

УДК 621.77

Кавалек А.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХ ВИДОВ АСИММЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ В ЧИСТОВОЙ КЛЕТИ СТАНА 3600

Из-за непостоянства параметров прокатки на промышленных и лабораторных станах невозможно обеспечить все условия симметричного процесса, поэтому листовую прокатку следует считать асимметричной [1]. В результате неконтролируемого асимметричного процесса прокатки в готовых изделиях появляются дефекты. Наиболее опасными являются те дефекты, которые на производстве классифицируют под общим названием «неправильная форма листа» и проявляются в виде волнистости. Благодаря введению контролируемого асимметричного процесса прокатки можно повлиять на снижение усилия обжатия и обеспечить равномерное распределение момента на валках, что позволит получить требуемое качество и геометрию в поперечном и продольном сечении листа [1...6]. Процесс асимметричной прокатки характеризуется разными условиями деформации металла со стороны верхнего и нижнего рабочих валков, что влияет на изгиб полосы на выходе из очага деформации. Величина кривизны полосы зависит от величины применяемого коэффициента асимметрии и других параметров прокатки. Очень большая величина кривизны полосы может существенным образом препятствовать или делать невозможным продолжение процесса прокатки. Поэтому применение технологии асимметричной прокатки в промышленных условиях требует проведения ряда исследований с целью определения допустимого диапазона коэффициента асимметрии для переменных параметров процесса, при которых возможно получение прямого листа либо листа с незначительной кривизной.

Требуемую прямолинейность листового проката с одновременным снижением потребляемого усилия и равномерным распределением моментов прокатки можно получить применением одновременно двух видов асимметрии [7, 8].

В работе проведены исследования листов с начальной толщиной $h_0 = 12$ мм из стали марки S690QL, химсостав которой приведен в табл. 1, в условиях прокатки в чистовой клети стана 3600.

Таблица 1

Химический состав исследованной марки стали, [%]

	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	Al	Cu	N	Si	P _{max}	S _{max}
S690QL	0,2	1,7	1,5	2,0	0,7	0,06	0,05	-	0,5	0,015	0,8	0,025	0,015

Целью статьи является изучение применения двух видов симметрии в процессе прокатки толстых листов в чистовой клети стана 3600.

Исследования проводились в компьютерной программе FORGE[®] 2011, которая основана на методе конечных элементов. Для математического моделирования принято: рабочие валки диаметром 970 мм и постоянной окружной скоростью нижнего валка, равной $n = 80$ об/мин. Моделирование прокатки осуществлялось с применением двух видов асимметрии. Первый вид – рассогласование окружных скоростей рабочих валков, причем окружная скорость верхнего валка была меньше скорости нижнего валка. Диапазон изменения коэффициента окружной скорости валков $a_v = v_n/v_b$ (где v_n , v_b – окружная скорость нижнего и верхнего валка соответственно) составил 1,05...1,20. Второй вид – уменьшение диаметра нижнего рабочего валка $a_n = D_b/D_n$ (где D_n , D_b – рабочий диаметр нижнего и верхнего валка соответственно) составил 1,05...1,20. Диапазон примененных обжатий составил $\varepsilon = 0,10...0,30$. Моделирование осуществлялось в условиях нормализующей прокатки, т. е. при $T = 840^\circ\text{C}$. Целью исследований было определение влияния относительного обжатия ε , коэффициентов скоростной асимметрии a_v и геометрической асимметрии a_n на кривизну полосы ρ и энергосиловые параметры процесса прокатки.

На рис. 1 представлены результаты математического моделирования для определения влияния коэффициента асимметрии окружной скорости a_v и относительного обжатия ε на величину кривизны полосы ρ из стали S690QL для исходной толщины листа $h_0 = 12$ мм, ($h_0/D = 0,012$).

