

УДК 621.771

Николаев В. А.
Жученко С. В.**ПОГОННЫЕ СИЛЫ НА ВАЛКАХ КЛЕТИ КВАРТО**

При определении рациональных профилировок рабочих валков в клети кварто необходимо иметь реальные величины их прогибов, которые могут быть определены с использованием известных теоретических решений [1], достоинством которых является учет влияния неравномерности распределения погонных сил на межвалковом контакте (МВК) и неравномерности погонных сил на упруго-пластическом контакте (УПК) (на контакте полоса – рабочий валок). Влияние основных параметров нагружения валков на неравномерность распределения погонных сил на МВК может быть установлено на основе результатов исследований [2], но отсутствуют системные рекомендации по оценке неравномерности погонных сил на УПК.

Целью работы является установление зависимости влияния неравномерности погонных сил на контактах валков при прокатке в клети кварто. На основании проведенных теоретических исследований проведен анализ технологических параметров, оказывающих влияние на неравномерность распределения погонных сил под полосой. Полученные расчетные зависимости в значительно большей степени ближе к опытным значениям, чем используемые на данный момент модели, без учета неравномерностей погонных сил под полосой и на межвалковом контакте.

Неравномерность распределения погонных сил на контактах валков клети кварто оценим коэффициентами n (МВК) и n_1 (УПК):

$$n = q_1/q_0; \quad n_1 = p_1/p_0$$

где q_0 и q_1 – погонные силы на межвалковом контакте (МВК) соответственно по оси валка и на границе контакта; p_0 и p_1 – погонные силы на УПК по оси и на границе контакта.

Как следует из исследований В. П. Полухина [2], коэффициент n зависит от основных параметров прокатки – B/L и D_1/D_2 . Показано, что в практических условиях коэффициент n изменяется в пределах от $n \approx 0,05$ (для узких полос) до $n \geq 0,8$ (для широких полос). Анализ данных [2] выполнен по результатам теоретических исследований распределения погонных межвалковых сил при значениях $q_x = 50 \dots 150$ кН/см в клетях кварто 400/1300x1200, 650/1250x1700 и 800/1600x2000 при изменении диаметров рабочего и опорного валков D_1/D_2 в интервале 0,34...0,52.

После математической обработки результатов теоретических исследований [2], выражение имеет вид:

$$n = \left[(5 D_1/D_2) - 0,5 \right] \left[0,13 + 2,17 \left(\frac{B}{L} - 0,5 \right)^{1,5} \right], \quad (1)$$

где D_1 и D_2 – диаметры соответственно рабочего и опорного валков; B и L – ширина полосы и длина бочки валков.

Полагаем, что данные [2] и выражение (1) позволяют получить объективную оценку неравномерности распределения погонных сил на МВК в клетях кварто с различными параметрами валков. В выражении (1), если $D_1/D_2 \leq 0,3$, то первую составляющую принимают равной

$$5 \left(\frac{D_1}{D_2} \right) - 0,5 = 1,0,$$

а если отношение $B/L < 0,5$, то составляющую $M = [2,17(B/L - 0,5)]$ принимают равной $M = 0$. При наличии концевых скосов на опорных валках принимают $L = L_2$ (L_2 – длина активной части опорного валка без скосов). Из выражения (1) следует, что увеличение пара-

метров B/L и D_1/D_2 способствует увеличению коэффициента n и снижению степени неравномерности распределения погонных сил.

Авторами данной работы выполнены теоретические исследования влияния технологических параметров на коэффициент неравномерности n_1 по ширине очага деформации при изменении отношения $B/L = 0,59 \dots 0,88$, $\Delta\Pi/H = \pm 0,05 \dots 0,15$ и $\varepsilon = 0,2 \dots 0,4$ ($\Delta\Pi$ – разница поперечных разнотолщинностей по оси полосы до и после прокатки; H – толщина полосы до прокатки). Результаты исследований с использованием конечно-разностного метода представлены на рис. 1 [3]. Из расчетов следует, что 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 ($n_1 < 1,0$).

