

УДК 621.771.63

Л. А. ИСАЕВИЧ, М. М. МАЛЕКИАН, Д. М. ИВАНИЦКИЙ,
 М. И. СИДОРЕНКО, А. Н. СИДОРЕНКО

ПРОКАТКА ПОЛОС ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ С УСТРАНЕНИЕМ УШИРЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет

(Поступила в редакцию 19.05.2009)

Процесс прокатки полос в гладких валках сопровождается явлением уширения, которое в ряде случаев крайне нежелательно. Например, при прокатке заготовок малолистовых рессор с изменяющейся по длине толщиной на их концевых участках наблюдается максимальное уширение, что не допускается конструкцией самого изделия. Для его устранения требуется дополнительная операция – фрезерование или обрезка концов прокатанной заготовки по ширине.

Расчет уширения основан на принципе наименьшего сопротивления [1]. При прокатке зона очага деформации в плане представляет собой трапецию высотой, соответствующей длине зоны деформации, и средней шириной, которая равна полусумме ширины полосы до и после прокатки [2].

Для вычисления уширения без учета влияния внешних зон и ширины полосы используем известное [2] уравнение

$$\Delta B = \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \left[2 \left(\frac{h}{\Delta h} \right)^2 \ln \left(\frac{H}{h} \right) - \frac{2h}{\Delta h} + 1 \right], \quad (1)$$

где R – радиус прокатных валков, Δh – обжатие за проход, f – коэффициент контактного трения, h – конечная толщина полосы, $H = h + \Delta h$ – начальная толщина полосы.

При периодической прокатке полосовых заготовок малолистовых рессор образующееся в первом и последующих проходах уширение является величиной переменной, поскольку обжатие заготовки по длине изменяется от нуля в ее середине до максимума на конце. В силу этого наибольшее уширение имеет место на концах полосы.

Устранение уширения возможно за счет обжатия заготовки после каждого прохода до исходной ширины посредством неприводных боковых роликов (рис. 1). Прокатанная после первого прохода полоса 1 при увеличении зазора между постоянно вращающимися приводными валками 2 подается специальным механизмом в исходное крайнее правое положение, раздвигая своей уширенной частью подпружиненные неприводные ролики 3.

Затем зазор между валками 2 уменьшается до величины, устанавливаемой вторым проходом, и происходит обжатие полосы, которая, перемещаясь вле-

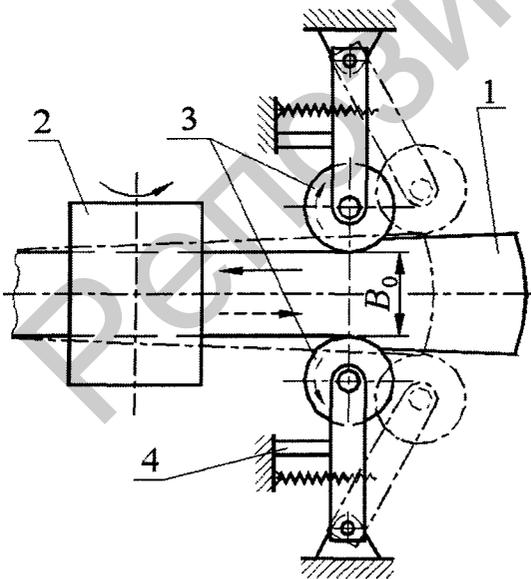


Рис. 1. Роликовое волочение, используемое для устранения уширения прокатываемой полосы: 1 – полоса; 2 – прокатные валки; 3 – неприводные ролики; 4 – упоры

во, за счет сил контактного трения смещает ролики 3 до упоров 4 с образованием между ними зазора величиной B_0 . После этого происходит процесс обжатия (волочения) заготовки через неприводные ролики с уменьшением ее ширины до исходного значения B_0 . В последующих проходах данный цикл повторяется.