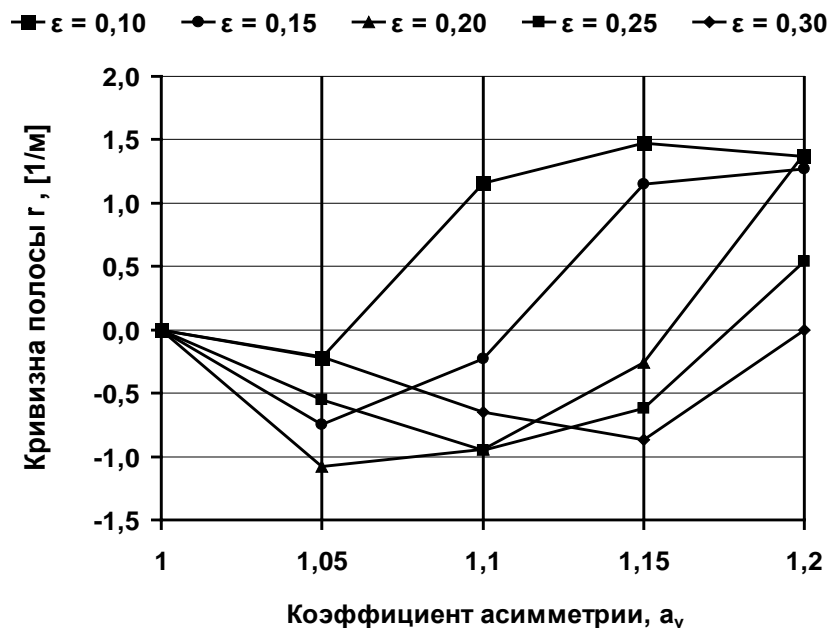


Рис. 1. Влияние коэффициента асимметрии a_v на величину кривизны полосы ρ при разных значениях относительного обжатия ε , исходная толщина полосы $h_0 = 12$ мм (коэффициент формы полосы $h_0/D = 0,012$)

Из результатов моделирования, выполненных для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,012$, видно, что прямая полоса или незначительный изгиб получен для относительного обжатия $\varepsilon = 0,30$ при коэффициенте асимметрии $a_v = 1,05$ и $a_v = 1,20$, а также для относительного обжатия $\varepsilon = 0,10$ при $a_v = 1,05$. Из данных, представленных на рис. 1 следует, что для остальных значений относительного обжатия (кроме $\varepsilon = 0,10$) увеличение значений коэффициента асимметрии a_v приводит к изменению направления изгиба полосы. Для наибольших значений $a_v = 1,20$ полоса изгибается в сторону вала с меньшей окружной скоростью (верхний валок). При относительном обжатии $\varepsilon = 0,10$ и коэффициенте асимметрии $a_v > 1,05$ полоса при выходе из очага деформации изгибается в сторону верхнего вала, а значение кривизны полосы увеличивается при увеличении коэффициента асимметрии a_v . Наибольшая величина изгиба полосы составила $1,40$ 1/м при коэффициенте асимметрии $a_v = 1,20$ и относительном обжатии $\varepsilon = 0,10 \dots 0,20$.

На рис. 2 представлено влияние скоростной асимметрии и относительного обжатия на величину кривизны полосы ρ для исходной толщины полосы $h_0 = 12$ мм ($h_0/D = 0,012$).

Из данных, представленных на рис. 2, видно, что для получения асимметричной прокаткой прямого листа или листа с незначительной кривизной из заготовки толщиной $h_0 = 12$ мм следует задавать относительное обжатие ε в диапазоне от $0,25$ до $0,30$ при значениях коэффициента асимметрии $a_v = 1,05$ и $a_v = 1,20$. Полосу с незначительной кривизной, направленной в сторону нижнего вала, также можно получить при относительном обжатии $\varepsilon = 0,20$ и коэффициенте асимметрии $a_v = 1,15$. Для остальных анализированных значений коэффициента асимметрии a_v (кроме $a_v = 1,20$), с увеличением значения относительного обжатия направление изгиба листа изменяется и при больших значениях относительного обжатия полоса изгибается в сторону вала с большей окружной скоростью. Для наибольших значений коэффициента асимметрии $a_v = 1,20$ независимо от применяемого обжатия, полоса на выходе из очага деформации изгибается в сторону вала с меньшей окружной скоростью, причем величина кривизны полосы ρ уменьшается с ростом относительного обжатия ε .

