



УДК 621.771.014.2

Поступила 13.06.2016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ В ВАЛКАХ НЕРАВНОГО ДИАМЕТРА С ФИКСАЦИЕЙ КОНЦЕВОГО УЧАСТКА

DEFINITION OF CONDITIONS OF STRIP'S ROLLING IN ROLLS OF UNEQUAL DIAMETER WITH FIXING OF AN ENDING ELEMENT

Л. А. ИСАЕВИЧ, Д. М. ИВАНИЦКИЙ, М. Л. НЕСТЕРОВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: maxim03021992@gmail.com

L. A. ISAEVICH, D. M. IVANICKIJ, M. L. NESTEROVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: maxim03021992@gmail.com

Предложена схема прокатки полосы переменной толщины с изгибом концевого участка. Определены условия прокатки полосы по предложенной схеме при изготовлении чеки тормозной колодки железнодорожного транспорта. Получены выражения для расчета крутящего момента на ведущем и ведомом валках. Выведены уравнения для расчета переднего натяжения и тянущего усилия на оправке с целью осуществления стабильного процесса прокатки.

The scheme of strip's rolling with variable thickness and with a bend of a trailer site is offered. Conditions of strip's rolling on the offered scheme at production of a brake shoe pin of railway transport are defined. Expressions for calculation of torsion torque on the leader and a permission rolls are defined. Equations for calculation of a forward tension and the pulling effort on a frame are defined.

Ключевые слова. Ассиметричная прокатка, крутящий момент, переднее натяжение, тянущее усилие.

Keywords. Asymmetric rolling, torsion torque, forward tension, pulling effort.

В настоящее время Белорусская железная дорога закупает на предприятиях Украины и России чеку тормозной колодки. В НИЛ ОМД БНТУ была разработана технология изготовления чеки тормозной колодки с использованием процесса прокатки на калиброванной оправке. На рис. 1 приведена схема процесса изготовления заготовки чеки тормозной колодки [1], заключающегося в том, что нагретую заготовку 1 устанавливают в зазор на калибрующей оправке 2 и фиксируют кулачковым зажимом 3 с помощью поворота рычага 4. Калибрующая оправка затягивается приводными валками 5 и 6 в зазор между ними, причем верхний валок изгибает и укладывает заготовку 1 на калибрующую оправку 2 и прокатывает переменный профиль. Затем поворотом рычага 4 отжимают кулачковый зажим 3 и снимают прокатанную заготовку переменного по длине профиля с изогнутым ее концевым участком. Снижение уширения получаемого изделия достигается передним натяжением заготовки в момент прокатки, что в свою очередь обеспечивается рассогласованием скоростей валка и калибрующей оправки. Это осуществляется за счет того, что верхний валок контактирует с оправкой ребордами, а бочка валка меньшего диаметра катится по заготовке. Из этого можно сделать вывод, что предложенная технология сочетает в себе сложный процесс прокатки, а именно:

- прокатка в приводных валках неравного диаметра (в нашем случае оправку принимаем за валок диаметром, равным бесконечности);
- прокатка полосы с рассогласованием скоростей деформирующего инструмента, поскольку это обусловлено тем, что бочка верхнего валка катится по заготовке, а нижний валок и реборды верхнего валка воздействуют на оправку и придают ей линейную скорость, равную окружной скорости нижнего валка и реборд верхнего валка;
- прокатка полосы переменного профиля с передним натяжением, что обусловлено фиксацией заготовки кулачковым зажимом 3.

При выбранной схеме прокатки вследствие разных окружных скоростей бочки верхнего валка и оправки, перемещаемой за счет вращения нижнего валка, нижний и верхний валки воспринимают раз-

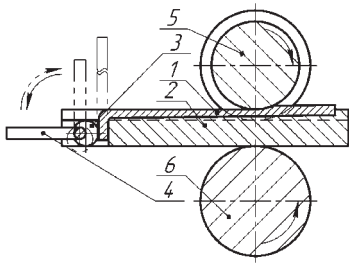


Рис. 1. Схема прокатки полосы с рассогласованием окружных скоростей деформирующего инструмента и фиксацией конечного участка: 1 – заготовка; 2 – калибрующая оправка; 3 – кулачковый зажим; 4 – рычаг; 5 – верхний валок; 6 – нижний валок

личные по величине крутящие моменты. Распределение общего крутящего момента между валками при прокатке с рассогласованием окружных скоростей рассмотрено А. И. Целиковым и в [2–4]. В этом случае (рис. 2) возникающие горизонтальные силы P_x , которые взаимно уравниваются, вызывают отклонение равнодействующих сил P от плоскости прокатки. При данной схеме также уравниваются силы контактного трения τ на поверхностях верхнего и нижнего (оправки) валков.

