

УДК 621.771.237

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Мухин Ю.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Обработка металлов давлением»

Бельский С.М., д.т.н., профессор кафедры «Обработка металлов давлением»,
главный специалист по качеству ППП ОАО «НЛМК» (prokatka@stu.lipetsk.ru)

Чупров В.Б., к.т.н., директор Metallургического института

Бахаев К.В., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением»

Стоякин А.О., магистрант кафедры «Обработка металлов давлением»

Липецкий государственный технический университет
(398600, Россия, Липецк, ул. Московская, 30)

Аннотация. Специалистами производства горячего проката ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» и Липецкого государственного технического университета проведено исследование распределения температуры по ширине полосы в линии НШСГП 2000 с помощью переносного тепловизора VALTECH TR-1400. Выявлена тенденция увеличения температуры поверхности полосы от правой кромки к левой по ходу прокатки. Несимметричность распределения температуры по ширине полосы является одной из причин серповидности, клиновидности и нарушения плоскостности прокатываемых полос.

Ключевые слова: горячекатаная полоса, распределение температуры по ширине, серповидность, клиновидность, плоскостность.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-6-417-421

Потребительские свойства горячекатаных стальных полос зависят от большого числа параметров, среди которых важнейшее значение имеют стабильность механических свойств и микроструктуры металла по длине и ширине полос, наличие поверхностных дефектов, а также геометрические параметры: продольная и поперечная разнотолщинность, серповидность, выпуклость и клиновидность профиля поперечного сечения [1 – 9]. Перечисленные параметры в значительной степени зависят от распределения температурного поля по длине и ширине прокатываемых на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки (НШСГП) полос.

С целью изучения закономерностей распределения температурного поля прокатываемых на НШСГП 2000 полос специалистами производства горячего проката

ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК), а также преподавателями и студентами Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ) были проведены измерения температуры прокатываемых полос в линии стана. Исследования проводились в рамках Программы дополнительного профессионального образования, разработанной совместно ЛГТУ и ОАО «НЛМК».

Температурное поле измеряли с помощью переносной тепловизионной камеры VALTECH TR-1400 с диапазоном измерений $(-20) - (+1200) ^\circ\text{C}$ и точностью $\pm 5 ^\circ\text{C}$ ($\pm 0,5 \%$ измеряемой температуры) в следующих точках: с «шапок» клеток № 3 – 5 (рис. 1, точки 1 – 3), с переходного мостика перед чистой группой клеток (рис. 1, точка 4), с переходного мостика за клетью № 12 (рис. 1, точка 5) и с места установ-

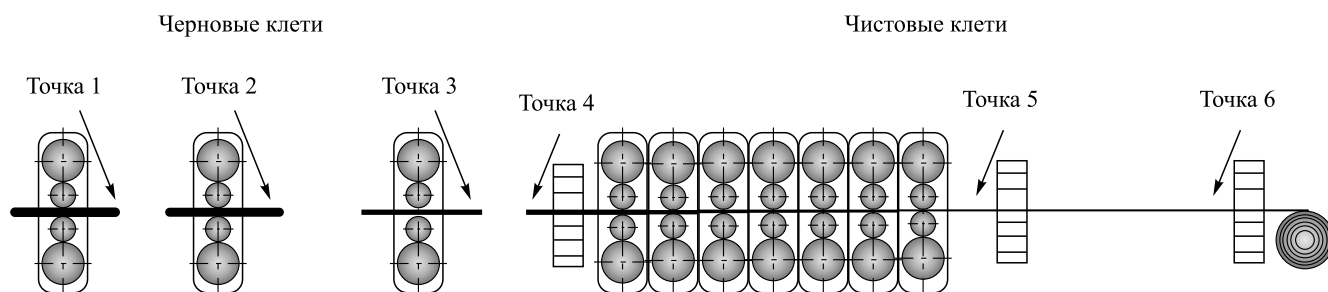


Рис. 1. Точки измерения температурного поля прокатываемых полос

Fig. 1. Points of measuring of the temperature field of the rolled strips

ки пирометров температуры смотки полосы (рис. 1, точка б). Расстояние от тепловизора до поверхности полосы в зависимости от места измерения составляло от 3 до 6 м.

Штатные пирометры в линии НШСП 2000 установлены за клетями № 5, 12 и перед моталкой № 1. Измеряемые штатными пирометрами температуры центральной части полос записываются и хранятся на серверах системы слежения за металлом (ССМ).