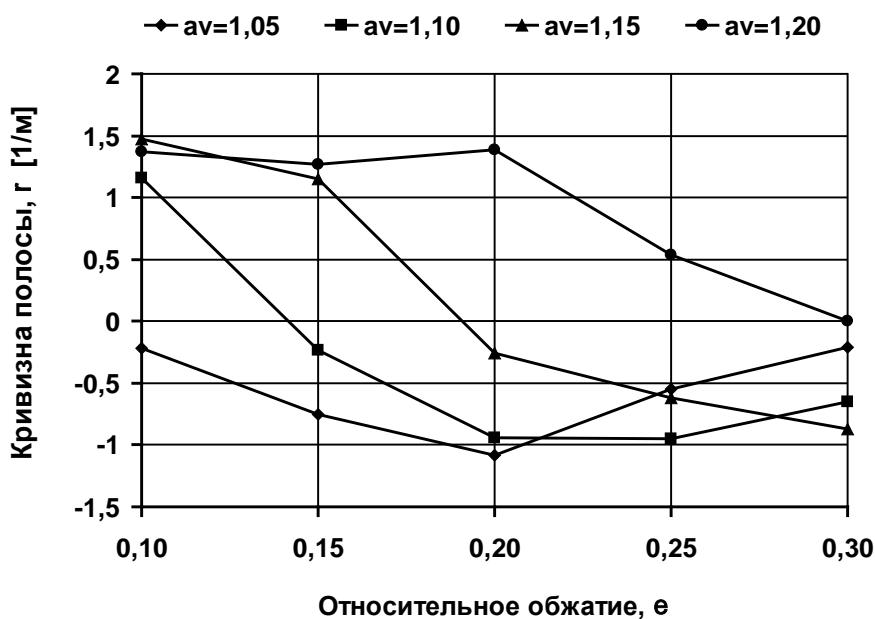


Рис. 2. Влияние относительного обжатия ϵ на величину кривизны полосы ρ для различных значений коэффициента асимметрии a_v , исходная толщина полосы $h_0 = 12$ мм (коэффициент формы полосы $h_0/D = 0,012$)

Из анализа влияния величины коэффициентов асимметрии окружной скорости a_v и относительного обжатия ϵ на величину кривизны листа ρ при прокатке заготовки с толщиной $h_0 = 12$ мм следует, что диапазон параметров прокатки, для которых введение асимметрии процесса позволяет получить прямую или с небольшой кривизной полосу, ограничен. Поэтому дополнительно был введен второй вид асимметрии – геометрический, который получен путем уменьшения диаметра нижнего рабочего валька. На основании полученных результатов исследований совместного влияния применения двух видов асимметрии ($a_v = a_n$) наблюдается значительное улучшение геометрии полосы после процесса прокатки. Для всего исследуемого диапазона параметров прокатки (кроме $a_v = a_n = 1,20$) получен прямой лист. Для наибольшего значения коэффициента асимметрии a_v получен лист с небольшой кривизной, которую можно считать допустимой, а в промышленных условиях эта величина будет практически неизмеримой.

На рис. 3 представлены результаты исследований влияния кинетического и геометрического коэффициентов асимметрии в диапазоне $a_v = a_n = 1,05 \dots 1,20$ и относительного обжатия ϵ в интервале от 0,10 до 0,30 при прокатке заготовки высотой $h_0 = 12$ мм ($h_0/D = 0,012$) на величину удельного давления p_j . Сплошными линиями обозначены значения удельного давления p_j для прокатки с одним видом асимметрии (рассогласование окружных скоростей валков), пунктиром – для прокатки с двумя видами асимметрии (рассогласование окружных скоростей и диаметров рабочих валков).

Из данных, представленных на рис. 3, видно, что введение асимметрии в процесс прокатки листа толщиной $h_0 = 12$ мм приводит к снижению величины удельного давления p_j для всего диапазона относительного обжатия ϵ и коэффициентов асимметрии $a_v = a_n$, причем наибольшее снижение достигнуто при применении одного вида асимметрии. Наибольшее снижение величины удельного давления p_j (~30%) достигнуто при $a_v = 1,20$ для $\epsilon = 0,20 \dots 0,30$. При одновременном применении двух видов асимметрии максимальное снижение величины удельного давления p_j составило 15%.

На рис. 4 представлены значения моментов на верхнем и нижнем вальках для исследуемого диапазона относительного обжатия ϵ от 0,10 до 0,30 и коэффициентов кинетической асимметрии a_v от 1,05 до 1,20 для исходной толщины листа $h_0 = 12$ мм. Сплошными линиями обозначена величина момента на верхнем вальке, пунктиром – на нижнем вальке.

