спосіб підвищення твердості поверхні легуванням та модифікацією металу валка, використання валків з