Программная часть тепловизора BALTECH TR-1400 позволяет в режиме offline корректировать значения температуры поверхности полос, изменяя значение коэффициента черноты. Этот прием применялся для синхронизации температур центральной части полос, измеренных переносной тепловизионной камерой и хранящихся в серверах ССМ. Исследования проводились в течение одного года. Для идентификации полос использовали номер плавки, номер полосы в типоразмере и фактическое время измерения.

После обработки массива данных и анализа полученных результатов были сделаны выводы, представленные ниже.

Температурное поле верхней поверхности полос за клетью № 5 характеризуется выраженным уменьшением температуры от левой кромки к правой (по ходу движения полосы) и наличием продольной полосчатости. Понижение температуры от левой кромки к правой обусловлено тем, что правая кромка сляба в позиции выгрузки из методической печи находится ближе к заслонке печи и поэтому подстуживается. Полосчатость распределения температуры вызвана воздействием гидросбивов окалины в местах перекрытия форсунок. Пример распределения температуры по ширине (*B*) раската на выходе из клетки № 5 представлен на рис. 2.

Перед чистой группой клетей, на промежуточном рольганге, происходит интенсивное образование окалины, в связи с чем примерно 60 % термограмм, снятых на этом участке, не подлежат анализу (рис. 3).

На термограммах, пригодных для анализа, видно, что температурный клин, идущий с черновой группы клетей на головной части полосы, практически выравнивается, а на некоторых полосах, по мере приближения хвостовой части к чистой группе, температура со стороны обслуживания становится даже выше, чем со стороны привода. Выравнивание температуры, а также изменение направления температурного клина можно объяснить конструктивными особенностями теплосохраниющей установки и направлением движения воздушных потоков в районе отводящего рольганга.

За чистой группой температурный перекося становится менее выраженным, хотя некоторая наследственность сохраняется. Пример характерного распределения температуры по ширине полосы на выходе из клетки № 12 представлен на рис. 4.

Представляет интерес совместный анализ теплового поля и плоскостности полосы перед смоткой в рулон. После прохождения участка ускоренного охлаждения распределение температуры по ширине имеет неравномерный характер: температура со стороны обслуживания, как правило, ниже температуры со стороны привода. В зависимости от марки стали температурный градиент варьируется от 5 – 10 °С для конструкционных сталей до 10 – 15 °С для электротехнических сталей. Такая особенность может быть связана с работой поперечных гидросдувов установки ускоренного охлаждения полос.

Было проведено сопоставление плоскостности готовых горячекатаных полос с их температурными профилями при смотке в рулон (рис. 5).

Изменение плоскостности горячекатаной полосы, измеряемой штатным многофункциональным прибором RM-312, установленным за клетью № 12, записывается в виде диаграммы и хранится на серверах ССМ. Видно, что в местах образования волны со стороны привода на термограммах температура увеличивается. Этот факт можно объяснить следую-

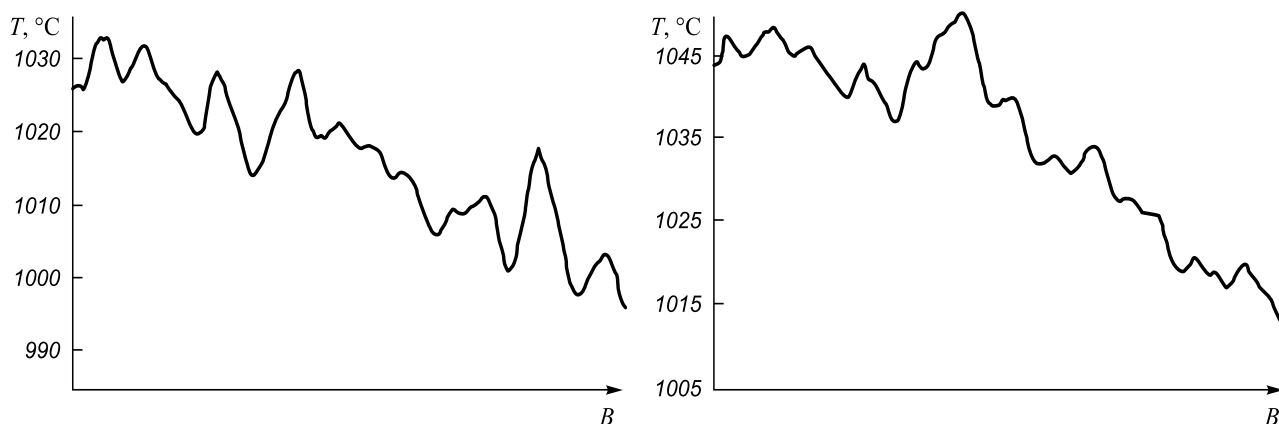


Рис. 2. Типичное распределение температуры по ширине раската за клетью № 5

Fig. 2. Typical temperature distribution across the strip's width after stand no. 5

