

УДК 621.771.01, 621.771.23

Доброносов Ю. К.
Гаврильченко Е. Ю.
Матвеев И. А.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОЧЕГО РОЛИКА ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРАВКЕ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ СИЛЫ ПО ШИРИНЕ ЛИСТА

Известно, что возможности многороликовых листопрямительных машин по правке дефектов, неравномерно распределенных по ширине проката (волнистость кромок, коробоватость), весьма ограничены [1–3]. Для повышения эффективности устранения таких дефектов применяют правку с дифференцированным приложением силы за счет неравномерного перекрытия рабочих роликов по ширине проката [4–7]. Технически это может быть достигнуто за счет контролируемого прогиба либо станочной профилировки рабочих роликов, причем первый вариант с точки зрения оперативности настройки машины более предпочтителен.

При использовании данного способа возникает ряд вопросов, связанных с настройкой прямильных машин. К ним относятся влияние профилирования роликов на величину деформаций проката по его ширине, обеспечивающих заданный уровень правки, количественные оценки взаимного влияния величины продольного перекрытия роликов, поперечного перекрытия (прогиба роликов) и показателей дефекта плоскостности. Немаловажным является знание величины и характера распределения силы правки на ролике, поскольку в данном случае, помимо силовых характеристик оборудования, оно будет определять и величину прогиба рабочего ролика. Это обусловлено тем, что конструкция большинства роликовых узлов листопрямительных машин не позволяет принудительно изгибать непосредственно рабочий ролик. Изгиб осуществляется прилеганием под действием силы правки рабочего ролика к опорным, для которых и выполняется различными способами контролируемое профилирование. Поэтому важно знать, обеспечивает ли сила правки прогиб рабочего ролика до полного контакта с профилированной опорной поверхностью, образованной опорными роликами, в частности, при изменении величины перекрытия по ширине проката.

Целью данной работы является установление возможности обеспечения контролируемого прогиба рабочего ролика силой правки и количественная оценка зависимости величины прогиба роликов от параметров настроек листопрямительной машины.

В качестве объекта исследования была принята модель листопрямительной машины №1 агрегата поперечной резки горячекатаных полос Магнитогорского металлургического комбината. Исходными данным в этом случае являются: длина бочки рабочего ролика $L = 2500$ мм; диаметр ролика $D = 220$ мм; шаг роликов $t=250$ мм, материал листа – сталь 08кп.

Ширину листа (ширина приложения распределенной нагрузки от силы правки листа) варьировали в диапазоне $B = 1500–2500$ мм, толщину листа – в диапазоне $h = 5–20$ мм.

Распределение силы по ширине полосы определяли на основе обработки данных напряженно-деформированного состояния листа при его холодной правке, полученных с помощью конечноэлементной модели процесса правки для данных условий [8, 9]. В качестве варьируемых параметров использовали величины продольного и поперечного перекрытия роликов, при этом в качестве допущения для оценки распределения силы по ширине проката принимали, что ролик уже сформирован на величину необходимого поперечного перекрытия, которое составляет $\Delta W = 2$ мм [9]. Как пример результатов расчета на рис. 1 приведены распределения напряжений в листе для случая $b = 2000$ мм, $h = 10$ мм с продольным перекрытием роликов $W = 10$ мм, которые позволяют определить характер и величину нагрузок, действующих на ролик.

Полученные на основе результатов конечно-элементного моделирования значения величин силы правки для указанных параметров настройки оборудования приведены на рис. 2. При этом численные значения силы правки на 18–25% ниже, чем в случае правки тех же

толщин без изменения перекрытия по длине ролика. Они послужили исходными данными для моделирования напряженно- деформированного состояния рабочего ролика. В соответствии с характером распределения напряжений был принят параболический закон распределения нагрузки по ширине выправляемой полосы.

