

Оценка неравномерности распределения погонных сил по ширине прокатываемой полосы

Выполнен теоретический анализ влияния различных факторов прокатки на неравномерность распределения сил прокатки по ширине полосы. Представлены результаты теоретических исследований. Проведена статистическая обработка результатов и представлены теоретические зависимости. Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: прокатка, неравномерность сил, сила прокатки, изгиб валков, теоретическая зависимость

Theoretical analysis of various factors rolling on the uneven distribution of forces rolling strip was made. The results of theoretical research. A statistical analysis of the results and shows the theoretical dependence.

Keywords: rolling, uneven forces, the force of rolling, bending rolls, the theoretical dependence

Введение

Поперечная разнотолщинность полосы при горячей и холодной прокатке, в общем случае, обусловлена прогибом рабочих и опорных валков. Величина совместного прогиба валков существенно зависит, в частности, от ширины полосы [1-4]. При этом, чем больше ширина полосы тем меньше прогиб валков. Влияние ширины полосы на закономерности прогибов проявляется через неравномерность распределения межвалковых погонных сил, что убедительно показано в экспериментальных исследованиях [2]. Очевидно, что вместе с этим на величину прогиба рабочего валка оказывает и определенное влияние неравномерность распределения погонных сил в контакте полосы с рабочим валком. Теоретически, это отражено в формуле для расчета собственного прогиба рабочего валка в публикации [4]. Степень неравномерности распределения погонных сил в контакте полоса-валок оценивается коэффициентом $n_i = p_i/p_0$ (где p_i и p_0 - погонные силы на краевых участках и в середине ширины полосы $p_i = \Delta P_i/\Delta B_i$, где ΔP_i - часть полной силы P_p , действующая на участок ΔB_i ширины полосы). Неравномерность распределения P_i по ширине полосы обусловлена переменным по ширине обжатием полосы ($\Delta\Pi$), собственно прогибом валков (W), неравномерным распределением по ширине полосы напряжений натяжения ($\Delta\sigma_H$). Все факторы, способствующие неравномерному обжатию по ширине полосы приводят к увеличению или уменьшению неравномерности погонных сил по ширине полосы и, в соответствии с этим, изменению коэффициента неравномерности n_i . В [5] представлены экспериментальные данные по изменению коэффициента n_i в зависимости от некоторых параметров деформации. Так, установлено что с увеличением параметра L_a/L (L - длина бочки рабочего валка; L_a - длина бочки опорного валка без учета концевых скосов) коэффициент существенно возрастает от $n_i = 0,3-0,8$ при $L_a/L = 0,4$, до $n_i = 1,0-1,3$ при $L_a/L = 0,9$. Т.е., чем меньше длина

концевых скосов (врезов) на бочке опорных валков, тем больше обжатие краевых участков полосы и, следовательно, больше значение краевой погонной силы P_i . Уменьшение ширины полосы также способствует увеличению значений n_i и P_i вследствие увеличения прогиба валков.

В [6] представлено теоретическое решение, которое с использованием итерационного процесса позволяет установить распределение погонных сил, а, следовательно, и коэффициент неравномерности n_i в зависимости от основных параметров процесса прокатки при варьировании величинами поперечной разнотолщинности полосы до и после прокатки, т.е.

$$\Delta\Pi = \delta H_0 - \delta h_0,$$

где δH_0 и δh_0 - величины поперечной разнотолщинности полосы по оси полосы до и после прокатки; $\Delta\Pi$ - неравномерность обжатий по ширине полосы.

В соответствии с расчетами установлено, что с изменением параметра $\Delta\Pi$ имеет место изменение величин относительных обжатий по ширине полосы, что приводит к соответствующему изменению напряжений течения металла, контактных нормальных напряжений и погонных сил по ширине полосы [5]. Так, установлено, что при прокатке высоких полос с $H = 3,5$ мм ($D_i = 500$ мм) неравномерность распределения погонных сил по ширине полосы практически отсутствует. При прокатке тонких полос ($H = 0,5$ мм) и $\Delta\Pi = 0,05$ мм коэффициент $n_i = 0,91$. Коэффициент n_i оказывает определенное влияние на прогиб рабочего валка, что показано в [4].

