

УДК 621.75.06-52

*Е. Н. СМІРНОВ, В. А. СКЛЯР, Л. Ф. УРАЗОВА, Р. Е. ПИВОВАРОВ***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МАКРОСТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ**

Розроблено математичну модель процесу прокатки безперервнолитої заготовки з дефектами макроструктури на гладкій бочці і в калібрах. В якості граничних умов задаються швидкості обертання валків, обмеження ступенів свободи заготовки і валків, а також коефіцієнт тертя на поверхні контакту валок-заготовка. Для гарячої прокатки допустимо розглядати прокатні валки як жорстке тверде тіло, що не деформується. Для матеріалу заготовки використовується пружно-пластична модель поведінки середовища. Розглядалось два випадки: бескалібрової прокатки на гладкій бочці і прокатки в прямокутному калібрі. Матеріал валків – сталь, поверхня гладка. Діаметр валків в обох випадках становив 600 мм. В якості вихідної заготовки була обрана безперервнолитою заготовкою перетином 150x150 мм, довжина заготовки становила 500 мм для того щоб виключити вплив зовнішніх зон. Центральна пористість моделювалася наскрізним отвором діаметром 4 мм, 6 мм і 8 мм. Зміна температури від контакту з валками і процесу деформації не враховувалися. В якості умов на контакті задавався коефіцієнт тертя рівний 0,4. Швидкість прокатки – 0,1 м/с. Величина абсолютного обтиску – 30 мм, 40 мм і 50 мм. На прикладі прокатки в першому проході обтискової групи стана проведений порівняльний аналіз бескалібрової прокатки і прокатки в калібрах. Показано що прокатка на гладкій бочці має потенціал для використання в разі прокатки безперервнолитої заготовки з дефектами макроструктури. Зроблено оцінку впливу основних параметрів прокатки: абсолютне обтиснення і температура на «заліковування» дефектів макроструктури.

**Ключові слова:** прокатка; дефекти; безперервнолитою заготовка; математичне моделювання; обтисна кліть, калібр.

Разработана математическая модель процесса прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектами макроструктуры на гладкой бочке и в калибрах. В качестве граничных условий задаются скорости вращения валков, ограничения степеней свободы заготовки и валков, а также коэффициент трения на поверхности контакта валок-заготовка. Для горячей прокатки допустимо рассматривать прокатные валки как жесткое недеформируемое твердое тело. Для материала заготовки используется упруго-пластическая модель поведения среды. Рассматривалось два случая: бескалибровая прокатка на гладкой бочке и прокатка в прямоугольном калибре. Материал валков – сталь, поверхность гладкая. Диаметр валков в обоих случаях составлял 600 мм. В качестве исходной заготовки была выбрана непрерывнолитая заготовка сечением 150x150 мм, длина заготовки составляла 500 мм для того чтобы исключить влияние внешних зон. Центральная пористость моделировалась сквозным отверстием диаметром 4 мм, 6 мм и 8 мм. Изменение температуры от контакта с валками и процесса деформации не учитывались. В качестве условий на контакте задавался коэффициент трения равный 0,4. Скорость прокатки – 0,1 м/с. Величина абсолютного обжатия – 30 мм, 40 мм и 50 мм. На примере прокатки в первом проходе обжимной группы стана произведен сравнительный анализ бескалибровой прокатки и прокатки в калибрах. Показано что прокатка на гладкой бочке имеет потенциал для использования в случае прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектами макроструктуры. Произведена оценка влияния основных параметров прокатки: абсолютное обжатие и температура на «залечивание» дефектов макроструктуры.