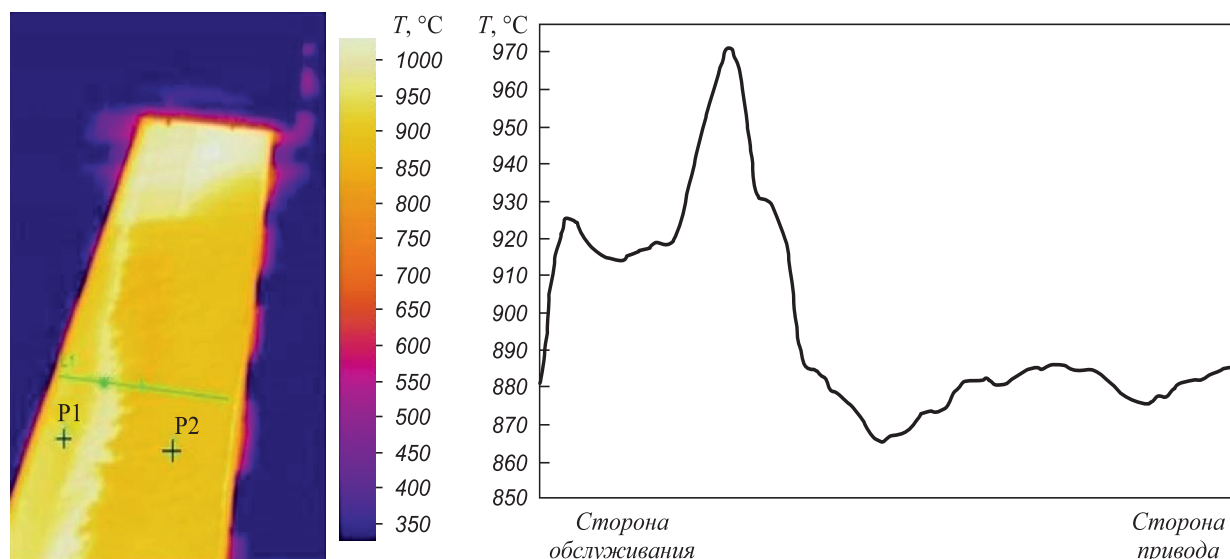


Рис. 3. ИК-изображение и распределение температуры по ширине для средней части полосы перед чистовой группой клетей:
 P_1 – участок полосы без грубой окалины; P_2 – участок полосы с грубой окалиной

Fig. 3. Infrared image and distribution of temperature across the width for middle part of strip before the finishing mill:
 P_1 – area without a rough scale; P_2 – area with a rough scale

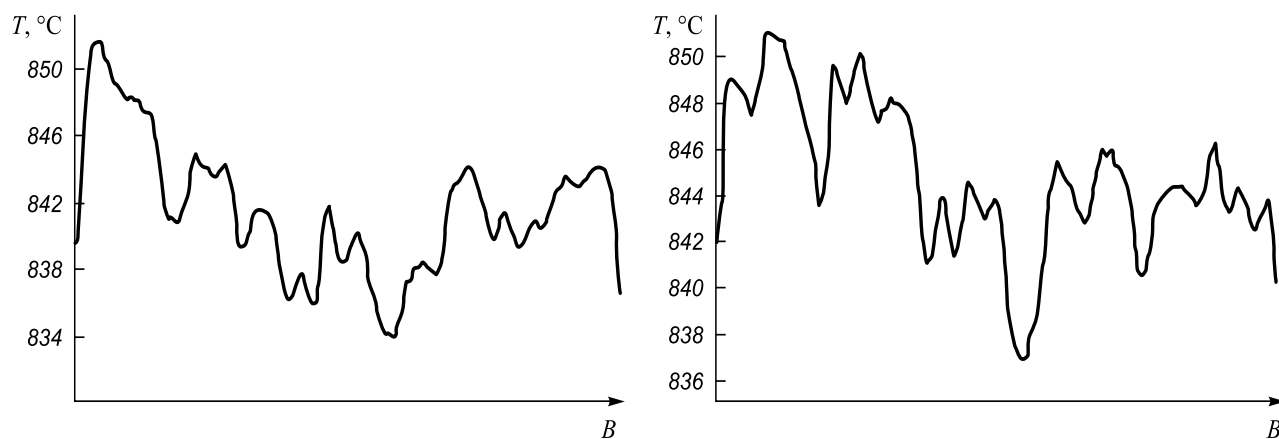


Рис. 4. Типичное распределение температуры по ширине раската за клетью № 12

Fig. 4. Typical temperature distribution across the strip's width after stand no. 12

щим образом: охлаждающая вода, падающая на поверхность полосы, с волнистых участков скатывается быстрее, чем с более ровных, соответственно охлаждение полосы со стороны привода происходит менее интенсивно.