Обжатие (волочение) в неприводных боковых роликах осуществляется исключительно за счет натяжения полосы, возникающего между парой неприводных роликов 3 и прокатных валков 2 в процессе самой прокатки. При этом тянущее напряжение σ обжатия (волочения) в неприводных роликах является напряжением заднего натяжения при прокатке полосы в валках.

Для определения значения заднего натяжения, которое возникает на этапе волочения в неприводных роликах при реализации процесса в целом, запишем уравнение равновесия в виде (рис. 2)

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(B_x + dB_x) - \sigma_x B_x + 2p_x \operatorname{tg}\varphi_x dx \mp 2\tau_x dx = 0. \quad (2)$$

Примем, что контактные касательные напряжения по дуге касания постоянны и заданы условием Зибеля [2]

$$\tau_x = 2fk, \quad (3)$$

где $k = \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_T$ – пластическая постоянная; f – среднее значение коэффициента контактного трения металла о ролики.

Знак «минус» перед τ_x относится к зоне отставания, а знак «плюс» – к зоне опережения. Подставляя в данное уравнение значение $dx = dB_x / 2\operatorname{tg}\varphi_x$ и пренебрегая бесконечно малой величиной $d\sigma_x dB_x$, получаем

$$B_x d\sigma_x + \sigma_x dB_x + p_x dB_x \mp 2kf \frac{dB_x}{\operatorname{tg}\varphi_x} = 0. \quad (4)$$

Воспользуемся условием пластичности для двумерной деформации [1]

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm 2k.$$

Примем, что главные оси напряжений в элементе dx соответствуют горизонтальной и вертикальной осям x, y . В этом случае

$$\sigma_1 = -p_x, \quad \sigma_3 = \sigma_x,$$

тогда из уравнения пластичности следует, что

$$p_x + \sigma_x = 2k.$$

Решив данное выражение совместно с (4), получим дифференциальное уравнение для определения нормального напряжения, действующего на ролики:

$$-B_x dp_x + 2kdB_x \mp 2kf \frac{dB_x}{\operatorname{tg}\varphi_x} = 0, \quad (5)$$

где $dp_x = -d\sigma_x$.

Если принять, что для зоны отставания $\operatorname{tg}\varphi_x = \operatorname{tg}[(\alpha_p + \gamma_p)/2]$, а для зоны опережения $\operatorname{tg}\varphi_x = \operatorname{tg}(\gamma_p/2)$, предварительно заменив дугу касания с углом φ двумя хордами [2], из уравнения (5) получим

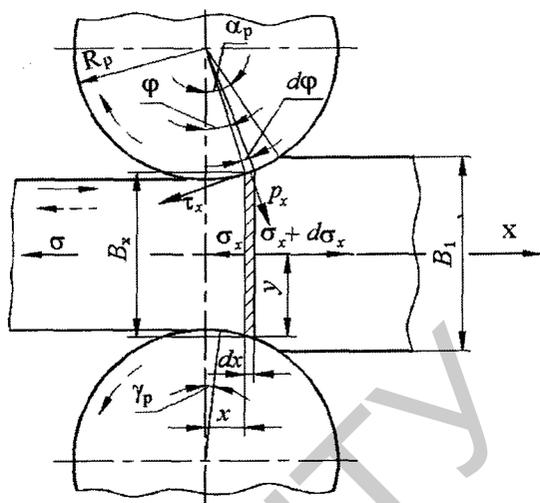


Рис. 2. Схема действия сил в очаге деформации при роликовом волочении для устранения уширения прокатываемой полосы

для зоны отставания

$$-dp_x + 2k(1 - \delta_0) \frac{dB_x}{B_x} = 0, \quad (6)$$

для зоны опережения

$$-dp_x + 2k(1 + \delta_1) \frac{dB_x}{B_x} = 0, \quad (7)$$

где $\delta_0 = \frac{f}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_p + \gamma_p}{2}}$; $\delta_1 = \frac{f}{\operatorname{tg} \frac{\gamma_p}{2}}$; α_p – угол прокатки; γ_p – угол, отвечающий критическому сечению.