**Ключевые слова:** прокатка; дефекты; непрерывнолитая заготовка; математическое моделирование; обжимная клеть, калибр.

A mathematical model of rolling process of continuous casting defects macrostructure on the smooth barrel in caliber. The boundary conditions are set rotational speed of the rolls, the degrees of freedom limits the workpiece and rolls, and the coefficient of friction on the contact surface of the roll-billet. For hot rolling mill rolls is permissible to consider how the rigid solid. For workpiece material used elastic-plastic model of behavior of the environment. Material rolls – steel, the surface is smooth. The diameter of the rollers in both cases was 600 mm. The mathematical model of process rolling in smooth rolls and in the calibers of billets with defects of the macrostructure is developed. The model takes into account the main parameters of the process, the presence of defects in the metal of the billets and can be used to model the behavior of defects of a macrostructure during the rolling in all stands of the rolling mill. For example rolling in the first pass, the crimp mill group made a comparative analysis non-caliber rolling and rolling in calibers. It is shown that rolling in smooth rolls has the potential for use in the case of a rolling continuous cast billets with defects of the macrostructure. The analysis of process of rolling billets with a defect "axial porosity" on smooth rolls in the first pass in crimp mill group is made, the influence of main rolling parameters: absolute reducing and the temperature to "heal" defects of the macrostructure is studied.

**Keywords:** rolling; defects; concast billet; mathematical modeling; breakdown mill, caliber.

**Введение.** В условиях постоянного инновационно-технологического развития и глобализации рынков перед предприятиями, производителями металлопроката, остро стоит проблема повышения эффективности производства и обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции, востребованного качества.

Использование сортовой непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) малого сечения выявило целый ряд проблем, которые ранее не проявлялись при использовании горячекатаной. В наибольшей степени это характерно для случаев производства сортового проката из качественных

конструкционных и рессорно-пружинных марок сталей.

**Постановка задачи.** Дефекты НЛЗ формируются в процессе затвердевания и могут развиваться как внутри литой заготовки, так и на внешней поверхности. В большинстве случаев дефекты оказывают негативное влияние на производство, вызывая отбраковку или увеличение себестоимости производства в результате необходимости приведения заготовок в соответствие с требуемыми техническими условиями перед их прокаткой.

В зависимости от причин образования дефекты можно разделить на две группы [1]:

© Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Л. Ф. Уразова, Р. Е. Пивоваров, 2016

– дефекты, специфичные для определенного ручья (встречаются только на одном ручье из-за проблем оборудования или его настроек, например, из-за дефектов кристаллизатора, нарушений вторичного охлаждения, неправильной настройки тянущих и правящих валков и др.);

– дефекты, специфичные для определенной плавки (связаны со свойствами жидкой стали и вызваны перегревом, наличием примесей, раскислением на этапе внепечной обработки стали).

Применительно к условиям производства металлопроката из НЛЗ, полученной в условиях высокоскоростных сортовых МНЛЗ с малым радиусом изгиба, усредненные цифры брака по видам имеют вид: нарушения геометрии НЛЗ – 36,4 %, дефекты макроструктуры – 17,2 %, трещины 31,9 %, шлаковые включения – 4,5 % [2]. На многих темплатах наблюдаются осевая пористость, ликвационные полосы и трещины, развитая столбчатая структура и асимметрия зон слитка.

В этой связи, вопросы, связанные с изучением поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитой заготовки (усадочная раковина, газовые пузыри, осевая пористость) в процессе деформирования, имеют актуальный характер.

Данная работа выполнена в рамках гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям социальноэкономического развития Белгородской области за счет средств областного бюджета Белгородской области, номер проекта – 2015.01.5.

**Состояние вопроса исследования.** Для исследования поведения данных дефектов в последнее время широкое распространение получили методы математического (компьютерного) моделирования с использованием программных комплексов типа ANSYS, DEFORM, QFORM, ПЛАСТ и т.д. в которых моделирование осуществляется с помощью метода конечных элементов. При этом многообразие исследуемых процессов требует в каждом конкретном случае свой подход к методике моделирования.

Так в работе [3] представлены результаты моделирования процессов резки и винтовой прокатки сплошных заготовок в программном комплексе Deform-3D. Изучалось влияние на глубину утяжины диаметра заготовки, угла подачи, калибровки валков обжимного стана, а также исходной формы концов заготовок.

В работе [4] проводилось математическое моделирование процесса винтовой прошивки заготовок большого диаметра. Целью работы было исследование с помощью программного комплекса Deform-3D таких параметров, как напряженно-деформованное состояние

металла, накопленная деформация по объему заготовки, характер развития деформации, энергосиловые параметры, время прошивки и т.д.

