

РОЗДІЛ «ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 621.771.01

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
КАЧАН О.О., магістр

Днепродзержинский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ НА УГОЛ НЕЙТРАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Введение. В статье проведен анализ баланса продольных сил, действующих в очаге деформации. Показано, что при учете продольных сил пластически деформируемого металла равновесие полосы в валках нарушается при наличии зоны опережения, что соответствует результатам опытов. На основе проведенного анализа было предложено в качестве более эффективного критерия оценки граничных условий прокатки использовать результирующее среднеинтегральное значение внутренних продольных сил.

В теории принято, что предельные условия прокатки возникают при нулевом значении угла нейтрального сечения, т.е. при однозонном скольжении металла в очаге деформации. Вместе с тем, экспериментальные исследования А.П.Грудева [1] и других ученых показывают, что потеря равновесия полосы в валках с последующей пробуксовкой может происходить и при наличии зоны опережения в очаге деформации.

Постановка задачи. Теоретически, как показано в работах [2, 3], на условия равновесия полосы в валках и предельные условия прокатки может оказывать влияние и характер изменения текущих продольных сил пластически деформируемого металла $Q_{хпр}^*$, а также результирующая $Q_{српр}^*$. Заметим, что $Q_{српр}^*$ является силой сопротивления, реакцией на внешнее воздействие в очаге деформации, и всегда при устойчивом процессе прокатки она направлена противоположно движению полосы.

Проанализируем характер изменения этих продольных сил на следующем примере. Пусть прокатка полосы ведется в валках диаметром $D = 207$ мм на конечную толщину $h_1 = 3,75$ мм с коэффициентом трения $f = 0,26$ при углах захвата $\alpha = 0,2$ рад и $\alpha = 0,372$ рад. Согласно предложенной в [2, 3] методике для расчета эпюры распределения текущей продольной силы $Q_{хпр}^*$ в очаге деформации необходимо решить дифференциальное уравнение Т.Кармана и получить кривые изменения контактных напряжений. Результаты расчетов приведены на рис.1.

Результаты работы. При деформации полосы с углом захвата $\alpha = 0,2$ рад (кривые 1) напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ (σ_x – продольное нормальное напряжение; $2k$ – среднее сопротивление деформации) по всей длине контактной зоны являются сжимающими, текущая сила $Q_{хпр}^*$ во всех сечениях направлена противоположно по отношению к движению полосы со средне-интегральным значением $Q_{српр}^* = -0,02$. В соответствии с [2, 3] при таких условиях деформации процесс прокатки будет совершаться устойчиво без частичных пробуксовок с углом нейтрального сечения $\gamma = 0,059$.