Выводы. В результате проведенных исследований установлены причины особенностей распределения теплового поля горячекатаных полос в линии НШСГП 2000 на разных участках стана. Выполнен сравнительный анализ диаграмм плоскостности и распределения температурного поля прокатываемых полос.

По результатам исследований разработаны рекомендации по настройке клетей черновой группы НШСГП 2000 с целью уменьшения клиновидности профиля поперечного сечения горячекатаных полос.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коцарь С.Л., Белянский А.Д., Мухин Ю.А. Технология листопрокатного производства. – М.: Металлургия, 1997. – 272 с.
2. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. 2011. № 4(62). Вып. 4. С. 69–74.
3. Бельский С.М., Мухин Ю.А., Мазур С.И., Гончаров А.И. Влияние параметров профиля поперечного сечения горячекатаного подката на плоскостность холоднокатаных полос // Сталь. 2013. № 5. С. 52 – 55.
4. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубформовочном прессе SMS MEER при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21 – 26.
5. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19 – 24.

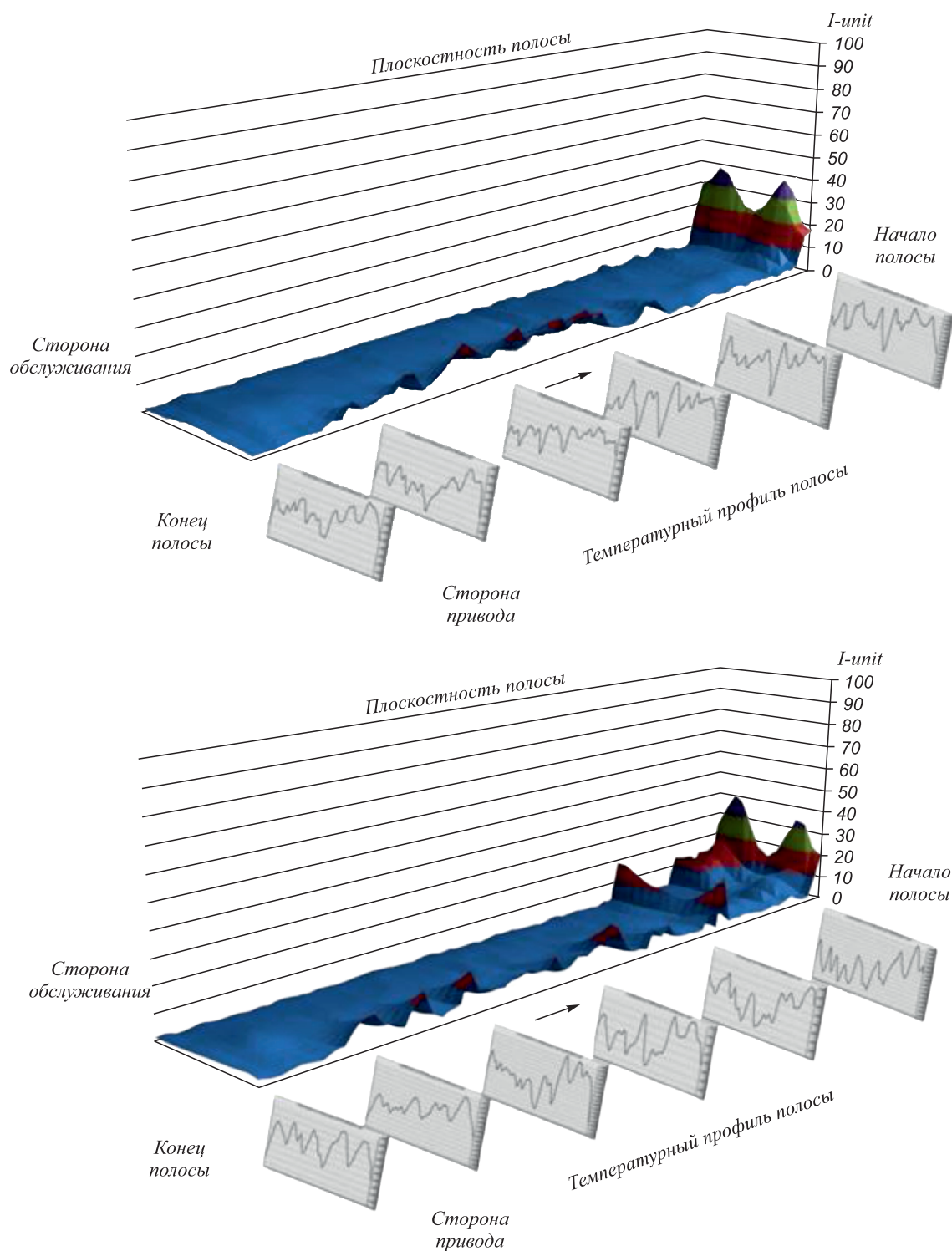


Рис. 5. Сопоставление диаграмм плоскостности и распределения температуры смотки по ширине прокатываемой полосы

Fig. 5. Comparison of the diagrams of flatness and distribution of winding temperature across the width of rolled strip

6. Мухин Ю.А., Мазур С.И., Бельский С.М., Шунин А.В. Горячая прокатка с обратным температурным клином и стабильность структуры и механических свойств готовых полос // Производство проката. 2013. № 11. С. 15 – 18.
7. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12 – 19.
8. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Уруголастическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53 – 56.
9. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14 – 16.

Поступила 14 октября 2014 г.

THE FEATURES OF TEMPERATURE FIELD OF STEEL STRIPES UNDER HOT ROLLING

Mukhin Yu.A., *Dr Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Metal Forming”*

Bel’skii S.M., *Dr Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metal Forming”, Chief Quality Specialist, OJSC “Novolipetsk Metallurgical Plant”* (prokatka@stu.lipetsk.ru)

Chuprov V.B., *Cand. Sci. (Eng.), Director of Metallurgical Institute*

Bakhaev K.V., *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Metal Forming”*

Stoyakin A.O., *Undergraduate of the Chair “Metal Forming”*

Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russia)