Представляет большой интерес работа [5] в которой проводилось математическое моделирование процесса деформации металла в калибрах различной формы. В ходе исследования анализировалось влияние напряженно-деформованного состояния на течение деформованного металла в различных зонах сортовых калибров в зависимости от их формы. Для проведения моделирования также использовался программный комплекс Deform-3D.

В работе [6] исследовались задачи проектирования калибровки, с целью снижения потребления энергоресурсов и уменьшения вероятности образования дефектов.

**Цель работы.** Таким образом, целью работы была разработка математической модели и проведение исследования особенностей поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитого металла в процессе прокатки.

**Методика моделирования.** Для математического моделирования поведения дефектов макроструктуры во время прокатки был использован программный комплекс компьютерного моделирования с помощью метода конечных элементов Deform-3D.

Процесс прокатки является достаточно сложным для моделирования так как совмещает в себе вращательное движения валков и поступательное движение заготовки. Для получения корректных результатов необходимо точное позиционирование заготовки относительно прокатных валков и учет условий трения на контакте [7]. Также необходимо обеспечить захват заготовки валками.

В качестве граничных условий задаются скорости вращения валков, ограничения степеней свободы заготовки и валков, а также коэффициент трения на поверхности контакта валок-заготовка.

Для горячей прокатки допустимо рассматривать прокатные валки как жесткое недеформируемое твердое тело. Для материала заготовки используется упруго-пластическая модель поведения среды.

Рассматривалось два случая: бескалибровая прокатка на гладкой бочке и прокатка в прямоугольном калибре. Материал валков – сталь, поверхность гладкая. Диаметр валков в обоих случаях составлял 600 мм.

В качестве исходной заготовки была выбрана непрерывнолитая заготовка сечением 150x150 мм, длина заготовки составляла 500 мм для того чтобы исключить влияние внешних зон. Центральная

пористість моделювалась сквозним отверстием диаметром 4, 6 и 8 мм.

Внешний вид модели после импорта в программный комплекс Deform-3D и осуществления позиционирования заготовки относительно валков приведен на рис. 1. Геометрическая модель заготовки разбивалась на 70000 тетраэдральных конечных элементов. В качестве модели поведения материала НЛЗ была выбрана упруго-пластическая модель. В качестве материала была выбрана сталь 45.

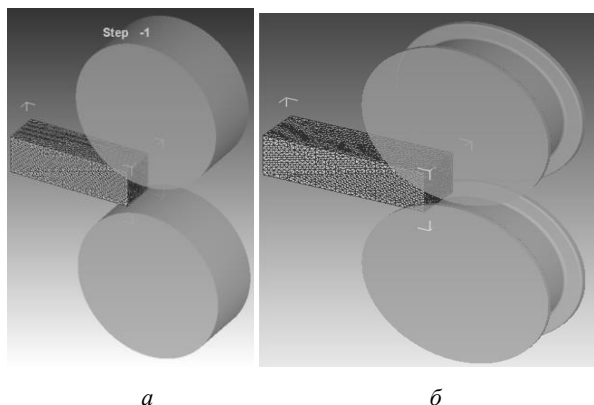


Рис. 1 – Геометрическая модель прокатки:  
а – в гладких валках; б – прямоугольном калибре

Температура прокатки заготовки принималась равной по всему сечению заготовки и составляла 1000, 1100 и 1200 °С. Изменение температуры от контакта с валками и процесса деформации не учитывались. В качестве условий на контакте задавался коэффициент трения равный 0,4. Скорость прокатки – 0,1 м/с. Величина абсолютного обжатия – 30, 40 и 50 мм. Для обеспечения захвата заготовки валками прикладывалось кратковременное заталкивающее усилие к торцу заготовки [8].

**Анализ результатов исследования.** В качестве выходных параметров для анализа процесса прокатки НЛЗ с дефектами макроструктуры в гладких валках были выбраны: абсолютная высотная деформация  $\Delta h_i$ , интенсивность деформации  $\varepsilon_i$ , интенсивность напряжений  $\sigma_i$  и степень накопленной деформации  $\Lambda$ . Считывание указанных параметров из компьютерной модели производилось для 4 точек, расположенных по высоте заготовки: P1 – обжимаемая грань заготовки, P2 –  $\frac{1}{4}$  высоты заготовки, P3 – начало зоны осевой пористости; P4 – ось заготовки. Оценка эффективности процесса выкатки осевой пористости оценивалась с точки зрения максимального сокращения ее размеров и создания благоприятного напряженно-деформированного состояния.