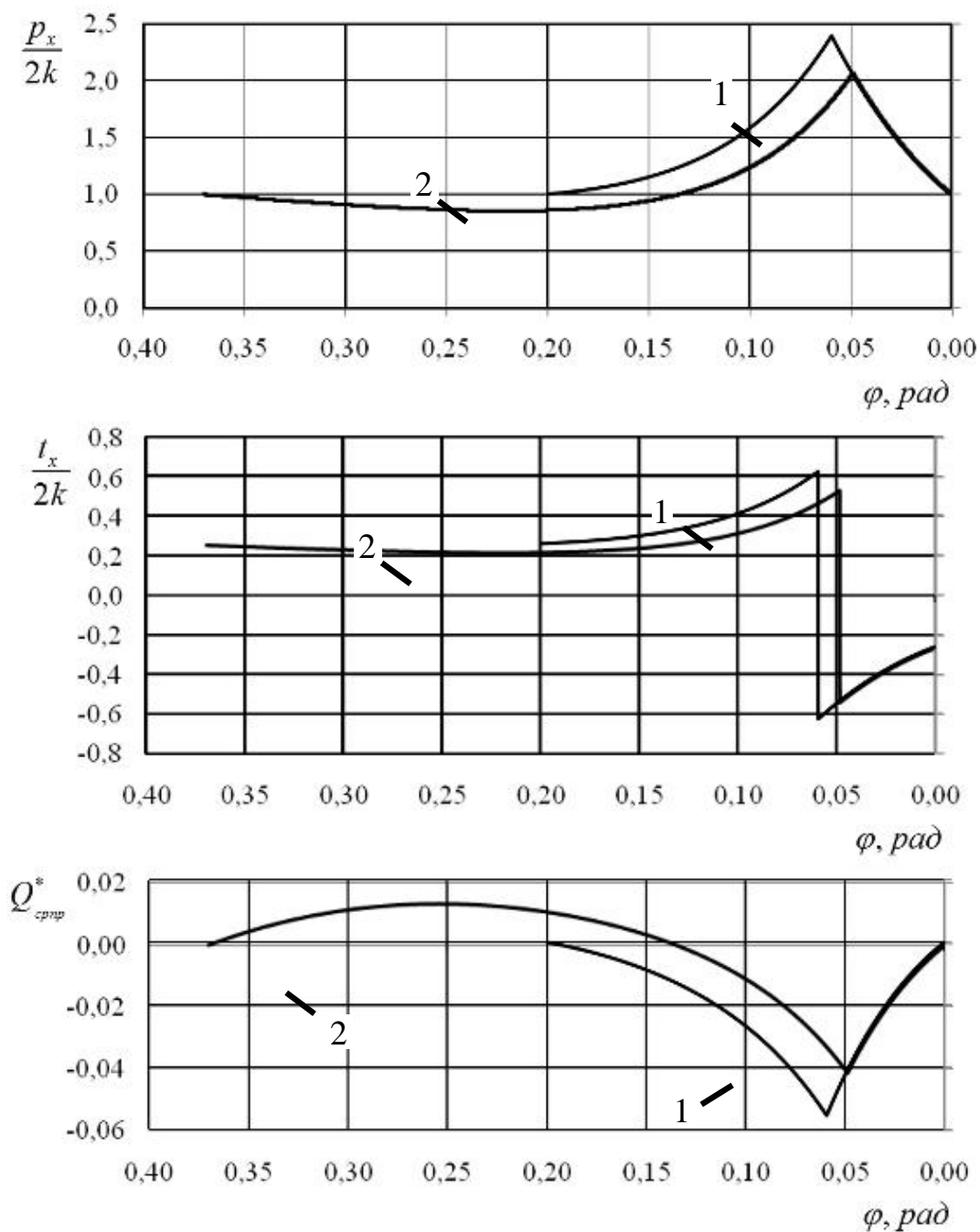


Рисунок 1 – Эпюры контактных напряжений и текущей продольной силы при разных углах захвата

В случае прокатки с углом $\alpha = 0,372 \text{ рад}$ (кривые 2) на одной части очага деформации получили развитие продольные нормальные растягивающие напряжения, на другой – сжимающие. В соответствии с этим и текущие силы $Q_{хпр}^*$ являются разного знака, ближе ко входу в очаг деформации они направлены по движению полосы, на остальной части – противоположно. Причем площади положительных и отрицательных значений $Q_{хпр}^*$ практически одинаковы. Тогда результирующая продольных сил $Q_{српр}^*$ принимает нулевое значение. В соответствии с [2, 3] такие условия прокатки теоретически следует отнести к предельным. При дальнейшем даже незначительном увеличе-

нии угла захвата процесс будет невозможным, т.к. результирующая $Q_{ср пр}^*$ изменит свое направление и станет активной, чего быть не может.

В определенной мере результаты опытов соответствуют полученным аналитическим данным [4]. Обратим внимание на характер распределения безразмерных удельных сил трения $\frac{t_x}{2k}$ в предельном случае прокатки. Как видно из рис.1 (кривая 2), в этом случае в очаге деформации имеет место значительная зона опережения, нейтральный угол $\gamma = 0,05 \text{ рад}$, что не вписывается в современную теорию, но подтверждается экспериментально [1, 4].

Для разрешения этого противоречия составим баланс горизонтальных сил, действующих в очаге деформации, с учетом результирующей продольных сил пластически деформируемого металла (рис.2):

$$-2N_{омс} \sin \frac{\alpha + \gamma}{2} + 2T_{омс} \cos \frac{\alpha + \gamma}{2} - 2N_{он} \sin \frac{\gamma}{2} - 2T_{он} \cos \frac{\gamma}{2} - Q_{ср пр}^* = 0. \quad (1)$$

