

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЧЕРНОВЫХ ПРОХОДАХ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕДИ

Ю.Н. Логинов, А.Ю. Постыляков

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Целью работы является анализ напряженно-деформированного состояния при прокатке в черновой группе клетей непрерывного стана Mannesmann Demag Sack. Вычислительный эксперимент включал применение программного комплекса DEFORM, а в качестве способа решения применен метод конечных элементов. Проанализированы формоизменение заготовки, распределение степени и скорости деформации, а также продольных напряжений.

В четвертом проходе прокатки зоны повышенной степени деформации (до 1,00 и выше) расположены по дугам окружности, примыкающим к месту развала калибра. Наибольшая скорость деформации (до 145 с^{-1}) также достигается на входе в очаг деформации, непосредственно под валками.

Установлено, что во всех проходах черновой прокатки наибольшие деформации локализованы на выходе из очага деформации ближе к периферийным зонам. Наибольшие скорости деформации в каждом из исследованных проходов наблюдаются на входе в очаг деформации в приконтактных зонах. Наибольшие продольные растягивающие напряжения наблюдаются на входе и выходе из очага деформации во внеконтактных зонах. При этом выявлено возникновение на свободных поверхностях больших растягивающих напряжений при прокатке прямоугольной заготовки в овальном калибре, что может привести к раскрытию трещин, унаследованных от литейного передела.

Ключевые слова: сортовая прокатка; электротехническая медь; деформации; скорости деформации; напряжения.

Процесс производства медной катанки с применением технологии CONTIROD предусматривает получение непрерывно-литой заготовки из меди марки M001 на двухленточной литейной установке Hazelett [1], её горячую сортовую прокатку за 14 проходов на непрерывном стане Mannesmann Demag Sack, осветление, нанесение протекционно-покрытия и смотку готовой катанки в бухты [2].

Целью работы является анализ напряженно-деформированного состояния при прокатке в черновой группе клетей упомянутого выше стана. В качестве основного средства выполнения анализа был применен программный комплекс конечно-элементного моделирования DEFORM, который ранее применялся для анализа процесса сортовой прокатки в работе [3]. Реологические свойства в условиях назначенной пластической упрочняющей среды заданы кривыми сопротивления деформации меди ЕТР (с содержанием кислорода 220 ppm) [4]. Условия трения на контактной поверхности описаны законом трения Зибеля с переменным значением показателя трения, связанным с изменением скорости и температуры обработки, показаны в статье [5].

Прокатка непрерывно-литой медной заготовки прямоугольного поперечного сечения 120×70 мм в черновых проходах осуществляется с использованием прямоугольной заготовки и системы ящичных калибров в первых двух проходах и системы калибров овал-круг в третьем и четвертом проходах.

Подробная постановка задачи для случая прокатки в первом ящичном калибре с получением полосы 128×46 мм описана ранее в работах [6, 7].

На рис. 1, а приведена фотография недоката заготовки после первого прохода. На рис. 1, б представлен общий вид деформированной заготовки, иллюстрирующий распределение степени деформации. Наибольшую степень деформации, находящуюся в пределах 0,617–0,740, получают кромки и центральная часть полосы. Средняя степень деформации на поверхности полосы составляет 0,370–0,493.

На рис. 2, а представлена фотография недоката после второго прохода с получением раската размерами 70×53 мм, а на рис. 2, б–г приведены результаты расчета. Зоны повышенной степени деформации (до 0,86) локализованы в приконтактных областях очага деформации. Наибольшая скорость деформации (до 34 с^{-1}) достигается на входе в очаг деформации, непосредственно под валками. Наибольшие продольные растягивающие напряжения наблюдаются во внеконтактных зонах: на входе и на выходе из очага деформации, что не представляет опасности с позиции разрушения.