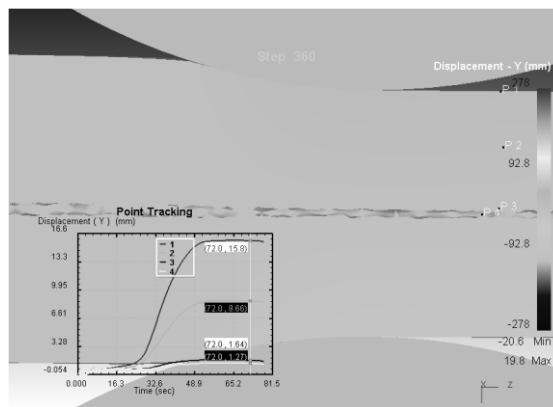
Рассмотрим сравнительный анализ процесса прокатки в калибрах и на гладкой бочке для

следующего сочетания факторов: температура прокатки  $T_{II}=1200$  °С, абсолютное обжатие  $\Delta h=30$  мм.

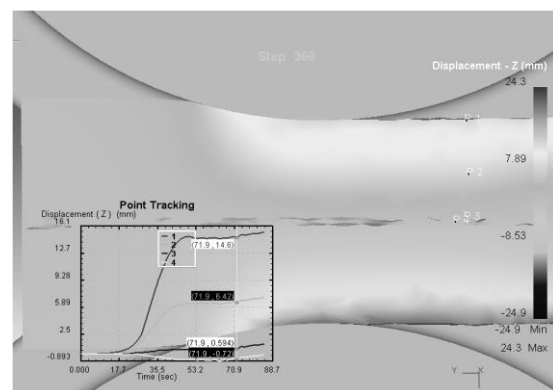
Сравнительный анализ характера проникновения деформации в осевую зону заготовки показан на рис. 2.

Данные расчетов свидетельствуют, что проникновение высотной деформации в осевую зону заготовки, а, следовательно, и сокращение размеров осевой пористости больше в случае прокатки на гладкой бочке: 1,6 мм против 0,6 мм. Аналогичный эффект наблюдался и в случае установки температуры прокатки на уровне 1000 и 1100 °С. Что позволяет сделать вывод о предпочтительном использовании прокатки на гладкой бочке в первых проходах обжимной группы прокатного стана.

Распределение интенсивности напряжений, показано на рис. 3. Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что уровень возникающих напряжений при прокатке на гладкой бочке в 1,1...1,3 раза меньше чем при прокатке в калибрах.

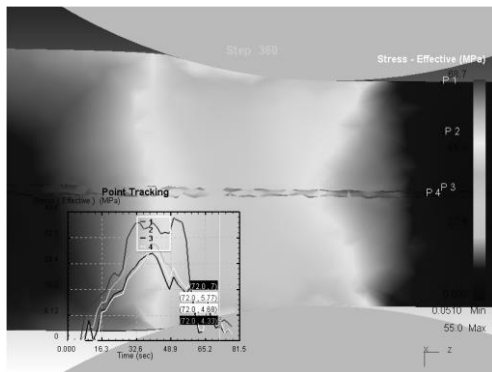


а

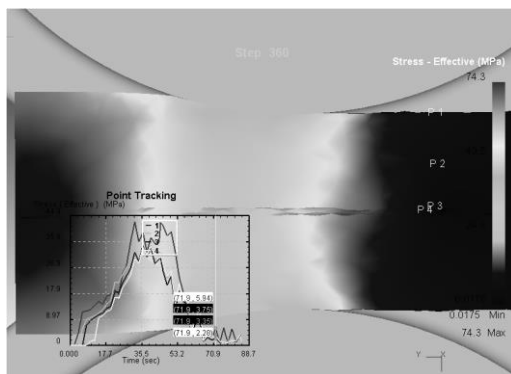


б

Рис. 2 – Распределение абсолютной деформации по высоте раската ( $T_{II}=1200$  °С,  $\Delta h=30$  мм) при прокатке:  
а – на гладкой бочке; б – в прямоугольном калибре



a



b

Рис. 3 – Распределение интенсивности напряжений по высоте раската ( $T_p=1200\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta h=30\text{ мм}$ ) при прокатке:  
а – на гладкой бочке; б – в прямоугольном калибре