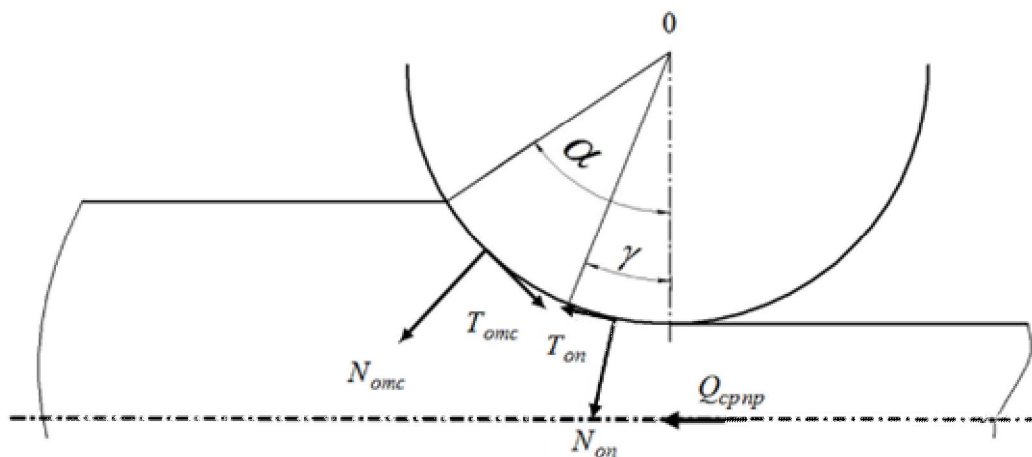


Рисунок 2 – К балансу горизонтальных сил

При известных заменах и приближениях, включая модель трения в виде закона Амонтона-Кулона, а также с учетом того, что:

$$Q_{ср пр} = Q_{ср пр}^* \cdot 2k \cdot R \cdot b, \quad (2)$$

где b – ширина полосы, имеем:

$$-\frac{\alpha_y^2}{4f_y} + \frac{\alpha_y}{2} - \gamma = \frac{Q_{ср пр}^*}{4 \frac{P_{ср}}{2k} f_y} = \frac{Q_{ср пр}^*}{4 \frac{t_{ср}}{2k}}. \quad (3)$$

Подчеркнем, что угол γ в выражении (3) зависит не только от внешних условий, но и от внутренних сил, определяемых результирующей $Q_{ср пр}^*$.

Как известно, первые два члена левой части выражения (3) представляют собой угол нейтрального сечения, полученный из условия равновесия контактных сил (формула Эжелунда-Павлова). Обозначим его через γ_κ .

Тогда

$$\gamma_\kappa - \gamma = \frac{Q_{ср пр}^*}{4 \frac{t_{ср}}{2k}}. \quad (4)$$

Предварительный анализ выражения (4) показывает, что с увеличением результирующей $Q_{српр}^*$ угол γ уменьшается, т.е. снижается запас сил трения в очаге деформации. Углы γ и γ_k равны между собой только в предельном случае прокатки. Графический анализ зависимости $Q_{српр}^*$, γ и γ_k от отношения $\frac{\alpha_y}{f_y}$ позволяет раскрыть некоторые новые особенности простого процесса прокатки. Для этого выполним расчеты, аналогичные приведенным выше, но для разных углов захвата при неизменных остальных параметрах. Результаты полученных зависимостей показаны на рис.3, из которого следует, что предельное отношение $\frac{\alpha_y}{f_y}$ существенно меньше двух. Для указанных выше условий оно равно $\frac{0,372}{0,26} = 1,43$. В граничном случае прокатки процесс ведется с наличием зоны опережения ($\gamma > 0$). При увеличении угла захвата несколько больше чем $0,372 \text{ рад}$ баланс горизонтальных сил в очаге деформации (1) может соблюдаться только при изменении знака средней результирующей силы $Q_{српр}^*$ (штриховая линия на рис.1).