На рис. 3, а представлена фотография недоката после третьего прохода с получением полосы размерами 84×29 мм, а на рис. 3, б–г приведены результаты расчета. Зоны повышенной степени деформации (до 1,00 и выше) расположены на периферии калибра. Наибольшая скорость деформации (до 75 с^{-1}) также достигается на входе в очаг

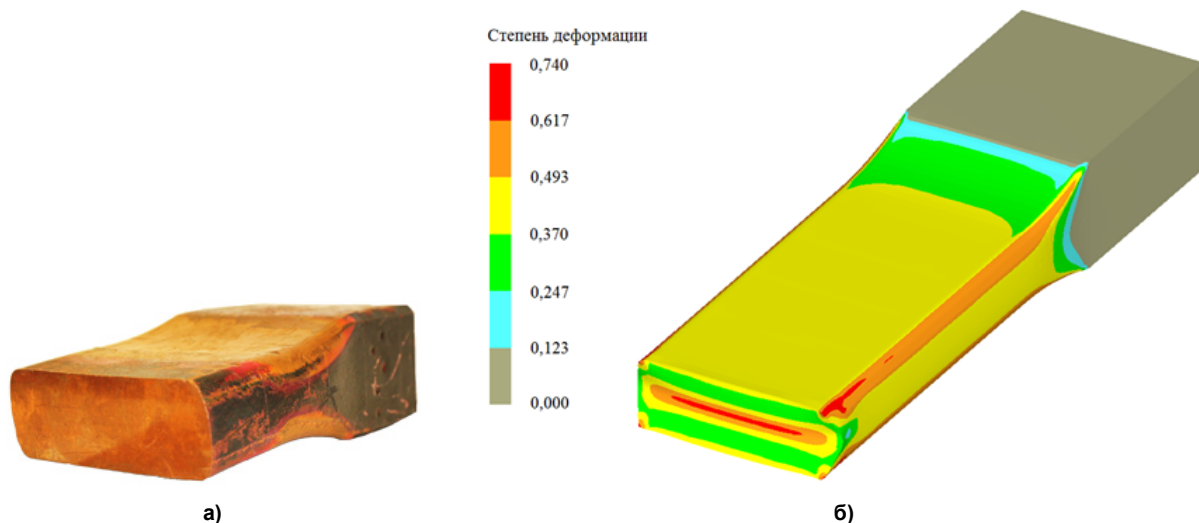


Рис. 1. Фотография недоката (а) и распределение степени деформации на общем виде деформированной заготовки (б) после первого прохода

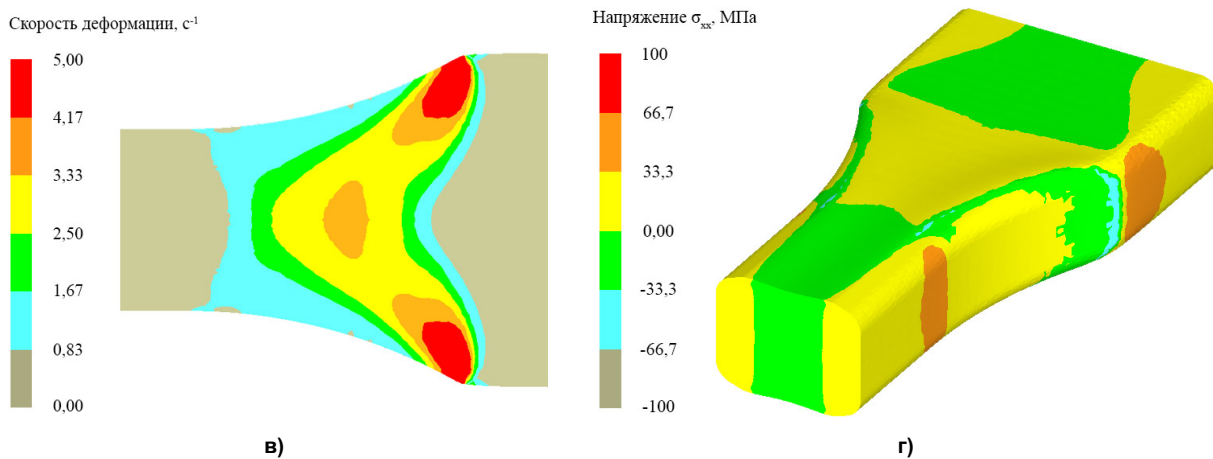
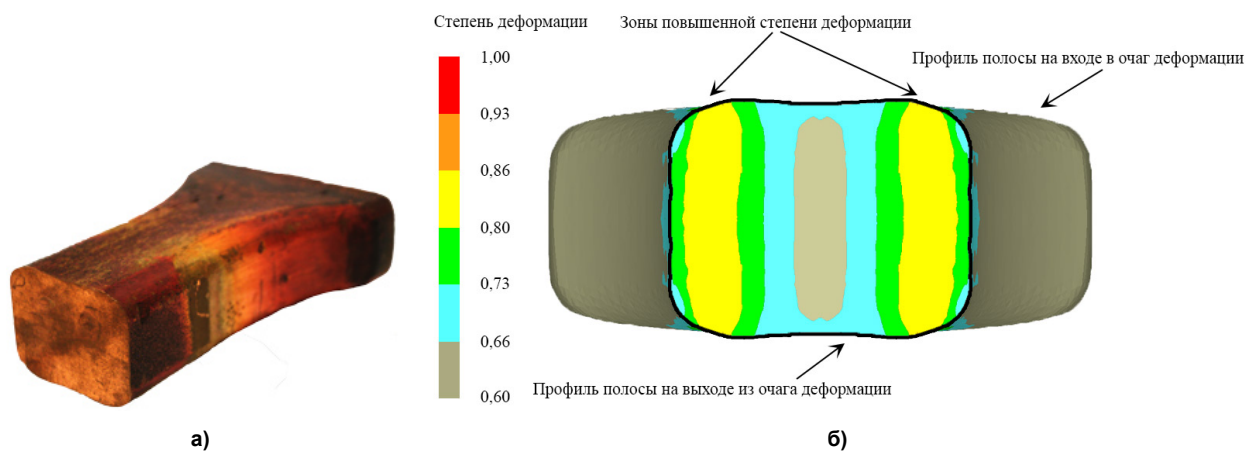