Таким образом, в результате предварительных расчетов можно сделать предположение о имеющемся потенциале бескалибровой прокатки в случае использования заготовок с дефектами макроструктуры, так как такая прокатка характеризуется

большим проникновением высотной деформации в осевую зону слитка и более благоприятным напряженно-деформированным состоянием.

С учетом вышесказанного для первичного исследования поведения дефектов макроструктуры при прокатке был выбран случай прокатки на гладкой бочке. Результаты расчетов приведены на рис. 4.

В результате анализа полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что с точки зрения максимального сокращения размеров осевой пористости наиболее благоприятными будут температура прокатки  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  и абсолютное обжатие  $50\text{ мм}$ . В этом случае размеры осевой пористости сокращаются до минимального и будут устранены в течение последующих проходов. В то же время, как, например, при абсолютном обжатии  $30\text{ мм}$ , наиболее благоприятной температурой прокатки является  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . Таким образом о наиболее рациональном сочетании данных факторов можно говорить в случае дополнительного анализа возможностей оборудования и экономических факторов.

Анализ влияния факторов прокатки на напряженное состояние свидетельствует, что большее влияние на величину возникающих напряжений оказывает температура прокатки, в то время как влияние абсолютного обжатия меньше. В любом случае меньший уровень напряжений наблюдается при превышении температуры прокатки до  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  и снижении абсолютного обжатия до  $30\text{ мм}$ .

Аналогичная картина наблюдается и на зависимостях накопленной степени деформации, однако здесь влияние температуры меньше чем влияние абсолютного обжатия.

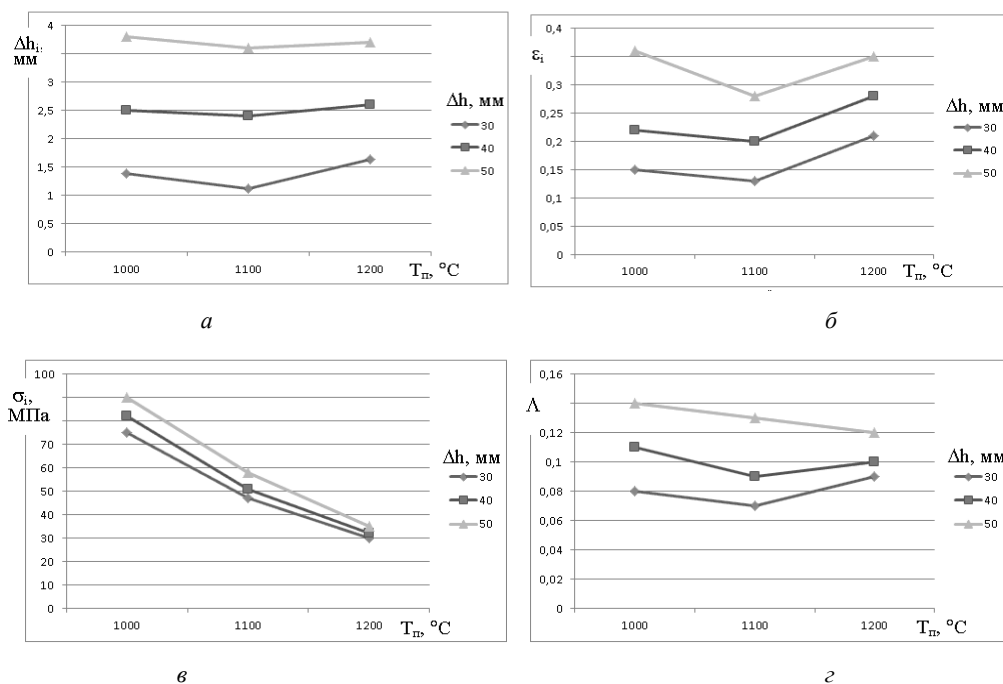


Рис. 4 – Зависимости от величины абсолютного обжатия и температуры прокатки:

а – проникновения высотной деформации; б – интенсивности деформации; в – интенсивности напряжений; г – накопленной степени деформации

**Выводы.** Разработана математическая модель процесса прокатки НЛЗ с дефектами макроструктуры на гладкой бочке и в калибрах. На примере прокатки в первом проходе обжимной группы стана произведен сравнительный анализ бескалибровой прокатки и прокатки в калибрах. Показано что прокатка на гладкой бочке имеет потенциал для использования в случае прокатки НЛЗ с дефектами макроструктуры. Произведена оценка влияния основных параметров прокатки: абсолютное обжатие и температура на «залечивание» дефектов макроструктуры.

#### Список литературы

1. Ботников С. А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла / С. А. Ботников. – Волгоград, 2011. – 97 с.
2. Качество непрерывнолитых заготовок / П. О. Быков, Г. М. Никитин, Р. И. Сержанов [и др.] // Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана», 6–7 декабря 2007 г. – Караганда, 2007. – С. 379–383.
3. Исследование нестационарной стадии винтовой прокатки непрерывнолитых заготовок на трехвалковом обжимном стане / Ю. В. Бодров, Д. В. Овчинников, В. Я. Устьянцев, А. А. Богатов // Труды XVII международной научно-технической конференции «ТРУБЫ – 2009». – 2009. – С. 287–288.
4. Романенко В. П. Моделирование процесса винтовой прошивки заготовок большого диаметра в двухвалковом стане методом конечных элементов / В. П. Романенко, Д. В. Сизов // Известия

высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2011. – С. 36–40.

5. Кадыков В. Н. Моделирование процессов формоизменения дефектов при прокатке в калибрах / В. Н. Кадыков, А. А. Уманский, Ю. А. Мартянов // Металлургия: Технологии, управление, инновации, качество. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2011. – С. 146–151.
6. Кинзин Р. И. Использование программного комплекса DEFORM-3D при моделировании процессов сортовой прокатки / Р. И. Кинзин, С. С. Рычков // Вестник МГТУ им. Носова. – 2011. – С. 45–48.
7. Скляр В. А. Конечно-разностные методы в обработке металлов давлением. Конспект лекций для студентов специальности 22.04.02. / В. А. Скляр, Е. Н. Смирнов. – Старый Оскол, 2016. – 68 с.
8. Шляпугин А. Д. Моделирование и оптимизация технологических процессов ОМД / Д. А. Шляпугин. – Самара, 2010. – 46 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Botnikov S. A. Sovremennyy atlas defektov nepreryvnolitoi zagotovki i prichiny vznikhoveniya proryvov kristallizuyushcheysoy korochki metalla [Modern atlas of defects billets and causes breakouts of crystallized crust metal]. Volgograd, 2011. 97 p.
2. Bykov P. O., Nikitin G. M., Serzhanov R. I. et al. Kachestvo nepreryvnolitykh zagotovok [The quality of continuous cast billets] Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa Kazakhstana" [Proceedings of the International scientific-practical conference "Actual problems of mining and metallurgical complex of Kazakhstan"]. Karaganda, 2007, pp. 379–383.
3. Bodrov Yu. V., Ovchinnikov D. V., Ust'yantsev B. JI., Bogatov A. A. Issledovanie nestatsionarnoy stadii vintovoy