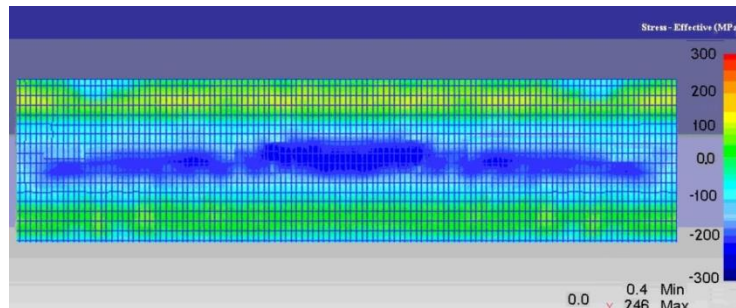


Рис. 1. Характер распределения напряжений в металле по ширине листа при правке с профилированным роликом

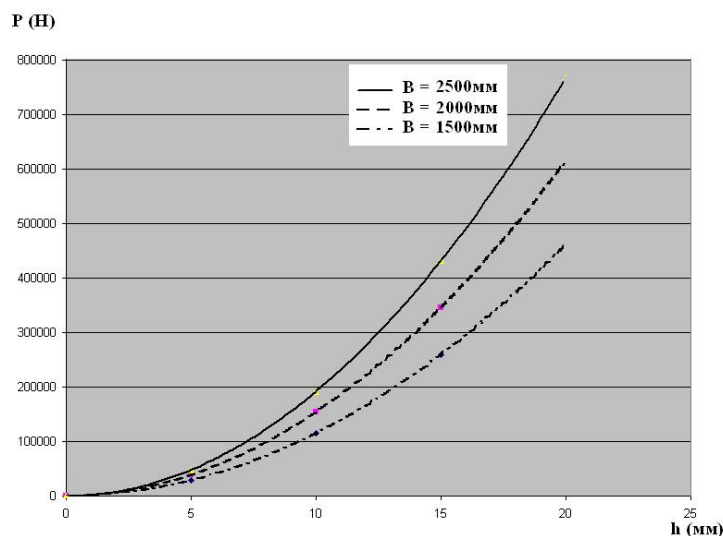


Рис. 2. Усредненные значения силы правки, действующей на ролик правильной машины (материал – сталь 08кп, шаг роликов 250мм, перекрытие роликов $W = 10$ мм, изменение перекрытия (прогиб) по длине ролика $\Delta W = 2$ мм)

Расчет рабочего ролика листопрямильной машины осуществлен в программном комплексе SolidWorks Simulation. При разработке модели принимали, что для осуществления изгиба рабочего ролика достаточно его контакта с двумя опорными роликами, расположенных по центру при правке волнистости кромок, и по краям – при правке коробоватости. Остальные опорные ролики необходимо расположить с зазором. Поэтому рабочий ролик будет закреплен относительно двух опорных роликов, а его шейки будут подвижны.

Расчетная схема описанной задачи применительно к настройкам для процесса правки волнистости кромок представлена на рис. 3.

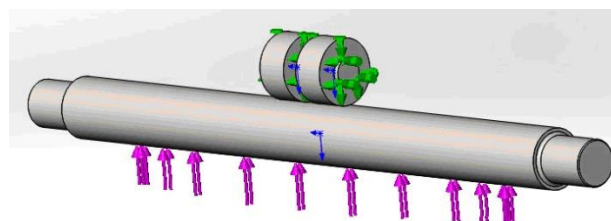


Рис.3. Расчетная схема рабочего ролика

Эпюры, полученные после создания конечно элементной сетки на основе кривизны для перемещений (рис. 4,а), деформаций (рис. 4,б) и напряжений (рис. 4,в) представлены ниже.