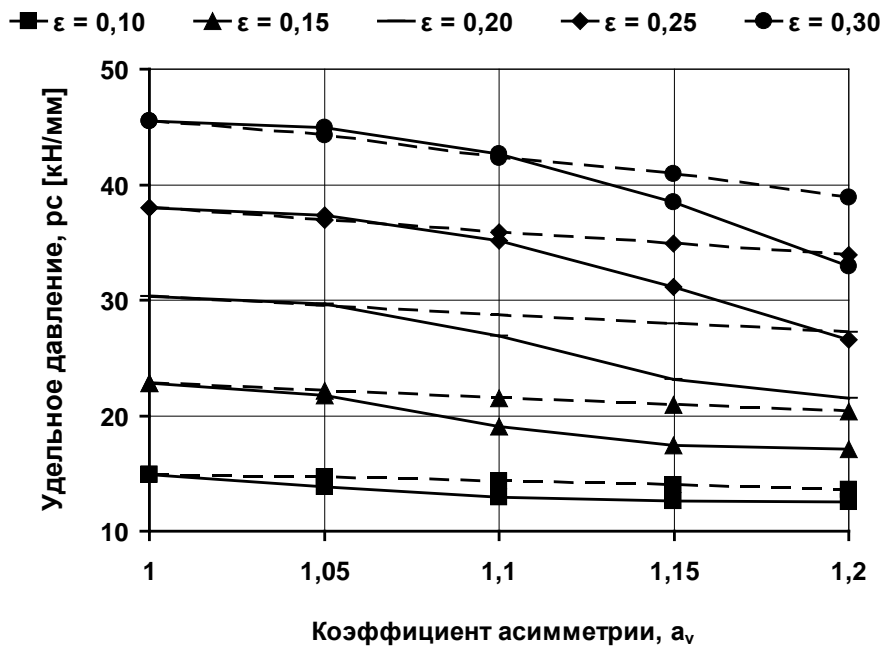


Рис. 3. Влияние коэффициента асимметрии a_v и относительного обжатия ϵ на величину удельного давления p_j при прокатке полосы с исходной толщиной $h_0 = 12$ мм (коэффициент формы полосы $h_0/D = 0,012$)

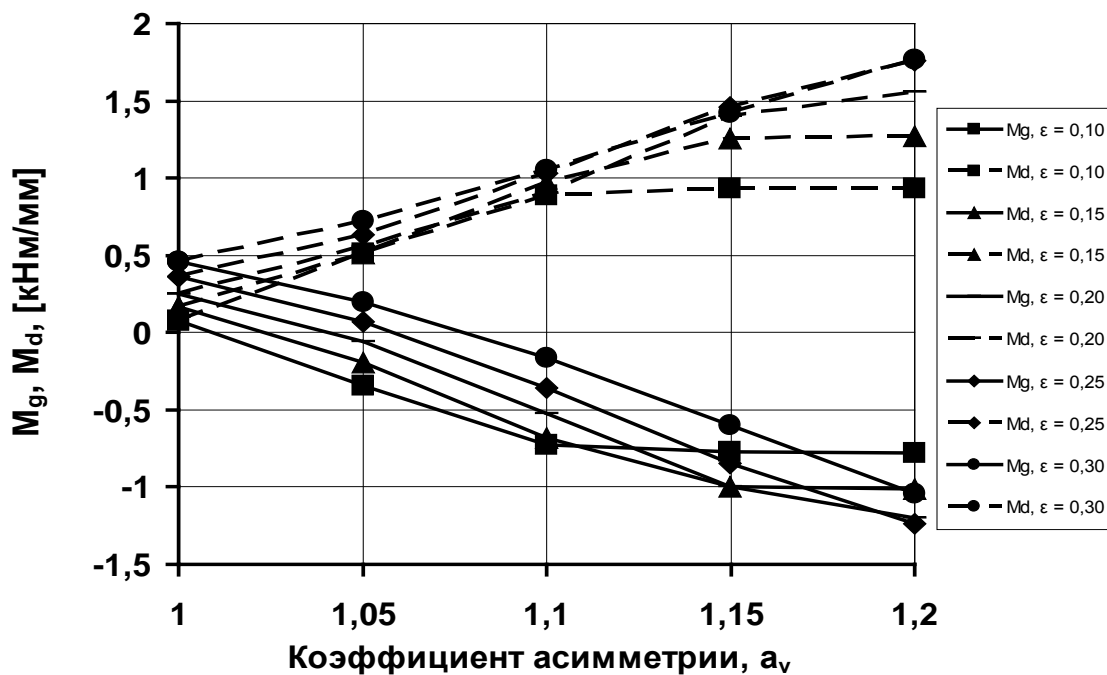


Рис. 4. Влияние коэффициента асимметрии a_v на величину моментов прокатки для исходной толщины листа $h_0 = 12$ мм (коэффициент формы полосы $h_0/D = 0,012$)