- prokatki nepreryvnolytykh zagotovok na trekhvalkovom obzhimnom stane [Study of transient stages helical rolling continuously cast billets on a three-roll mill] // Trudy XVII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Proceedings of the XVII international scientific-technical conference]. 2009, pp. 287–288.
- Romanenko V. P., Sizov D. V. Modelirovanie protsessov vintovoy proshivki zagotovok bol'shogo diametra v dvukhvalkovom stane metodom konechnykh elementov [Modeling of the process of the firmware screw workpieces of a large diameter two-roll mill in the mill by finite element method] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya. [Izvestiya. Ferrous Metallurgy]. 2011, pp. 36–40.
  - Kadykov V. N., Umanskiy A. A., Mart'yanov Yu. A. Modelirovanie protsessov formoizmeneniya defektov pri prokatke v kalibrakh [Simulation of forming defects during rolling in calibers] Metallurgiya: Tekhnologii, upravlenie, innovatsii, kachestvo. Sbornik trudov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Metallurgy: Technology, management, innovation, quality. Proceedings of all-Russian scientific-practical conference.]. Novokuznetsk, 2011, pp. 146–151.
  - Kinzin R. I., Rychkov S. S. Ispol'zovanie programmno kompleksa DEFORM-3D pri modelirovanii protsessov sortovoy prokatki [The use of program complex DEFORM-3D in the modeling of processes of long steel rolling]. Vestnik MGTU im. Nosova, 2011, pp. 45–48.
  - Sklyar V. A., Smirnov E. N. Konechno-raznostnye metody v OMD. Konspekt lektsiy dlya studentov spetsial'nosti 22.04.02 [Finite-difference methods in metal forming. The abstract of lectures for students majoring 22.04.02.]. Staryy Oskol, 2016, 68 p.
  - Shlyapugin A. D. Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov OMD [Modeling and optimization of technological processes of metal forming]. Samara, 2010, 46 p.

Поступила (received) 11.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Математическое моделирование поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитого металла в процессе прокатки/ Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Л. Ф. Уразова, Р. Е. Пивоваров** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 41–47. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671

**Математическое моделирование поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитого металла в процессе прокатки/ Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Л. Ф. Уразова, Р. Е. Пивоваров** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 41–47. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671

**Mathematical modeling of the behavior of defects macrostructure of the continuous cast metal in the rolling process/ Y. N. Smyrnov, V. A. Skliar, L. F. Urazova, R. Y. Pivovarov** // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 38 (1210). – P. 41–47. – Bibliogr.: 8 – ISSN 2519-2671

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Смирнов Евгений Николаевич** – доктор технических наук, профессор, Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», профессор, тел.: +7(980) 388-74-89; e-mail: en\_smirnov@i.ua.

**Смирнов Євген Миколайович** – доктор технічних наук, професор, Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філія) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», професор, тел.: +7(980) 388-74-89; e-mail: en\_smirnov@i.ua.

**Smyrnov Yevgen** – Dr. of Engineering Science, Professor, Stary Oskol Technological Institute. A. A. Ugarov (Branch) Of Federal State Autonomous Educational Institution Of Higher Professional Education "National Research Technological University "MISIS", Professor, tel.: +7(980) 388-74-89; e-mail: en\_smirnov@i.ua.

**Скляр Виталий Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», доцент, тел.: +7(980) 387-17-24; e-mail: konfor1@yandex.ru.

**Скляр Віталій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філія) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», доцент, тел.: +7(980) 387-17-24; e-mail: konfor1@yandex.ru.

**Skliar Vitalii** – PhD, docent, Sary Oskol Technological Institute. A. A. Ugarov (Branch) Of Federal State Autonomous Educational Institution Of Higher Professional Education "National Research Technological University "MISIS", Associate professor, tel.: +7(980) 387-17-24; e-mail: konfor1@yandex.ru.

**Уразова Людмила Федоровна** – Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філіал) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», старший преподаватель.

**Уразова Людмила Федорівна** – Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філія) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», старший викладач.

**Urazova Lyudmila Fedorovna** – Sary Oskol Technological Institute. A. A. Ugarov (Branch) Of Federal State Autonomous Educational Institution Of Higher Professional Education "National Research Technological University "MISIS", senior lecturer.

**Пивоваров Роман Евгеньевич** – Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філіал) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», аспірант.

**Пивоваров Роман Євгенович** – Старооскольський технологічний інститут ім. А. А. Угарова (філія) федерального державного автономного освітнього закладу вищої освіти «Національний дослідницький технологічний університет «МІСіС», аспірант.

**Pivovarov Roman Evgenievich** – Sary Oskol Technological Institute. A. A. Ugarov (Branch) Of Federal State Autonomous Educational Institution Of Higher Professional Education "National Research Technological University "MISIS", PhD student.