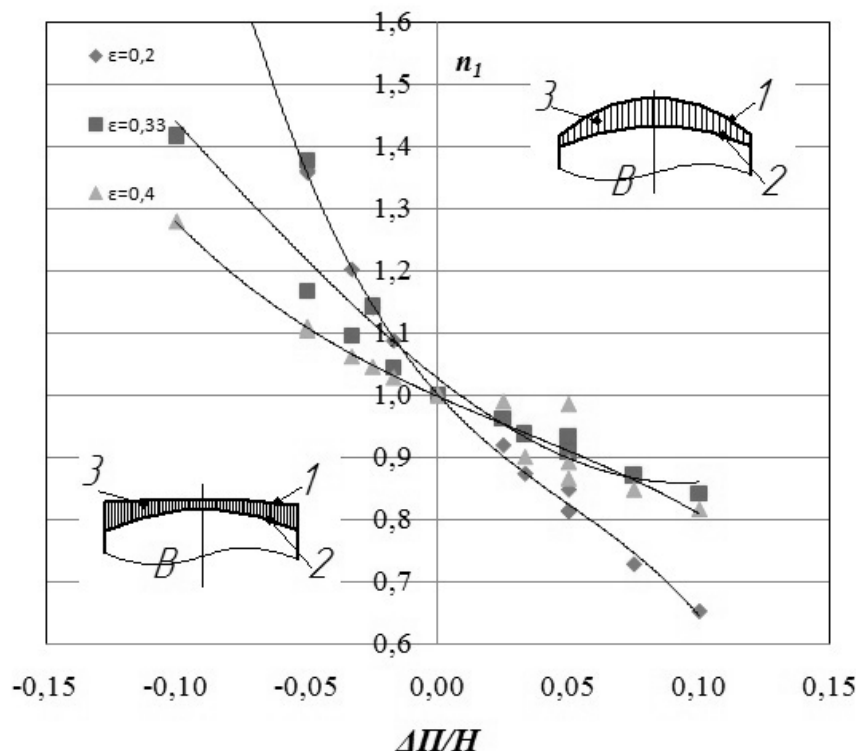


Рис. 1. Влияние неравномерности обжатия $\Delta\Pi/H$ на коэффициент n_1 неравномерности распределения погонных сил по ширине полосы (НСХП 1700, $H = 1 \dots 3$ мм; $B = 1000 \dots 1500$ мм; сталь марки 08кп; диаметр валков 500 мм (1 – подкат; 2 – полоса; 3 – обжатие))

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 $n_1 \approx 0,65$ 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 $n_1 = 0,81 \dots 1,0$ (рис. 1).

При прокатке полос с большим обжатием по кромке полосы ($p_1 > p_0$) в области (-) $\Delta\Pi/H$ коэффициент n_1 оказывается больше единицы ($n_1 > 1$) (рис. 1), 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 ре-

зультатам известных экспериментальных исследований. Обработав результаты теоретических исследований, получили обобщающие выражения:

– для $\Delta\Pi / H > 0$ (при $B / L < 0,72$):

$$n_1 = 0,81 + 1,35 \cdot \varepsilon - 3\Delta\Pi/H(1 + 1,67 \cdot \varepsilon), \quad (2)$$

– для $\Delta\Pi / H < 0$ (при $B / L > 0,72$):

$$n_1 = 1,3 - 1,08 \cdot \varepsilon - 5\Delta\Pi/H(1 - 0,8 \cdot \varepsilon). \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) получены при условии постоянных значений температуры и напряжений натяжения по ширине полосы, и они дают значения, адекватные зависимостям на рис 1. Результаты исследований, представленные на рис. 1 и выражениями (1) и (2), позволяют утверждать, что коэффициент n_1 при прокатке полос определяется величиной относительного обжатия полосы и всеми технологическими факторами, так как они определяют поперечную разнотолщинность полосы по клетям стана. Очевидно, для каждого прокатного стана имеют место свои наиболее характерные величины разнотолщинностей полос ($\Delta\Pi / H$) и коэффициента n_1 .

Многообразие факторов, влияющих на параметр ($\Delta\Pi / H$) не дают возможности однозначно установить его значения для конкретного стана, и поэтому выражения (2) и (3) представляют научный интерес с точки зрения познания закономерностей формирования неравномерности распределения погонных сил на УПК.

Определение коэффициента n_1 , пригодного для практического применения, выполняли методом обратного пересчета по опытным данным прогибов валков, экспериментальных значений силы прокатки, формулы (1) для определения коэффициента n и формул для расчета прогибов рабочего и опорного валков, учитывающих в качестве составляющих коэффициенты n и n_1 [1]. Расчеты коэффициента n_1 выполнили по опытным данным М. М. Сафьяна и В. П. Холодного, П. И. Грудева (табл. 1) и А. В. Третьякова, и на основании обработки результатов получено следующее выражение для средневзвешенных значений коэффициента n_1

$$n_1 = 6,44 \left(\frac{B}{L}\right)^4 - 19,42 \left(\frac{B}{L}\right)^3 + 22,12 \left(\frac{B}{L}\right)^2 - 11,2 \frac{B}{L} + 3,0. \quad (4)$$