После интегрирования запишем для зоны отставания

$$p_{x_{от}} = 2k(1 - \delta_0) \ln B_x + C_0, \quad (8)$$

для зоны опережения

$$p_{x_{оп}} = 2k(1 + \delta_1) \ln B_x + C_1. \quad (9)$$

Постоянные интегрирования C_0 и C_1 найдем из граничных условий, согласно которым при $B_x = B_1$ $p_{x_{от}} = 2k$, а при $B_x = B_0$ $p_{x_{оп}} = 2k - \sigma_0$, где σ_0 – напряжение волочения. С учетом этого

$$C_0 = 2k - 2k(1 - \delta_0) \ln B_1,$$

$$C_1 = 2k[1 - (1 + \delta_1) \ln B_0] - \sigma_0.$$

Подставляя значения C_0 и C_1 соответственно в уравнения (8) и (9), можно записать для зоны отставания

$$p_{x_{от}} = 2k \left[1 + (1 - \delta_0) \ln \frac{B_x}{B_1} \right], \quad (10)$$

для зоны опережения

$$p_{x_{оп}} = 2k \left[1 + (1 + \delta_1) \ln \frac{B_x}{B_0} \right] - \sigma_0. \quad (11)$$

Напряжение волочения полосы σ_0 можно определить из условия, что в критическом сечении при $B_x = B_\gamma$ $p_{x_{от}} = p_{x_{оп}}$. Решив с учетом данного условия совместно выражения (10) и (11), получим

$$\sigma_0 = 2k \left[(1 + \delta_1) \ln \frac{B_\gamma}{B_0} + (1 - \delta_0) \ln \frac{B_1}{B_\gamma} \right]. \quad (12)$$

Величину ширины B_γ в критическом сечении можно выразить следующим соотношением [2]:

$$B_\gamma = B_0 + R_p \gamma_p^2, \quad (13)$$

где R_p – радиус роликов.

Для определения критического угла γ_p вначале будем предполагать, что обжатие полосы по ширине происходит в приводных роликах. Используя уравнение (12), найдем для этого случая нейтральный угол γ , как при обычной прокатке без натяжения ($\sigma_0 = 0$). Поскольку при обжатии в неприводных роликах зона опережения должна быть больше зоны отставания, очевидно, можно принять, что значение нейтрального угла при этом будет равно

$$\gamma_p = \gamma + \alpha/2.$$

Для учета потерь на трение в подшипниках роликов необходимо определить распорное усилие P в самих роликах. При практических расчетах величину распорного усилия в роликах находят как произведение среднего контактного нормального напряжения p_{cp} на площадь проекции соприкосновения металла с роликами:

$$P = p_{cp} h_{cp} R_p \sin \alpha_p. \quad (14)$$

Здесь

$$p_{cp} = \frac{1}{\Delta B} \left(\int_{B_0}^{B_\gamma} p_{x_{оп}} dB_x + \int_{B_\gamma}^{B_1} p_{x_{от}} dB_x \right). \quad (15)$$

Подставив $p_{x_{от}}$ и $p_{x_{оп}}$ соответственно из уравнений (10) и (11) в выражение (15), а затем проинтегрировав его, получим

$$p_{cp} = \frac{1}{\Delta B} \left\{ (-\sigma_0 - 2k\delta_1)(B_\gamma - B_0) + 2kB_\gamma \left[(1 + \delta_1) \ln \frac{B_\gamma}{B_0} + (1 - \delta_0) \ln \frac{B_1}{B_\gamma} \right] + 2k\delta_0(B_1 - B_\gamma) \right\}. \quad (16)$$

Согласно [2], можно принять

$$h_{cp} \approx (h_0 + h_1)/2, \quad (17)$$

где h_0 и h_1 – толщина полосы на выходе из роликов и на входе в них соответственно.