Рис. 2. Фотография недоката (а), распределение степени деформации на общем виде деформированной заготовки (б) после второго прохода, скоростей деформации (в) и продольного напряжения (г)

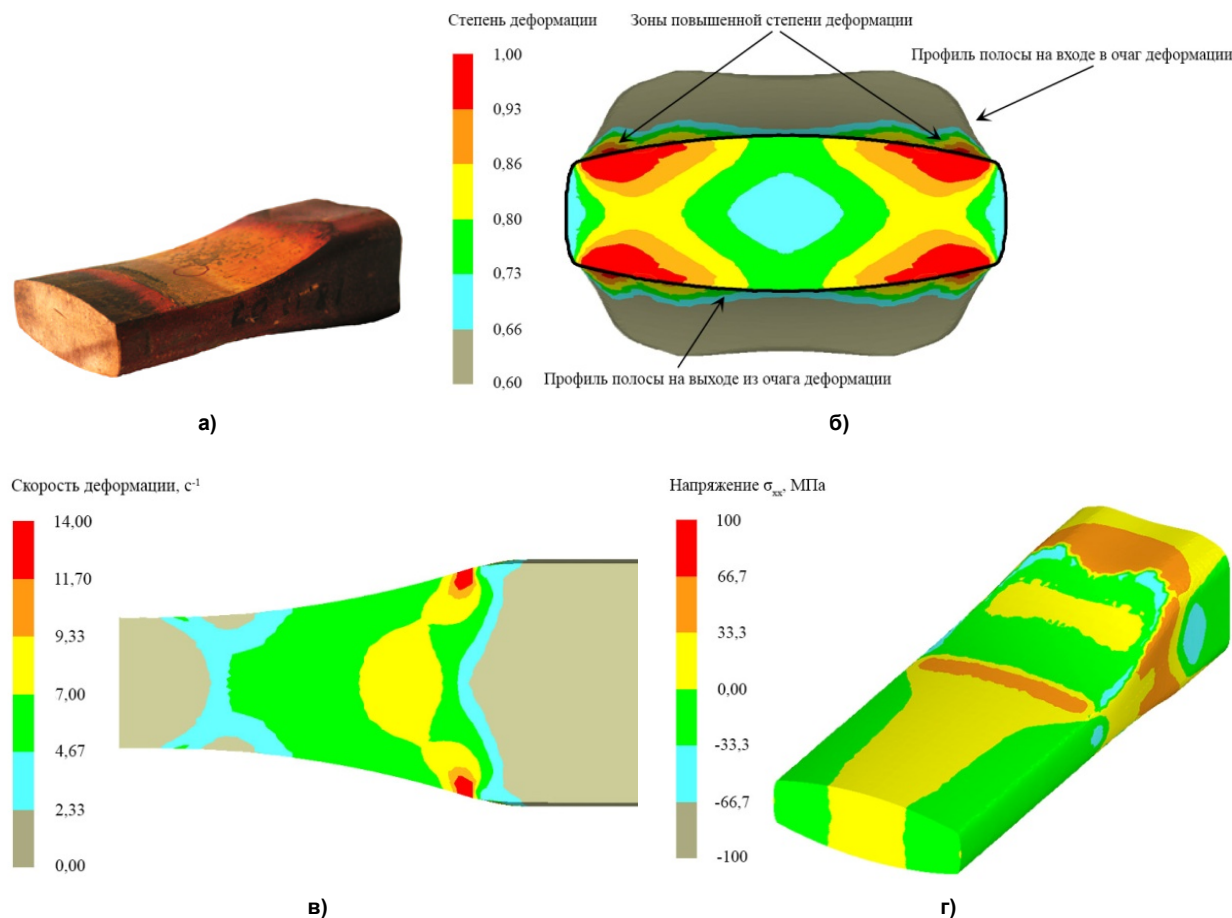


Рис. 3. Фотография недоката (а), распределение степени деформации на общем виде деформированной заготовки (б) после третьего прохода, скоростей деформации (в) и продольного напряжения (г)

деформации, непосредственно под валками. Наибольшие продольные растягивающие напряжения выявлены на входе и на выходе из очага деформации и на свободных боковых поверхностях заготовки, что представляет опасность с позиции разрушения, поскольку в этих же областях сосредоточены большие пластические деформации.

На рис. 4, а представлена фотография недоката после третьего прохода с получением круга диаметром 40 мм, а на рис. 4, б–г приведены результаты расчета. Зоны повышенной степени деформации (до 1,00 и выше) расположены по дугам окружности, примыкающим к месту развала калибра. Наибольшая скорость деформации (до 145 с^{-1}) также достигается на входе в очаг деформации, непосредственно под валками. Наибольшие продольные растягивающие напряжения выявлены на входе и на выходе из очага деформации и на свободных боковых поверхностях заготовки, что представляет опасность с позиции разрушения, поскольку в этих же областях сосредоточены большие пластические деформации. В работе [8] выявлена возможность возникновения пористых структур кислородосодержащей меди на стадии

литейного производства, что приводит к возникновению дефектов типа трещин на стадии прокатного производства. Для снижения возможности их раскрытия следует стремиться к минимизации растягивающих продольных напряжений [9].

Сравнение приведенных фотографий недокатов с формой конечно-элементных моделей в каждом из проходов показывает их хорошую сходимость.

Таким образом, расчетами установлено, что во всех проходах черновой прокатки наибольшие деформации локализованы на выходе из очага деформации ближе к периферийным зонам. Наибольшие скорости деформации в каждом из исследованных проходов наблюдаются на входе в очаг деформации в приконтактных зонах. Наибольшие продольные растягивающие напряжения наблюдаются на входе и выходе из очага деформации во внеконтактных зонах. При этом выявлено возникновение на свободных поверхностях больших растягивающих напряжений при прокатке прямоугольной заготовки в овальном калибре (3-й проход), что может привести к раскрытию трещин, унаследованных от литейного передела.