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что введение асимметрии в процесс прокатки путем рассогласования окружных скоростей рабочих валков оказывает большое влияние на величину момента прокатки на верхнем M_v и нижнем M_n валках и приводит к росту суммарного момента прокатки при увеличении значения коэффициента асимметрии. В зависимости от величины коэффициента асимметрии (a_v) и других параметров процесса прокатки наблюдается неодинаковое распределение моментов между валками с меньшей и большей окружными скоростями. На рис. 4 показано, что оба момента прокатки могут быть с положительным знаком, но разной величины. Момент прокатки

на валке с меньшим диаметром может быть с отрицательным знаком либо равен нулю, таким образом, валок становится приводным. Момент прокатки на верхнем валке может быть с отрицательным знаком, а возрастание его абсолютного значения связано с увеличением коэффициента асимметрии a_v .

Увеличение моментов прокатки и их неравномерное распределение является негативной характеристикой процесса асимметричной прокатки.

После введения в процесс прокатки двух видов асимметрии (кинетической и геометрической) наблюдалось небольшое снижение величины моментов, по сравнению с симметричным процессом прокатки, а также более равномерное их распределение на валках.

На рис. 5 представлены результаты исследования влияния двойной асимметрии кинетической и геометрической (при коэффициентах асимметрии $a_v = a_n = 1,05 \dots 1,20$ и относительном обжатии $\varepsilon = 0,10 \dots 0,30$) на изменение величины мощности прокатки для листа с исходной толщиной $h_0 = 12$ мм и коэффициентом формы $h_0/D = 0,012$.

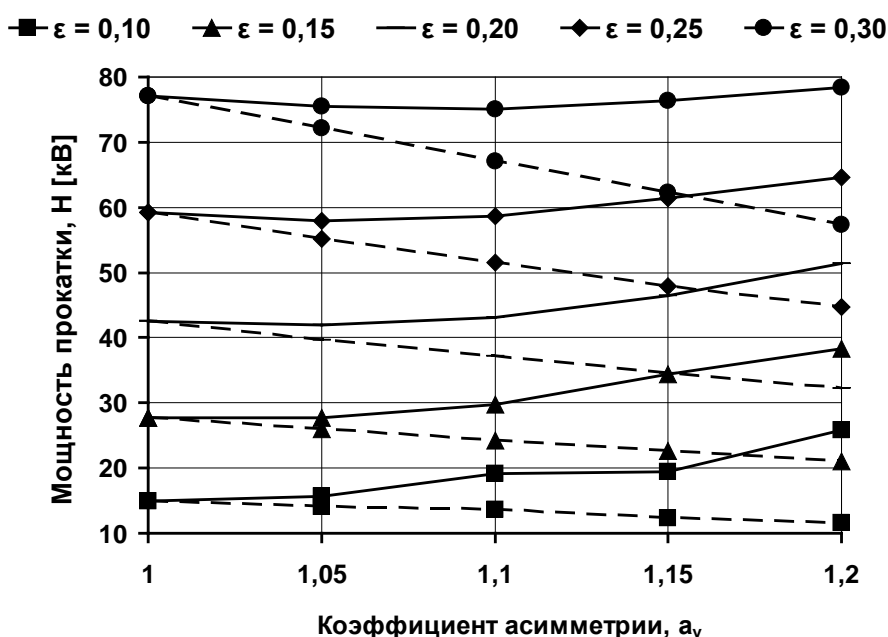


Рис. 5. Влияние коэффициента асимметрии a_v и относительного обжатия ε на значение мощности прокатки для листа с исходной толщиной $h_0 = 12$ мм (коэффициент формы полосы $h_0/D = 0,012$)