Основная часть исследований

В данной работе представлены расчеты параметров очага деформации по модели [6] с целью получения закономерностей изменения коэффициента n_i при изменении отношения $B/L = 0,59-0,88$, $\Delta\Pi/H = \pm 0,05-0,15$ и $\varepsilon = 0,2-0,4$. Результаты исследований представлены на рис. 1. Из расчетов следует, что па-

параметр $\Delta\Pi/H$ оказывает существенное влияние на неравномерность распределения погонных сил и при большем обжатии в середине ширины полосы ($\Delta\Pi/H > 0$) коэффициент n_1 меньше единицы ($n_1 < 1,0$). Коэффициент n_1 уменьшается с увеличением параметра $\Delta\Pi/H$ и уменьшении обжатия ε , т.е. при увеличении $\Delta\Pi$ и уменьшении толщины полосы. При $\Delta\Pi/H = 0$ (равномерное обжатие по ширине полосы) во всех случаях коэффициент $n_1 = 1,0$. Минимальные значения $n_1 \approx 0,5$ имеет место при значительной неравномерности обжатий по ширине, и при небольшом общем обжатии, когда доля влияния различия обжатий в середине и на кромке наиболее заметна. При реальных в практике значениях $\Delta\Pi/H < 0,05$ коэффициент неравномерности n_1 при ($P_1 < P_0$) находится в пределах $n_1 = 0,81-1,0$ (рис. 1а).

При прокатке полос с большим обжатием по кромке полосы ($P_1 > P_0$) коэффициент n_1 ($-\Delta\Pi/H$) оказывается больше единицы ($n_1 > 1$) (рис. 1б), что возможно в случае значительного прогиба валков или когда исходная полоса имеет прямоугольную или вогнутую форму поперечного сечения, а межвалковый зазор последующей клетки имеет выпуклую форму. Теоретические результаты расчетов в достаточной степени адекватны результатам экспериментальных исследований [6]. Очевидно, для практических расчетов прогибов рабочих валков при прокатке тонких полос представляют интерес значения коэффициентов n_1 , ограниченных параметром $\Delta\Pi/H$ в пределах $\Delta\Pi/H = 0-0,05$.

Расчетные данные на рис. 1 обработаны по методу наименьших квадратов с использованием программного пакета Statistica 6.1 и получено уравнение следующего вида

$$n_1 = 1,04 + 0,06\varepsilon - 2,9 \frac{\Delta\Pi}{H}. \quad (1)$$

Представленное выражение получено при условии постоянных значений температуры и напряжений натяжения по ширине. С учетом влияния этих факторов запишем

$$n_1 = 1,04 + 0,06\varepsilon - 2,9 \frac{\Delta\Pi}{H} (1+k), \quad (2)$$

где ε - относительное обжатие в долях; H - исходная толщина полосы; k - коэффициент учитывающий переменность внешних факторов на величину n_1 .

Коэффициент k - равен

$$k = \pm \Delta P_1 / P_0; \quad \Delta P_i = P_0 - P_1; \quad (3)$$

где ΔP_i - приращение или уменьшение погонной силы на краевом участке полосы вследствие снижения температуры полосы или увеличения натяжения на этом участке.

При этом, уменьшение температуры краевых участков вызывает увеличение P_1 и коэффициент $k = \Delta P_1 / P_0$ будет иметь отрицательный знак ($k < 0$). В случае увеличения напряжения растяжения, например, на кромках коэффициент $k > 0$, т.е. со знаком (+). При прокатке с $n_1 < 1$ в первом случае происходит вы-

равнивание погонных сил, и коэффициент $n_1 \rightarrow 1,0$, а во втором случае ($n_1 < 1$ и $k > 0$) будет иметь место уменьшение первоначальных значений n_1 .