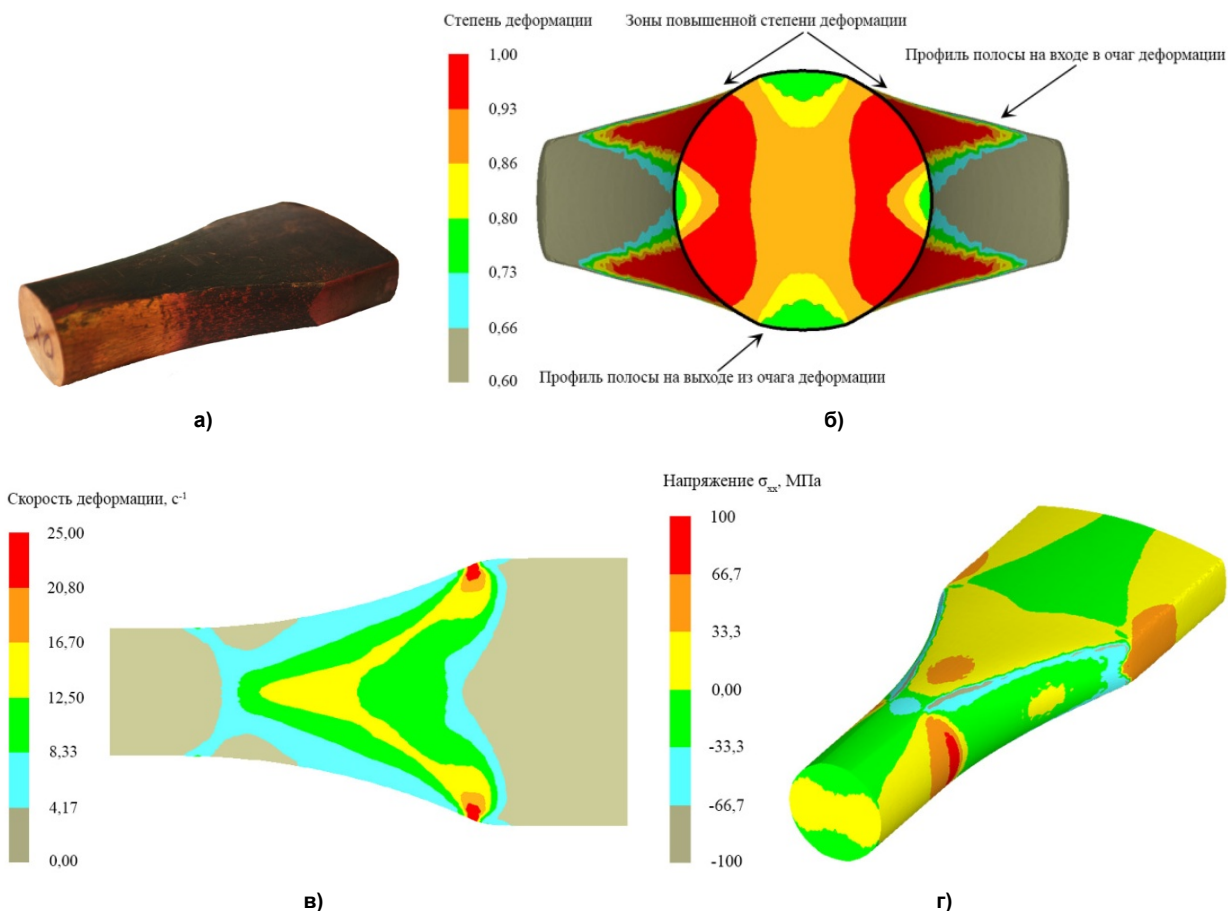


Рис. 4. Фотография недоката (а), распределение степени деформации на общем виде деформированной заготовки (б) после четвертого прохода, скоростей деформации (в) и продольного напряжения (г)

Литература

1. Влияние направления кристаллизации на анизотропию пластического течения непрерывно-литой меди / Ю.Н. Логоинов, Р.К. Мысик, А.В. Титов, В.А. Романов // *Литейщик России*. – 2008. – № 10. – С. 36–38.

2. Логоинов, Ю.Н. Формоизменение и сопротивление деформации анизотропной непрерывно-литой меди / Ю.Н. Логоинов, А.Ю. Зуев // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2011. – № 1. – С. 32–37.

3. Кинзин, Д.И. Использование программного комплекса DEFORM-3D при моделировании процессов сортовой прокатки / Д.И. Кинзин, С.С. Рычков // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – 2011. – № 2. – С. 45–48.

4. Prasad Y.V.R.K., Sasidhara S. *Hot Working Guide: A Compendium of Processing Maps*. – Ohio: ASM International, 1997. – 545 p.

5. Логоинов, Ю.Н. Исследование контактного трения при непрерывной горячей прокатке катанки из электротехнической меди / Ю.Н. Логоинов, Ю.В. Инатович, А.Ю. Зуев // *Производство проката*. – 2010. – № 2. – С. 14–18.

6. Постыляков, А.Ю. Расчет деформированного состояния медной полосы при горячей сортовой прокатке / А.Ю. Постыляков, Ю.Н. Логоинов // *Пластическая деформация металлов: науч. тр. X междунар. науч.-техн. конф.* – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – С. 91–94.

7. Постыляков, А.Ю. Исследование влияния размера выпуска калибра на деформированное состояние полосы методом МКЭ-моделирования / А.Ю. Постыляков, Ю.Н. Логоинов // *New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering: материалы XV междунар. науч. конф.* – Ченстохова: Политехника Ченстоховска, 2014. – С. 276–279.

8. Неоднородность структуры непрерывно-литой меди / Ю.Н. Логоинов, А.Г. Илларионов, С.Л. Демаков и др. // *Литейщик России*. – 2011. – № 11. – С. 28–32.