С увеличением коэффициента рассогласования скоростей $k_v = V_1/V_2$ также увеличивается угол отклонения равнодействующих сил. В данном случае валок, вращающийся с большей скоростью (V_1), будем называть ведущим, а валок, вращающийся с меньшей скоростью (V_2), – ведомым.

Момент прокатки на ведущем валке будем считать равным работе деформации на этом валке. Определим работу, совершаемую ведущим валком. Для этого вначале рассмотрим процесс симметричной прокатки.

Силу трения на элементарной площадке контактной поверхности можно определить по выражению [2]

$$dF = \tau b R d\alpha, \quad (1)$$

где b – ширина элементарной площадки контактной поверхности; $Rd\alpha$ – длина элементарной площадки контактной поверхности.

Согласно [2], выражение для нахождения работы элементарной силы трения dF в зоне отставания можно записать в виде

$$dA' = \int_{\gamma}^{\alpha} \tau b R^2 d\psi d\alpha. \quad (2)$$

Аналогично для зоны опережения:

$$dA'' = \int_0^{\tau} \tau b R^2 d\psi d\alpha. \quad (3)$$

Затрачиваемая работа dA' в зоне отставания будет положительной ввиду передачи энергии в направлении от валка к полосе. В зоне опережения работе dA'' следует присваивать отрицательный знак, так

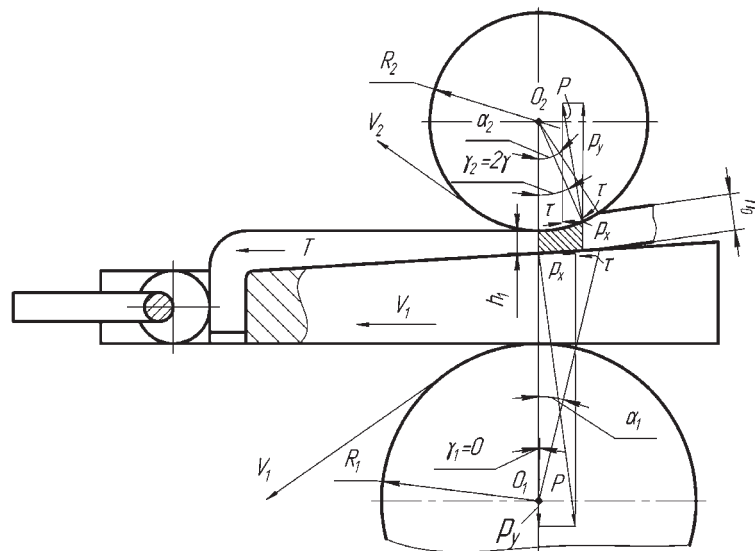


Рис. 2. Схема прокатки с рассогласованием окружных скоростей валков

как энергия будет передаваться от полосы к валкам. Учитывая знаки работы в зонах опережения и отставания, запишем выражение для определения суммарной работы сил контактного трения:

$$dA = dA' - dA'' = 2\tau bR^2 d\psi \left(\int_{\gamma}^{\alpha} d\alpha - 2 \int_0^{\gamma} d\alpha \right). \quad (4)$$

Получим выражение для определения работы, совершаемой валком, проинтегрировав выражение (4) и пренебрегая бесконечно малой величиной $d\psi$:

$$A = 2\tau bR^2 (\alpha - 2\gamma). \quad (5)$$

Если учесть, что $\tau = f\sigma_s$, запишем выражения для определения крутящего момента при асимметричной прокатке на ведущем и ведомом валках соответственно:

$$M_{\text{кп1}} = 2f\sigma_s bR_1^2 (\alpha_1 - 2\gamma_1),$$

$$M_{\text{кп2}} = 2f\sigma_s bR_2^2 (\alpha_2 - 2\gamma_2).$$

При предельном рассогласовании окружных скоростей валков $\gamma_1 = 0$ и $\gamma_2 = 2\gamma$, тогда

$$M_{\text{кп1}} = 2f\sigma_s bR_1^2 \alpha_1, \quad M_{\text{кп2}} = 2f\sigma_s bR_2^2 (\alpha_2 - 4\gamma), \quad (6)$$

где σ_s – предел текучести металла; f – коэффициент контактного трения.