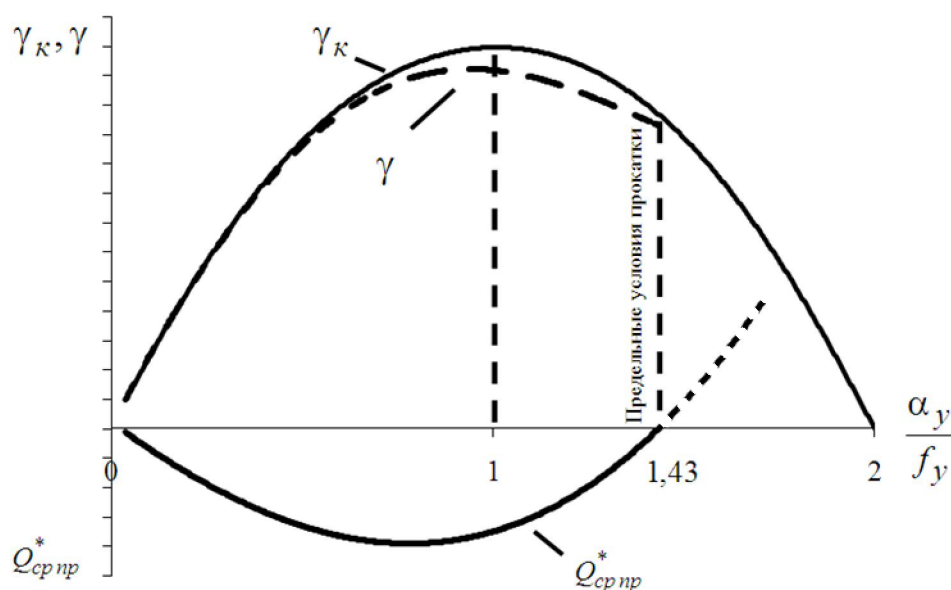


Рисунок 3 – Соотношение между кинематическими параметрами и результирующей продольных сил в очаге деформации

Последнее указывает на то, что при $\alpha_y > 0,372 \text{ рад}$ втягивающих сил в очаге деформации недостаточно для обеспечения нормального (устойчивого) процесса прокатки и следует ожидать потери равновесия в очаге деформации с последующей пробуксовкой.

Выводы. Анализ баланса продольных сил показал, что учет средней результирующей $Q_{српр}^*$ приводит к потере равновесия в очаге деформации при наличии зоны опережения. Поэтому условие $\gamma = 0$ не всегда является граничным, более точной характеристикой его может служить выражение $Q_{српр}^* = 0$. Заметим, что при прокатке с эффективными технологическими смазками, когда режим трения в контакте валков и полосы

зависит от скорости скольжения и толщины масляной плёнки, устойчивый процесс прокатки наблюдается и при значительном «отрицательном» опережении [5, 6]. Теоретически такие условия выполняются, если трение в очаге деформации подчиняется закону Ньютона [7, 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудев А.П. Захватывающая способность валков / А.П.Грудев. – М.: СП «Интермет Инженеринг», 1998. – 283с.
2. Максименко О.П. Анализ продольной устойчивости процесса прокатки с учетом внутренних сил и режима натяжения полосы / О.П.Максименко, М.К.Измайлова, Д.И.Лобойко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №1. – С.59-62.
3. 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.
4. Чекмарев А.П. Экспериментальное исследование максимальных углов захвата в установившемся процессе прокатки / А.П.Чекмарев, В.И.Прокофьев // *Обработка металлов давлением: науч. тр. ДМетИ*. – М.: *Металлургия*, 1967. – Вып. LII. – С.79-88.
5. Павлов И.М. К вопросу об отрицательном опережении при прокатке / И.М.Павлов, В.К.Белосевич // *Изв. Вузов. Черная металлургия*. – 1961. – №10. – С.46-49.
6. Mizuno T. An experimental research on cold rolling. I. Report: Estimating the mechanism of the lubrication / T.Mizuno // *Japan Society of Technology of Plasticity*. – 1966. – №7. – P.383-389.
7. Максименко О.П. Исследование контактных напряжений при однозонном скольжении металла в валках / О.П.Максименко, В.М.Самохвал, Е.Б.Лейко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №4. – С.52-55.
8. Максименко О.П. Исследование процесса прокатки в режиме гидродинамического трения / О.П.Максименко, В.М.Самохвал // *Известия вузов. Чёрная металлургия*. – 2007. – №2. – С.40-43.

Поступила в редколлегию 31.10.2016.

УДК 621.771.23

РОМАНЮК Р.Я., к.т.н., ст. викладач

Дніпродзержинський державний технічний університет

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ ОБТІСНЕНЬ ДЛЯ ОДНОКЛІТЬОВОГО РЕВЕРСИВНОГО СТАНУ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ 1500 ПАТ „МОДУЛЬ”

Вступ. Успішна діяльність гірничо-металургійного комплексу, у тому числі і прокатного переділу, є важливим джерелом економічного розвитку України. Проте металургійна галузь є прикладом низькоефективного використання матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів через вкрай зношене, морально застаріле обладнання, ресурсномісткі і екологічно небезпечні технології. Модернізація діючих виробничих потужностей і впровадження сучасних „ноу-хау” протягом останніх років через недостачу засобів і відсутність чіткої державної політики здійснювалися тільки на окремих металургійних комбінатах України, а рішення екологічних проблем практично не приділялася увага.