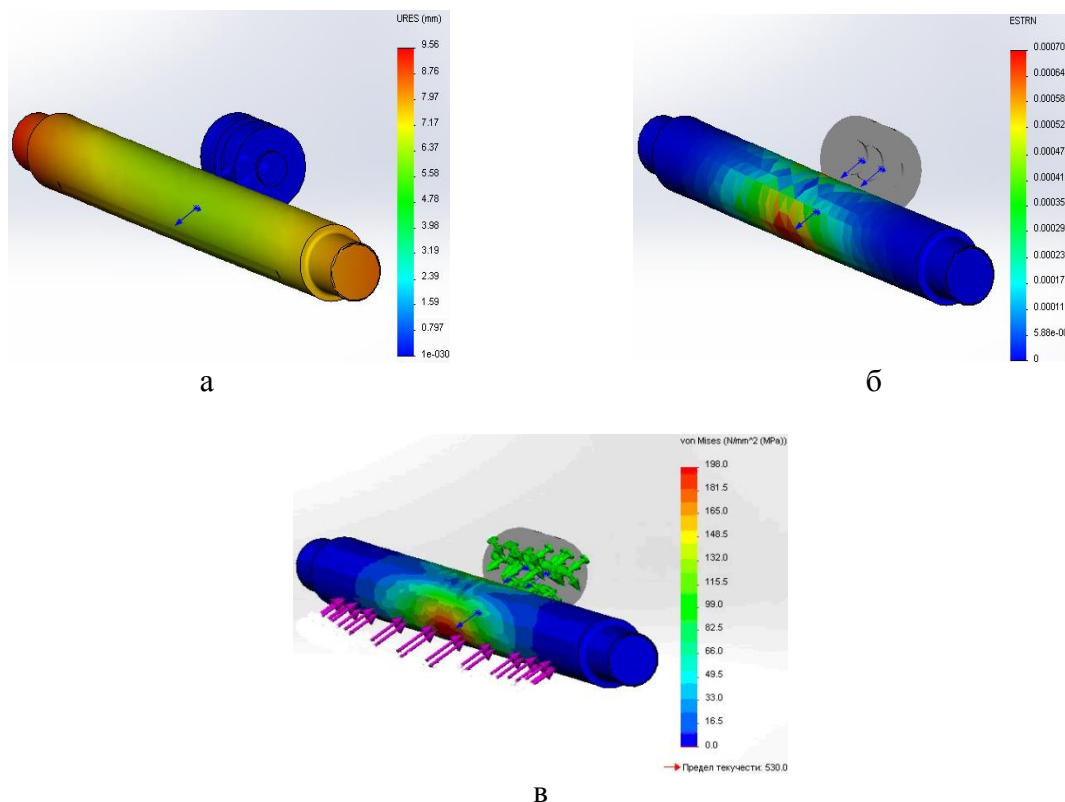


Рис. 4. Пример распределения прогибов (а), эквивалентных деформаций (б) и напряжений (в) в рабочем ролике ($b = 2000$ мм, $h = 15$ мм, $W = 10$ мм)

В результате расчетов было установлено, что необходимая для дифференцированной правки величина прогиба ролика данного типоразмера обеспечивается при силе правки не менее 270 кН, что соответствует для рассмотренного диапазона правки листов толщиной не менее 12,5 мм с перекрытием, равным толщине листа. Для правки более тонких листов необходимы ролики меньшего диаметра. Анализ данных, полученных в результате расчета, показал, что рабочий ролик имеет достаточный запас прочности при приложении силы правки во всем диапазоне исследуемых сортментов. Так, максимальные напряжения на ролике не превысили 127 МПа; максимальная эквивалентная деформация на рабочем ролике не превышает 0,0007.

Следует отметить, что эти данные соответствуют представленной схеме расположения опорных роликов для правки краевой волнистости листа. При правке коробоватости середины, когда опорные ролики обеспечивают первоначальный контакт с рабочим на краях его бочки, схема более благоприятная для получения больших деформаций рабочего ролика. В этом случае необходимая величина изгиба ролика обеспечивается силой порядка 190 кН.

Полученная методика позволяет определить величины настроечных деформаций и для различных типоразмеров рабочих роликов листопрямильных машин.

ВЫВОДЫ

В диапазоне типоразмеров диаметров рабочих роликов, характерных для машин правки толстого листа, их прогиб силой правки возможен в диапазоне толщин выправляемых листов более 12 мм, что соответствует силе правки на ролике более 270кН при обеспечении требуемого запаса прочности ролика. Для правки листов меньшей толщины необходимый прогиб рабочего ролика силой правки не обеспечивается, и требуются дополнительные конструкционные решения для его принудительной контролируемой деформации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слоним А. З. *Правка листового и сортового проката* / А. З. Слоним, А. Л. Сонин. – М. : Металлургия, 1981. – 232 с.
2. *Исследование эффективности правки нагартованных холоднокатаных полос электротехнической стали методом растяжения с изгибом* / Е.Г. Зиновьев, Е.Г. Белоглазов, А.Х. Винокурский, и др. // Труды I конгресса прокатчиков. – М.: Черметинформация. - 1996. – С.209–215.

3. Новые разработки в технологии и оборудовании для горячей правки толстых листов / Ю. Н. Белобров, В. Г. Смирнов, А. В. Шестопалов и др. // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 228–231.