Поворот ролика произойдет тогда, когда значение момента $M_{ц}$ сил трения в цапфе ролика будет равно или меньше значения момента M_p сил трения в точке контакта прокатываемой полосы и ролика. Момент в цапфах роликов получаем из уравнения

$$M_{ц} = Pf_{ц}d_{ц}, \quad (18)$$

где $d_{ц}$ – диаметр цапф роликов; $f_{ц}$ – коэффициент трения в цапфе.

Момент сил трения в точках контакта прокатываемой полосы и роликов рассчитываем по выражению

$$M_p = \sigma_{тр} B_0 h_{cp} D_p, \quad (19)$$

где D_p – диаметр роликов, $\sigma_{тр}$ – напряжение натяжения полосы, расходуемое на преодоление сил контактного трения в подшипниках роликов.

После приравнивания последних выражений (18) и (19) найдем величину $\sigma_{тр}$:

$$\sigma_{тр} = \frac{Pf_{ц}d_{ц}}{B_0 h_{cp} D_p}. \quad (20)$$

Если это значение просуммировать с напряжением волочения σ_0 , то получим величину напряжения заднего натяжения σ :

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{тр}. \quad (21)$$

На рис. 3 показана зависимость отношения σ/k от величины обжатия ΔB по ширине полосы, построенная по данным, рассчитанным соответственно по формулам (12), (18) и (19) для случая волочения полосы конечной ширины $B_0 = 50$ мм в не приводных роликах диаметром $D_p = 108$ мм, при коэффициенте контактного трения $f = 0,27$, диаметре цапф $d_{ц} = 30$ мм и коэффициенте трения в цапфах $f_{ц} = 0,2$ [3].

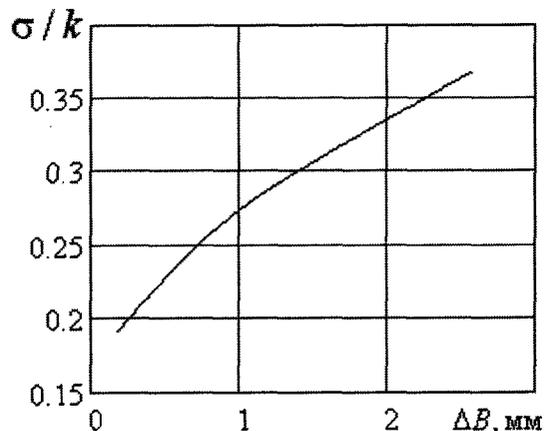


Рис. 3. Зависимость отношения σ/k от обжатия ΔB по ширине

Как видно из рис. 3, при увеличении параметра ΔB возрастают значения отношения σ/k , т.е. с увеличением обжатия по ширине напряжение σ , прикладываемое к концу полосы, возрастает нелинейно.

Выводы

1. Представлена технологическая схема устранения уширения в неприводных роликах полосовых заготовок после каждого прохода в валках с изменяющимся зазором между ними.
2. Приведено решение для определения тянущего напряжения в случае волочения прокатываемой полосы в неприводных роликах.

Литература

1. Иванов И. И., Соколов А. В., Шелест А. И. Основы теории обработки металлов давлением: учебник. М., 2007.
2. Колбасников Н. Г. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичность. Санкт-Петербург, 1991.
3. Анурьев В. И. Справочников конструктора-машиностроителя. М., 1980.

L. A. ISAYEVICH, M. M. MALEKIAN, D. M. IVANITSKI, M. I. SIDORENKO, A. N. SIDORENKO

ROLLING OF STRIPES OF VARIABLE THICKNESS WITH ELIMINATION OF A BROADENING

Summary

There is offered a technological diagram of elimination of a broadening in not power-driven rollers of preparations from a strip after each pass in rolls with a varying positive allowance between them. Furthermore the solution for definition of a drawing pressure is instanced in case of a draw of rolling strip in not power-driven rollers.