Из данных, представленных на рис. 5 видно, что введение асимметрии путем рассогласования окружных скоростей рабочих валков, для всего диапазона исследуемого относительного обжатия $\varepsilon = 0,10 \dots 0,30$ привело к значительному росту мощности прокатки. Одновременное применение двух видов асимметрии привело к снижению мощности прокатки – для наибольших анализируемых коэффициентов прокатки снижение достигло 25%.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что введение одного вида асимметрии в процесс прокатки влияет на снижение давления металла на валки, но и одновременно приводит к изгибу полосы, что является негативным явлением, так как лист в этом случае имеет деформированную, волнистую геометрию, которую невозможно устранить. Кроме того изгиб полосы приводит к быстрому износу валков и роликов рольганга. Также применение одного вида асимметрии приводит к росту момента прокатки и неравномерному раскладу моментов на рабочих валках. Увеличивается также мощность прокатки. Введение в процесс прокатки двух видов асимметрии позволяет получить прямой лист для всех исследованных в работе случаев. При этом снижается удельное давление полосы на валки, снижается мощность прокатки и происходит равномерное распределение моментов прокатки на валках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев В. А. Изгиб полосы и другие параметры несимметричной прокатки / В. А. Николаев, А. А. Васильев // *Сталь*. – 2013. – №7. – С. 42–49.
2. *Asymetryczne walcowanie blach i taśm - teoria, technologia i nowe rozwiązania*/ H. Dyja, W. Salganik, A. Piesin, A. Kawalek. – Częstochowa, 2008.
3. Kawalek A. *Asymetryczne walcowanie blach grubych w walcowni dwuklatkowej* / A. Kawalek. – Częstochowa, 2011.
4. Kawalek A. *Analiza wpływu parametrów asymetrycznego procesu walcowania na kształt pasma* / A. Kawalek, H. Dyja // *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*. – 2008. – Nr. 8. – S. 593–595.
5. Kawalek A. *Teoretyczna analiza asymetrycznego procesu walcowania płyt i blach grubych ze stali S690QL* / A. Kawalek // *Metallurgy 2013 New technologies and achievements*, edytor A. Kawalek. – Częstochowa, 2013. – S. 7–63.
6. Николаев В. А. *Izvestija vysshikhuchebnykh zavedenij*/ В. А. Николаев // *Черная металлургия*. – 2007. – № 3. – S. 20–23.
7. Песин А. М. *Использование двух факторов асимметрии при толстолистовой прокатке* / А. М. Песин, А. Кавалек, П. Шиинский, Д. О. Пустовойтов // *Вестник Магнитогорского Государственного Технического Университета им. Г. И. Носова*. – 2013. – № 4 (44). – С. 50–51.
8. Шиинский П. *Анализ изменения силы давления и изгиба полосы при прокатке толстых листов в чистовой клету* / П. Шиинский, А. Кавалек, Х. Дья, М. Кнапинский // *Инновационные технологии в металлургии и машиностроении : сб. научн. трудов*. – Екатеринбург, 2014. – С. 281–285.

REFERENCES

1. Nikolaev V. A. *Izhib polosity i drugie parametry nesimmetrichnoj prokatki* / V. A. Nikolaev, A. A. Vasil'ev // *Stal'*. – 2013. – №7. – S. 42–49.
2. *Asymetryczne walcowanie blach i taśm - teoria, technologia i nowe rozwiązania* / H. Dyja, W. Salganik, A. Piesin, A. Kawalek. – Częstochowa, 2008.
3. Kawalek A. *Asymetryczne walcowanie blach grubych w walcowni dwuklatkowej* / A. Kawalek. – Częstochowa, 2011.
4. Kawalek A. *Analiza wpływu parametrów asymetrycznego procesu walcowania na kształt pasma* / A. Kawalek, H. Dyja // *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*. – 2008. – Nr. 8. – S. 593–595.
5. Kawalek A. *Teoretyczna analiza asymetrycznego procesu walcowania płyt i blach grubych ze stali S690QL* / A. Kawalek // *Metallurgy 2013 New technologies and achievements*, edytor A. Kawalek. – Częstochowa, 2013. – S. 7–63.
6. Nikolaev V. A. *Izvestija vysshikhuchebnykh zavedenij*/ V. A. Nikolaev // *Chernaja metallurgija*. – 2007. – № 3. – S. 20–23.
7. Pesin A. M. *Ispol'zovanie dvuh faktorov asimmetrii pri tolstolistovoj prokatke* / A. M. Pesin, A. Kavalek, P. Shiinskij, D. O. Pustovojtov // *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G. I. Nosova*. – 2013. – № 4 (44). – S. 50–51.
8. Shiinskij P. *Analiz izmenenija sily davlenija i izgiba polosity pri prokatke tolstyh listov v chistovoj kleti* / P. Shiinskij, A. Kavalek, H. Dyja, M. Knapin'skij // *Innovacionnye tehnologii v metallurgii i mashinostroenii : sb. nauchn. trudov*. – Ekaterinburg, 2014. – S. 281–285.

Кавалек А. – д-р техн. наук, зам. зав. каф. ОМДиИБ ЧТУ.

ЧТУ – Ченстоховский технологический университет, г. Ченстохов.

E-mail: kawalek@wip.pcz.pl

Статья поступила в редакцию 16.09.2015 г.