4. Silvestre E. Testing and Modeling of Roll Levelling Process / E. Silvestre, E. S. de Argandoña, L. Galdos, J. Mendiguren // *Key Engineering Materials*. 2014 – Vols. 611-612. – pp. 1753-1762. – <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.1753>.

5. Mathieu N. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of leveling / N. Mathieu, R. Dimitriou, A. Parrico, M. Potier-Ferry, H. Zahrouni // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – Vol. 6. – Issue 2. – pp. 255-266. – <http://dx.doi.org/10.1007/s12289-011-1083-2>.

6. Petruška J. A New Model for Fast Analysis of Leveling Process / J. Petruška, T. Návrát, F. Šebek // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vol. 586, pp. 389-393. – <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.586.389>.

7. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатирольковой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate/ В.Н.Шинкин // Производство проката. – 2014. – №8. – С. 26–34.

8. Федоринов В. А. Конечно-элементное моделирование процесса правки волнистости на листопрямильных машинах/ В. А. Федоринов, Е. Ю. Гаврильченко, А. В. Завгородний // обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – 2015. – №3 (41). – С. 63–68.

9. Straightening of Sheet with Correction of Waviness /A.V. Barabash , E. Yu. Gavril'chenko , E. P. Gribkov , O. E. Markov // *Steel in Translation*, 2014. – Vol. 44. – No. 12. – P. 916–920.

REFERENCES

1. Slonim A. Z. Pravka listovogo i sortovogo prokata / A. Z. Slonim, A. L. Sonin. – M. : Metallurgija, 1981. – 232 s.

2. Issledovanie jeffektivnosti pravki nagartovannyh holodnokatanyh polos jelectrotehnicheskoy stali metodom rastjazhenija s izgibom / E.G. Zinov'ev, E.G. Beloglazov, A.H. Vinokurskij, i dr. // *Trudy I kon-gressa prokatchikov*. – M.: Chermetinformacija. 1996. – S.209–215.

3. Novye razrabotki v tehnologii i oborudovanii dlja gorjachej pravki tolstyh listov / Ju. N. Belobrov, V. G. Smirnov, A. V. Shestopalov i dr. // *Udoskonallennja procesiv ta obladnannja obrobki tis-kom u metalurgii i mashinobuduvanni* : zb. nauk. pr. – *Kramators'k* : *DDMA*, 2006. – S. 228–231.

4. Silvestre E. Testing and Modeling of Roll Levelling Process / E. Silvestre, E. S. de Argandoña, L. Galdos, J. Mendiguren // *Key Engineering Materials*. 2014 – Vols. 611-612. – pp. 1753-1762. – <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.1753>.

5. Mathieu N. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of leveling / N. Mathieu, R. Dimitriou, A. Parrico, M. Potier-Ferry, H. Zahrouni // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – Vol. 6. – Issue 2. – pp. 255-266. – <http://dx.doi.org/10.1007/s12289-011-1083-2>.

6. Petruška J. A New Model for Fast Analysis of Leveling Process / J. Petruška, T. Návrát, F. Šebek // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vol. 586, pp. 389-393. – <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.586.389>.

7. Shinkin V.N. Raschet tehnologicheskikh parametrov pravki stal'nogo lista na odinnadcatiroliko-voj listopravil'noj mashine linii poperechnoj rezki firmy Fagor Arrasate/ V.N.Shinkin // *Proizvodstvo pro-kata*. – 2014. – №8. – S. 26–34.

8. Fedorinov V. A. Konechno-jelementnoe modelirovanie processa pravki volnistosti na listopra-vil'nyh mashinah/ V. A. Fedorinov, E. Ju. Gavril'chenko, A. V. Zavgorodnij // *obrabotka materialov davlenim* : *sbornik nauchnyh trudov*. – 2015. – №3 (41). – S. 63–68.

9. Straightening of Sheet with Correction of Waviness /A.V. Barabash , E. Yu. Gavril'chenko , E. P. Gribkov , O. E. Markov // *Steel in Translation*, 2014. – Vol. 44. – No. 12. – P. 916–920.

Добронос Ю. К. – канд. техн. наук, доц. ДГМА

Гаврильченко Е. Ю. – асп. ДГМА, начальник бюро агрегатных линий ПАО НКМЗ

Матвеев И. А. – студент ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

НКМЗ – Новокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 17.03.2016 г.