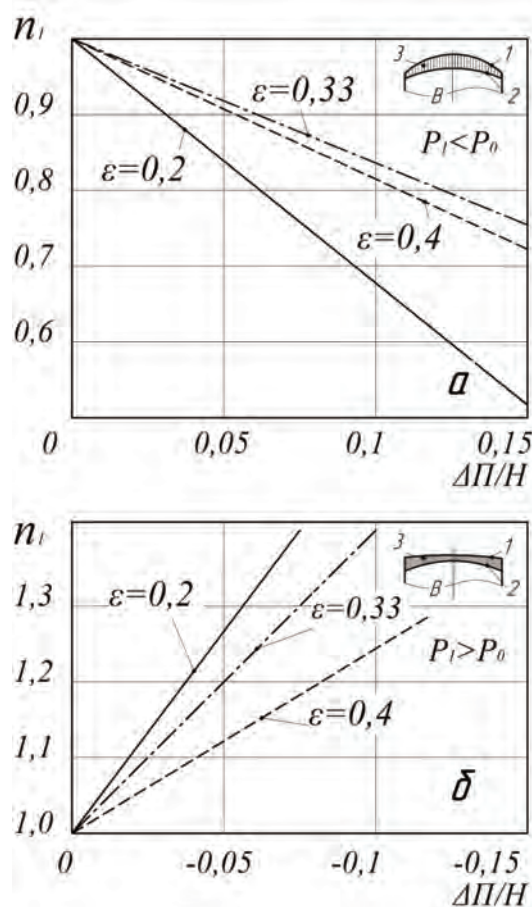


Рис. 1. Влияние неравномерности обжатия $\Delta\Pi/H$ на коэффициент n_1 неравномерности распределения погонных сил по ширине полосы (НСХП 1700, $H = 1-3$ мм; $B = 1000-1500$ мм; сталь марки 08кп; диаметр валков 500 мм: 1 - профиль поперечного сечения заготовки; 2 - профиль поперечного сечения готовой полосы; 3 - область неравномерного обжатия

В выражении отсутствует такой важный параметр листовой прокатки как B/L , но влияние его проявляется через величины неравномерности обжатия $\Delta\Pi$. Параметр $\Delta\Pi$, а следовательно, и коэффициент n_1 будут определяться, как показывают опыты [5], отношениями B/L и L_a/L . При небольших значениях L_a/L (например, 0,5-0,6) и больших значениях отношения B/L коэффициент $n_1 < 1,0$, а при увеличении L_a/L до 0,85-0,9 коэффициент $n_1 > 1,0$ [5], т.е. в данном случае, кромки полосы получают большее обжатие (рис. 1б). Получение системных данных о коэффициенте n_1 позволяет уточнить расчетные величины собственного прогиба рабочего валка [4].

Для расчета прогиба рабочего валка необходимо также предварительно определить коэффициент n неравномерности распределения межвалковых погонных сил [2, 4], который оказывает существенное влияние на прогиб рабочего валка через изменение отношения B/L_a и чем меньше B/L_a , тем больше прогиб рабочего валка. Расчет коэффициента n неравномерности распределения межвалковых погонных сил

в зависимости от B/L_a , D_1/D_2 и f_{Σ} , на основе экспериментальных данных [2], можно выполнить по выражению, представленному в [4]

$$n = \left[0,86 + 0,97 \frac{B}{L_a} \left(2,44 \cdot \frac{B}{L_a} - 1 \right) - 5,9 \frac{D_1}{D_2} \left(1 - 1,56 \frac{D_1}{D_2} \right) \right] \times (4) \\ \times 0,5 \left[1 + (1 - 1000 f_{\Sigma} / L_a)^2 \right],$$

где D_1 и D_2 – диаметры соответственно рабочего и опорного валка; f_{Σ} – суммарная выпуклость рабочего и опорного валков.

Прогиб валков определяли по известным формулам:

рабочий валок

$$W_1 = \frac{PL_a^3}{384E_1J_1} \left(\frac{3}{2+n} \{ 3 - 1,7(1-n) \} - \frac{B^3}{L_a^3} \frac{3}{(2+n_1)} \times \right. \\ \left. \times \left[1 - 4 \frac{L_a}{B} + 6 \frac{L_a^2}{B^2} - 8(1-n_1) \times \left[0,5 \frac{L_a^4}{B^4} - 0,167 \frac{L_a^3}{B^3} - 0,12 \right] \right] \right) + (5) \\ + \frac{PL_a k}{4\pi R_1^2 G_1} \times \left[\frac{3}{2+n} \left(0,5 - \frac{n-1}{4} \right) - \frac{B}{L_a} \frac{3}{2+n_1} \left(0,5 - \frac{1-n_1}{4} \right) \right];$$