Положение нейтрального сечения определяется как [2, 5]:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2f} \right). \quad (7)$$

Тогда с учетом изложенного выше окончательно запишем выражения для определения крутящего момента на ведущем и ведомом валках соответственно

$$M_{\text{кп1}} = 2fbR_1^2 \alpha_1 \sigma_s,$$

$$M_{\text{кп2}} = 2fbR_2^2 \left(\frac{\alpha_2^2}{f} - \alpha_2 \right) \sigma_s. \quad (8)$$

Согласно выражениям (8), крутящий момент на ведомом валке $M_{\text{кп2}}$ может иметь отрицательное значение, поскольку на поверхности контакта металла и валка преобладает зона опережения над зоной отставания и энергия передается от полосы к валку. В данном случае отрицательный знак крутящего момента оказывает негативное влияние на процесс прокатки и приводит к износу поверхности ведомого валка. Устранить негативное влияние крутящего момента при асимметричной прокатке можно применением переднего натяжения полосы. В нашем случае переднее натяжение регламентируется рассогласованием скоростей деформирующего инструмента и фиксации заготовки кулачковым зажимом (см. рис. 1). Для того чтобы обеспечить стабильность процесса и предотвратить переход прокатки в процесс волочения, необходимо рассчитать суммарное значение тянущего усилия на профилированной оправке (рис. 3).

Согласно нашей схеме, в очаге деформации возникает сила нормального давления N металла заготовки на калибрующую оправку, и подпирающая сила fN , действующая на поверхность контакта заготовки и калибрующей оправки. Поскольку рабочая поверхность оправки выполнена с углом β к направлению прокатки, у силы N возникают составляющие: вертикальная P – усилие давления металла и горизонтальная $P \operatorname{tg} \beta$ – подпирающее усилие, а у силы трения fN – горизонтальная подпирающая сила $fN \cos \beta$. Также возникает горизонтальное тянущее усилие деформирования металла T , обусловленное фиксацией концевой участка полосы на оправке (см. рис. 1). В связи с этим суммарное значение тянущего усилия на профилированной оправке будет равно

$$T_{\Sigma} = T + T_1 + T_2 = f\sigma_s lb + P \operatorname{tg} \beta + fN \cos \beta, \quad (9)$$

где $T = f\sigma_s lb$ – горизонтальное тянущее усилие деформирования металла на оправке; $T_1 = P \operatorname{tg} \beta$ – подпирающее усилие давления металла заготовки от вертикальной составляющей нормальной силы давления N ; $T_2 = fN \cos \beta$ – подпирающая сила трения от нормального давления металла заготовки на калиброванную оправку.

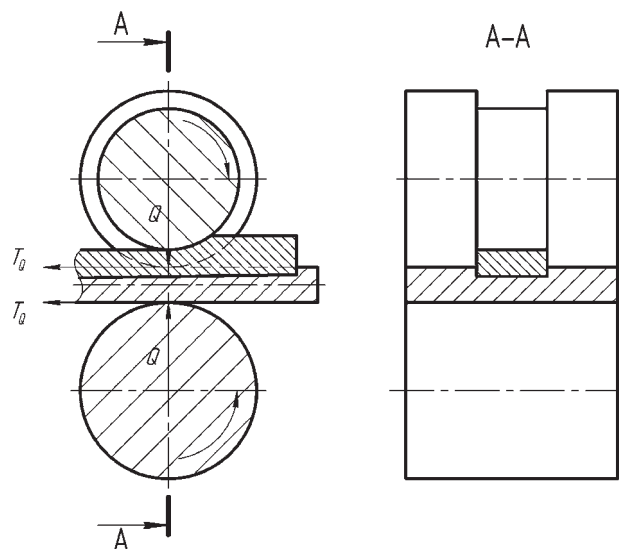


Рис. 5. Действие усилий от реборд к оправке

$$T_Q = Q_1 f_1, \quad (13)$$

где $Q_1 = Q - P$; f_1 – коэффициент трения между оправкой и валками.