Таблица 1

Параметры деформации и прогиба рабочего валка
по данным П. И. Грудева (относительно края бочки)

№опыта	P,МН	B,мм	n	n_1	$W_{10,мм}$	$W_{1P,мм}^*$ $n = n_1 = 1$	$W_{1P,мм}$ $n(n_1) \neq 1$
1	10	1400	0,37	0,94	0,13	0,270	0,153
2	14	1400	0,37	0,94	0,18	0,317	0,215
3	18	1400	0,37	0,94	0,225	0,484	0,276
4	10	1700	0,53	0,94	0,04	0,147	0,026
5	14	1700	0,53	0,94	0,06	0,205	0,036
6	18	1700	0,53	0,94	0,075	0,264	0,046
7	10	1900	0,72	0,96	0,01	0,079	-0,007
8	14	1900	0,72	0,98	0	0,111	-0,01
9	18		0,72	0,98	0	0,143	-0,013

При наличии концевых скосов на опорных валках параметр L (длина бочки) в выражении (4) следует заменить на длину активной части валка L_2

В табл. 1 коэффициент n_l определен методом обратного пересчета, W_{10} – опытное значение прогиба рабочего вала, W_{1P}^* – расчетное значение прогиба рабочего вала при $n = n_l = 1,0$, W_{1P} – расчетное значение прогиба рабочего вала при $n \neq 1,0$ и $n_l \neq 1,0$.

Грудев П. И. выполнял исследования на одноклетьевом листовом стане 2180 ОАО «Запорожсталь» с диаметрами валков: рабочих – 490 мм и опорных – 1300 мм (без концевых скосов), верхний рабочий валок имел диаметральною выпуклость $f = 0,3$ мм. Как следует из табл. 1, прогиб рабочих валков W_{10} возрастает с увеличением силы прокатки и уменьшением ширины листа. Расчетные величины прогибов вала W_{1P}^* (при $n = n_l = 1$) в качественном плане соответствуют опытным данным, однако существенно превышают опытные значения при всех ширинах полос. Полученные обратным пересчетом величины коэффициента n_l изменяются в пределах 0,94...0,98, то есть, в данных опытах, практически мало зависят от отношения B/L . По данным других исследований коэффициент n_l изменяется в пределах 0,89...1,09.

Расчетные величины прогибов рабочих валков (W_{1P}), с учетом неравномерного распределения погонных сил на МВК и на УПК, то есть при определении коэффициентов n и n_l соответственно по формулам (1) и (4), в значительно большей степени ближе к опытным значениям прогибов, особенно при испытаниях на широких листах. Аналогичные результаты расчетных прогибов рабочих валков W_{1P}^* и W_{1P} получены также и относительно опытных данных М. М. Сафьяна и В. П. Холодного, А. В. Третьякова.

ВЫВОДЫ

Теоретические исследования изменения нормальных контактных напряжений по ширине полосы в очаге деформации позволили установить общие закономерности влияния неравномерности обжатия на коэффициент неравномерности погонных сил. Путем обработки экспериментальных данных получены значения коэффициента n_l , необходимые для получения реальных величин прогибов рабочих валков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков / В. А. Николаев. – Киев : Техніка, 1992. – 169 с.
2. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов / В. П. Полухин. – М. : Metallurgija, 1972. – 512 с.
3. Николаев В. А. Погонные силы в области контакта «полоса-валок» в клети кварто / В. А. Николаев, С. В. Жученко // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 12. – С. 9–13.

REFERENCES

1. Nikolaev V. A. *Profilirivanie i iznosostojkost' listovyh valkov* / V. A. Nikolaev. – Kiev : Tehnika, 1992. – 169 s.
2. Poluhin V. P. *Matematicheskoe modelirovanie i raschet na JeVM listovyh prokatnyh stanov* / V. P. Poluhin. – M. : Metallurgija, 1972. – 512 s.
3. Nikolaev V. A. *Pogonnye sily v oblasti kontakta «polosa-valok» v kleti kvarto* / V. A. Nikolaev, S. V. Zhuchenko // *Metall i lit'e Ukrainy*. – 2010. – № 12. – S. 9–13.

Николаев В. А. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ЗГИА;
Жученко С. В. – ассистент каф. «ОМД» ЗГИА.

ЗГИА – Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье.

E-mail: metal.forming@zgia.zp.ua

Статья поступила в редакцию 16.09.2015 г.