опорный валок

$$W_2 = \frac{PL_a^2}{29,5E_2J_2} \left[\frac{1+2n}{2+n} + 2,9 \frac{E_2J_2L}{G_2R_2^2L_a^3} \left(1 - \frac{L_a}{2L} \right) \right] - 0,92 \left(\frac{a}{L_a} - 1 \right), (6)$$

где B – ширина полосы; L – длина бочки опорного валка; L_a – длина бочки опорного валка без учета врезов; n_1 – коэффициент неравномерности распределения сил под полосой; n – коэффициент неравномерности межвалковых погонных сил; D_1 и D_2 – диаметры рабочего и опорного валков; P – сила прокатки; E_1 и E_2 – модуль упругости рабочего и опорного валков, соответственно; J_1 и J_2 – момент инерции рабочего и опорного валка, соответственно; k – коэффициент отражающий форму сечения ($k = 1$); G_1 и G_2 – модуль сдвига рабочего и опорного валка, соответственно.

Расчет прогиба рабочих валков необходимо выполнять при заданных величинах δH_0 и δh_0 и предварительном определении коэффициента n_1 по формуле (2).

Как следует из теоретических исследований (рис. 2), (при $n_1 = const$), величина прогиба рабочего валка увеличивается с увеличением силы прокатки и уменьшением ширины полосы. Однако при $n_1 = 1,2$ (б) ($n = const$) прогиб имеет отрицательное значение (выпуклость на полосу), а при $n_1 = 0,8$ (а) прогиб рабочего валка положительный (выпуклость на опорный валок). Физическая сущность влияния силы P и отношения B/L раскрыта в известных работах [2, 4], а механизм взаимодействия межвалковой погонной силы и погонной силы в контакте полоса-валок подробно освещены в [5]. На рис. 3 видно, что с увеличением неравномерности распределения погонных сил в системе полоса-валок прогиб рабочего валка заметно уменьшается, а особенно на узкой полосе ($B/L = 0,58$). Однако, и в этом случае при $n_1 = 1,07$ (в соответствии с расчетами) обеспечивается нулевой прогиб рабочего валка. В реальных же условиях прокатки за счет большого обжатия средней части ширины полосы ($\Delta P > 0$) (рис. 1а) имеем $n_1 = 1,0$ и соответствующий

прогиб рабочего валка (рис. 3).

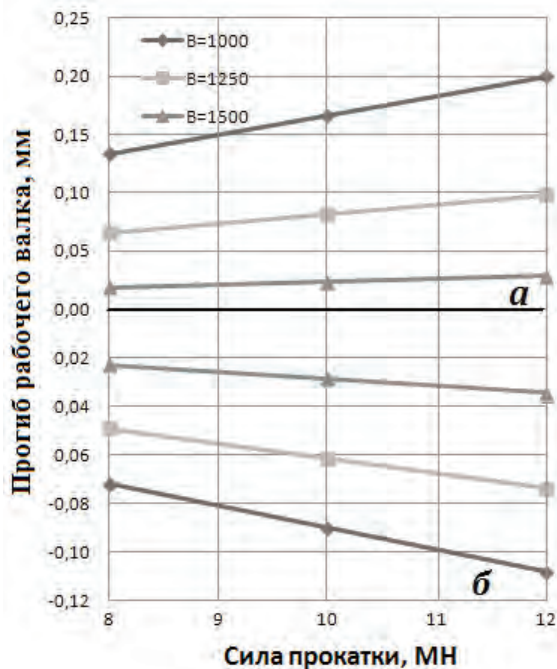


Рис. 2. Влияние силы прокатки ширины полосы на собственный прогиб рабочего валка при коэффициенте $n_1 = 0,8$ (а), и $n_1 = 1,2$ (б) (стан 1700)

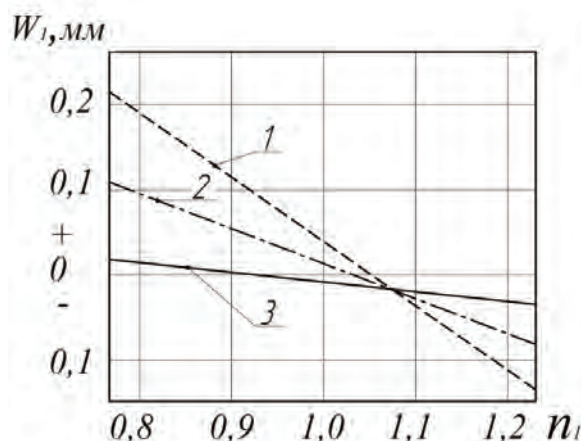


Рис. 3. Влияние неравномерности погонных сил в контакте полоса-рабочий валок (коэффициент n_1) на собственный прогиб рабочего валка ($L = 1700$ мм, $D_p = 500$ мм, $P = 12$ МН). Отношение B/L : 1 - 0,588; 2 - 0,734; 3 - 0,88