Усилие P найдем делением $M_{кр2}$ на проекцию дуги захвата l при предельном рассогласовании скоростей:

$$P = \frac{M_{кр2}}{l} = \frac{2fbR_2^2 \left(\frac{\alpha_2^2}{f} - \alpha_2 \right) \sigma_s}{R_2 \alpha_2} = 2fbR_2 \left(\frac{\alpha_2}{f} - 1 \right) \sigma_s. \quad (14)$$

Как уже отмечалось ранее, сжимающая сила Q предназначена для реализации процесса прокатки с передним натяжением, а стабильность процесса прокатки в свою очередь будет обеспечена при соблюдении условия (12). Таким образом, можно записать

$$2T_Q = T_\Sigma. \quad (15)$$

Цифра 2 говорит о том, что сила TQ возникает со стороны обоих валков.

С учетом выражений (12) и (15) можно записать выражение для определения тянущей силы TQ для осуществления стабильного процесса прокатки полосы с рассогласованием окружных скоростей деформирующего инструмента и фиксации концевой участка

$$T_Q \geq fbR_2 \left(\frac{\alpha_2^2}{f} - \alpha_2 \right) \sigma_s. \quad (16)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что для осуществления стабильного процесса прокатки полосы с рассогласованием окружных скоростей деформирующего инструмента и фиксации концевой участка необходимо соблюдение двух условий:

1. Определенная величина тянущего усилия на оправке, которую находим по формуле (12).
2. Величина тянущей силы, приходящейся на каждый из валков, которую находим по формуле (16).

В противном случае, при несоблюдении условия определенной величины усилия на оправке процесс прокатки может перейти в процесс волочения. При несоблюдении условия величины тянущей силы, приходящейся на реборду каждого из валков, процесс прокатки прекратится и произойдет буксование реборд по оправке.

Литература

1. Исаевич Л. А. Технология изготовления полосовых заготовок переменной толщины с использованием локального изгиба / Л. А. Исаевич, В. А. Король, М. И. Сидоренко, Д. М. Иваницкий, В. И. Пушкевич // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БНТУ. Минск: БНТУ, 2013. 343 с.
2. Выдрин В. Н. Динамика прокатных станов. Свердловск: Металлургиздат, 1960. 255 с.

3. Степаненко А. В. Кинематические и силовые параметры прокатки с критическим рассогласованием окружных скоростей валков / А. В. Степаненко, Ю. В. Карпицкий, Л. А. Смирнова // Докл. НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 5. С. 111–113.
4. Степаненко А. В. Прокатка полос с критическим рассогласованием окружных скоростей валков / А. В. Степаненко, Л. А. Исаевич, Ю. В. Карпицкий, Л. А. Смирнова // «Технология 99»: Материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Братислава (Словакия), 1999. Ч. 1. С. 417–420.
5. Степаненко А. В. Прокатка полос переменного профиля / А. В. Степаненко, В. А. Король, Л. А. Смирнова. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2001. 180 с.

References

1. Isaevich L. A. Tehnologiya izgotovleniya polosovyh zagotovok peremennoi tolschiny s ispolzovaniem lokalnogo izgiba [Manufacturing techniques of variable thickness strips with use of a local bend.]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoy konferencii profesorov, prepodavatelei, nauchnyh rabotnikov, aspirantov i studentov BNTU = Materials of the international scientific and technical conference of professors, teachers, scientists and graduate students*. Minsk, BNTU, 2013, p. 343.
2. Vydrin V. N. *Dinamika prokatnyh stanov* [Dynamics of rolling mills]. Sverdlovsk, Metallurgizdat Publ., 1960, 255 p.
3. Stepanenko A. V., Karpickij Ju. V., Smirnova L. A. Kinematicheskie i silovye parametry prokatki s kriticheskim rassoglasovaniem okruzhnyh skorostej valkov [Kinematic and force parameters of rolling with the critical misalignment of the circumferential speeds of the rolls]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of the national Academy of Sciences of Belarus*, 1999, vol. 43, no. 5, pp. 111–113.
4. Stepanenko A. V., Isaevich L. A., Karpickij Ju. V., Smirnova L. A. Prokatka polos s kriticheskim rassoglasovaniem okruzhnyh skorostej valkov [The rolling of a strip with the critical misalignment of the circumferential speeds of the rolls]. «*Tehnologija 99*» *Materialy 6-oy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = «Technology 99» Materials of 6th International scientific-technical conference*. Bratislava (Slovakia), 1999, p. 1, pp. 417–420.
5. Stepanenko A. V., Korol' V. A., Smirnova L. A. *Prokatka polos peremennogo profilja* [The rolling of a strip with variable profile]. Gomel, Institute of mechanics of metal-polymer systems of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2001, 180 p.