Abstract. The study of temperature distribution across the width of stripes in the HRM 2000 line was carried out in collaboration of OJSC “NLMK” Hot Rolled Stock Manufacture specialists with students and lecturers of the Lipetsk State Technical University. The investigations were made with the use of portable thermal imager BALTECH TR-1400. Surface temperature increasing was found from the right edge of the strip to the left while rolling. The temperature distribution asymmetry across the width of the strip is one of the reasons of camber, wedging and flatness of hot-rolled strips.

Keywords: hot-rolled strip; temperature distribution across the width; camber; wedging; flatness.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-6-417-421

REFERENCES

1. Kotsar’ S.L., Belyanskii A.D., Mukhin Yu.A. *Tekhnologiya listoprokatnogo proizvodstva* [Technology of sheet-rolling production]. Moscow: Metallurgiya, 1997. 272 p. (In Russ.).
2. Shinkin V.N. Mathematical modeling of processes of large-diameter pipes production for the main pipelines. *Vestnik Saratovskogo gos. tekhn. un-ta*. 2011, no. 4 (62), Issue 4, pp. 69–74. (In Russ.).
3. Bel’skii S.M., Mukhin Yu.A., Mazur S.I., Goncharov A.I. Influence of the cross section of hot-rolled steel on the flatness of cold-rolled strip. *Steel in Translation*. 2013, vol. 43, no. 5, pp. 313–316.
4. Shinkin V.N. Criterion of opposite bending of free part of a sheet on a SMS MEER large-diameter pipe press. *Proizvodstvo prokata*. 2012, no. 9, pp. 21–26. (In Russ.).
5. Shinkin V.N., Mokrousov V.I. Criterion of gas and oil pipelines’ tubes rupture in case of defect “rolled out scorch with scratch”. *Proizvodstvo prokata*. 2012, no. 12, pp. 19–24. (In Russ.).
6. Mukhin Yu.A., Mazur S.I., Bel’skii S.M., Shunin A.V. Hot rolling with reverse temperature wedge and stability of structure and mechanical properties of the rolled stripes. *Proizvodstvo prokata*. 2013, no. 11, pp. 15–18. (In Russ.).
7. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Modeling of the processes of expanding and hydraulic tests of large-diameter pipes for main pipelines. *Proizvodstvo prokata*. 2011, no. 10, pp. 12–19. (In Russ.).
8. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-bending press in the manufacture of large-diameter pipe. *Steel in Translation*. 2011, vol. 41, no. 6, pp. 528–531. (In Russ.).
9. Shinkin V.N., Kolikov A.P., Mokrousov V.I. Criterion of destruction of large-diameter pipes in case of unfusing of the welded seam and intrinsic pressure. *Proizvodstvo prokata*. 2012, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.).

Received October 14, 2014