Выводы

Впервые получена зависимость коэффициента неравномерности распределения погонных сил по ширине полос от степени деформации, толщины полос и неравномерности обжатий по ширине полосы.

Установлено, что уменьшение неравномерности обжатий по ширине полосы обеспечивает снижение прогиба рабочего валка и поперечной разнотолщинности полос.

В условиях холодной прокатки снижению неравномерности обжатий по ширине полосы способствует уменьшение поперечной разнотолщинности горячекатаного подката, получаемого с непрерывного широкополосного стана горячей прокатки. Кроме того, для снижения неравномерности обжатий по ши-

рине полосы целесообразно обеспечить преимущественное натяжение в средней ее части по сравнению с кромками перед или после клетки № 1 непрерывного стана холодной прокатки. Это позволит приблизить значение коэффициента n , к единице. Для такого регулирования можно использовать роликовые устройства со специальными профилями рабочей поверхности.

Библиографический список

1. Боровик Л.И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. - М.: Металлургия, 1968. - 233 с.
2. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. - М.: Металлургия, 1972. - 512 с.
3. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будакова, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. - К.: Техніка, 1986. - 190 с.
4. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков. - К.: Техніка, 1992. - 160 с.

5. Николаев В.А., Жученко С.В. Неравномерность погонных сил по длине валков и полосы // Металл и литье Украины. - 2011. - № 5. - С. 6-9.

6. Николаев В.А. Жученко С.В. Погонные силы в области контакта «полоса-валок» в клетки кварто // Металл и литье Украины. - 2010. - № 12. - С. 9-13.

7. Николаев В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. - Запоріжжя: ЗДІА, 2010. - 320 с.

8. Николаев В.А., Жученко С.В. Регулирование плоскостности полос при холодной прокатке роликowymi устройствами // Металлург. и горноруд. промсть. - 2011. - № 7. - С. 235-237.

Поступила 04.07.2013



УДК 620.178.152.28

Грушко А.В. /к.т.н./

Винницкий НТУ

Наука

Построение динамической кривой упрочнения металла при холодной деформации с использованием методов твердости по Либу и Бринеллю

Предложен метод построения кривой упрочнения с учетом скорости деформаций для черных металлов на основе определения твердости по Либу и Бринеллю. Кривая упрочнения аппроксимирована степенной функцией. Уравнения связи чисел твердости и кривой течения получены путем моделирования методом конечных элементов. Метод обладает достаточной простотой и может быть предложен в качестве оценки чувствительности материала к скоростному упрочнению для расчетов процессов холодного пластического деформирования. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: динамическая кривая упрочнения, холодная деформация, методы твердости по Бринеллю и Либу

The article deals with a method of constructing the hardening curve, taking into consideration the strain rate for ferrous metals based on the determination by Lieb and Brinell hardness. Hardening curve is approximated with a power function. Equations of relating of hardness numbers and the flow curve are obtained with finite element modeling. The method is sufficiently simple and can be offered as an estimate of the sensitivity of the material to speed hardening process for the calculation of cold plastic deformation

Keywords: dynamic curve of hardening, cold deformation, Lieb and Brinell hardness method

Динамическое воздействие на металл заготовки, обрабатываемой методами холодного пластического деформирования (ХПД), может оказывать существенное влияние на его свойства сопротивления пластическому формоизменению. Как правило, это выражается в повышении предела текучести, прочности, упрочняемости металла при средних и высоких

скоростях деформаций, что следует учитывать при расчете и моделировании таких процессов обработки давлением как электрогидроимпульсная штамповка, прокатка, методы поверхностного пластического деформирования – обкатывание, выглаживание, обдыв дробью и др. Скоростные эффекты учитываются также при конечноэлементном моделировании столкно-