9. Логоинов, Ю.Н. Поведение при прокатке дефекта типа поры, примыкающей к поверхности полосы / Ю.Н. Логоинов, К.В. Еремеева // *Производство проката*. – 2008. – № 10. – С. 2–6.

Логинов Юрий Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; j.n.loginov@urfu.ru.

Постыляков Александр Юрьевич, аспирант кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; a.i.postyliakov@urfu.ru.

Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.

DOI: 10.14529/met160210

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE IN ROUGH CONTINUOUS ROLLING OF ELECTRICAL COPPER

Yu.N. Loginov, j.n.loginov@urfu.ru,

A.Yu. Postylyakov, a.i.postyliakov@urfu.ru

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

The aim of the work is to analyze the stress-strain state in rough rolling in Mannesmann Demag Sack continuous mill. Computer experiments involved the use of DEFORM software package, and the finite element method was used to solve the problem. The change of the billet shape, distribution of the strain degree, strain rate and longitudinal stresses are analyzed.

In the fourth rolling pass, the zones of increased strain (up to 1.00 and above) are arranged along the circle arcs adjacent to the roll gap. The highest strain rate (up to 145 s^{-1}) is also achieved at the inlet of the deformation zone directly beneath the rolls.

It is established that in all rough passes the greatest strain is localized at the outlet of the roll gap near the peripheral zones. The highest strain rate in each investigated pass is observed in contact areas at the inlet of the deformation zone. The largest longitudinal tensile stresses arise at the inlet and outlet of the deformation zone in non-contact areas. At the same time emergence of a large tensile stress on free surfaces during rolling of a rectangular billet in an oval caliber is revealed which can lead to the disclosure of cracks inherited from the foundry process.

Keywords: bar rolling; electrical copper; deformation; strain rate; stress.

References

1. Loginov Yu.N., Mysik R.K., Titov A.V., Romanov V.A. [Influence the Direction of Crystallization on the Anisotropy of Plastic Flow of Continuously Cast Copper]. *Liteyshchik Rossii*, 2008, no. 10, pp. 36–38. (in Russ.)
2. Loginov Yu.N., Zuev A.Yu. [Forming and Deformation Resistance of Anisotropic Continuously Cast Copper]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2011, no. 1, pp. 32–37. (in Russ.)
3. Kinzin D.I., Rychkov S.S. [Shape Rolling Processes Modelling Using DEFORM-3D Software Environment]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2011, no. 2, pp. 45–48. (in Russ.)
4. Prasad Y.V.R.K., Sasidhara S. *Hot Working Guide: A Compendium of Processing Maps*. Ohio, ASM International, 1997. 545 p.
5. Loginov Yu.N., Inatovich Yu.V., Zuev A.Yu. [Investigation of Contact Friction During Hot Continuous Rolling of Electrical Copper Wire Rod]. *Proizvodstvo prokata*, 2010, no. 2, pp. 14–18. (in Russ.)
6. Postylyakov A.Yu., Loginov Yu.N. [Strain State Calculation of Copper Strip During Hot Rolling]. *Plasticheskaya deformatsiya metallov* [Plastic Deformation of Metals]. Dnepropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2014, pp. 91–94. (in Russ.)
7. Postylyakov A.Yu., Loginov Yu.N. [Study of the Influence of Gage Size Geometry on Bar Strain State Using Finite Element Method]. *New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering and Production Engineering*. Częstochowa, Politechnika Częstochowska Publ., 2014, pp. 276–279. (in Russ.)
8. Loginov Yu.N., Illarionov A.G., Demakov S.L., Ivanova M.A. Mysik R.K., Zuev A.Yu. [Structure Heterogeneity of Continuously Cast Copper]. *Liteyshchik Rossii*, 2011, no. 11, pp. 28–32. (in Russ.)

9. Loginov Yu.N., Eremeeva K.V. [Behaviour of Pore-Type Rolling Defects Adjacent to the Strip Surface]. *Proizvodstvo prokata*, 2008, no. 10, pp. 2–6. (in Russ.)

Received 6 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Логинов, Ю.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния в черновых проходах непрерывной прокатки электротехнической меди / Ю.Н. Логинов, А.Ю. Постыляков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 68–73. DOI: 10.14529/met160210

FOR CITATION

Loginov Yu.N., Postylyakov A.Yu. Analysis of Stress-Strain State in Rough Continuous Rolling of Electrical Copper. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 68–73. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160210
