

УДК 621.75.06-52

Е. Н. СМІРНОВ, В. А. СКЛЯР, В. А. БЕЛЕВИТИН**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ КВАДРАТНОГО ПОДКАТА
В ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРОКАТКЕ**

Представлені результати дослідження особливостей формозміни бічної поверхні квадратного підката в овалному калібрі при прокатці в проміжній групі клітей безперервного сортового стану. Визначена форма бічної поверхні розкату і енергосилові умови прокатки стосовно діапазону величин параметра l_d/h_{cp} і температур прокатки, що використовуються на типовому сортовому стані. Показано, що стосовно до умов низькотемпературної прокатки процес необхідно вести при значеннях l_d/h_{cp} що не перевищують 0,981.

Ключові слова: Низькотемпературна прокатка, сортовий стан, формозміння, деформація, овальний калібр, енергосилові параметри, енергоефективність.

Представлены результаты исследования особенностей формоизменения боковой поверхности квадратного подката в овальном калибре при прокатке в промежуточной группе клетей непрерывного сортового стана. Определена форма боковой поверхности раската и энергосиловые условия прокатки применительно к диапазону величин параметра l_d/h_{cp} и температур прокатки, использующихся на типовом сортовом стане. Показано, что применительно к условиям низкотемпературной прокатки процесс необходимо вести при значении l_d/h_{cp} не превышающих 0,981.

Ключевые слова: Низкотемпературная прокатка, сортовой стан, формоизменение, деформация, овальний калибр, энергосиловые параметры, энергоэффективность.

The transition to modern energy-saving technologies (to which low-temperature rolling refers) leads to the need to address new issues related to changes in the behavior of surface defects of continuously cast billets during rolling. The formation of the lateral surface of rolled products in transitional calibers is of fundamental importance in terms of the quality of the final metal products. The calculated shape of the lateral surface made it possible to determine the most favorable rolling conditions that would ensure the formation of such a lateral surface, the shape of which would not lead to further defects, such as sunset. On the basis of the previously developed engineering approach to the calculation of metal deformation in the "square-oval" exhaust system for low-temperature rolling conditions, a mathematical model for determining the formation parameters was proposed. The results of a study of the features of the shaping of the lateral surface of a square feed in the oval caliber during rolling in an intermediate group of stands of a continuous section mill are presented. The shape of the lateral surface of the rolling and the energy-power rolling conditions are determined in relation to the range of the parameter values l_d/h_{cp} and the rolling temperatures used in a typical sort mill. It is shown that in the case of low-temperature rolling conditions, the process must be carried out at a value l_d/h_{cp} not exceeding 0.981.

Keywords: Low-temperature rolling, section mill, forming, deformation, oval caliber, power parameters, energy efficiency.

Введение. Переход на современные энергосберегающие технологии к которым относится низкотемпературная прокатка (снижение температуры нагрева по прокатку вплоть до 900 °С и ниже) приводит к необходимости решать новые вопросы, связанные с изменением поведения дефектов поверхности непрерывнолитых заготовок в процессе прокатки [1]. В этом случае не учет особенностей деформирования раската при пониженных температурах может привести к появлению новых или трансформации имеющихся поверхностных дефектов в дефекты проката.

Анализ основных публикаций. Опыт работы большинства действующих прокатных станов показывает, что дефекты на поверхности металлопроката являются одной из основных причин получения продукции несоответствующего качества. При этом в структуре брака наибольшую долю занимают дефекты, перешедшие на готовый прокат с исходных заготовок.

На современных среднесортных и мелкосортных прокатных станах применяют комбинированную систему черновых калибров: сначала идут прямоугольные калибры, а затем черновые калибры системы овал-ребровой овал или овал-круг. Наличие комбинированной системы обуславливает несколько точек перехода от одной системы к другой, которые несут в себе целую совокупность проблем, связанную с поведением дефектов поверхности, особенно в случае реализации низкотемпературных режимов прокатки [2].

Проблемной точкой следует считать момент перехода от подката квадратного сечения к подкату овольного сечения, т.е. возникает элемент вытяжной системы калибров «овал-квадрат». Касательно системы калибров «овал-квадрат» можно отметить, что ее существенным недостатком является значительная вероятность образования поверхностных дефектов при прокатке квадратной заготовки в овальном калибре из-за неравномерного обжатия по ширине калибра [3]. В этом случае интенсивное уменьшение высоты полосы в овальном калибре приводит к образованию «морщин», сжатие которых в последующем калибре может привести к их трансформации в трещины.

Особый случай представляет формоизменение дефектов в раземе калибров, где глубина дефектов может даже увеличиваться за счет увеличения толщины поверхностных слоев при втекании последних в разем, особенно в случае реализации низкотемпературных режимов прокатки [4, 5].

Целью работы являлось изучение особенностей формирования боковой поверхности квадратного раската, прокатываемого в овальном калибре для различных деформационно-температурных режимов прокатки.

Постановка задачи. Рассмотрим случай прокатки раската квадратного сечения, полученного из обжимной группы стана в первом калибре черновой (промежуточной) группы, который имеет форму овала (иногда плоского овала). Данная схема используется на многих непрерывных средне и мелкосортных прокатных станах. При прокатке такой квадратной

полосы в овальном калибре величина обжатия по ширине полосы различна, а пластическая деформация во время процесса прокатки распространяется, начиная с верхних слоев металла в его глубину, вслед за упругой деформацией, распространяющейся со скоростью звука в данной среде. Анализируя характер деформации необходимо учитывать:

- воздействие подпирющих усилий, возникающего в результате трения на поверхности взаимодействия «валок-металл» и зависящего от целой совокупности технологических факторов, среди которых температура играет главенствующую роль;
- форму фасонного калибра.

Калибры овального типа принадлежат к типичным калибрам, в значительной мере ограничивающие уширение, благодаря подпирющим усилиями, которые направлены к оси калибра. Поперечной деформации препятствуют совместно поверхностные подпирющие усилия. Эти силы, действующие на поверхностные слои металла, влияют на величину упругой и пластической деформаций, проникающей на определенную глубину внутрь полосы формируя тем самым профиль боковой поверхности квадратной полосы в овальном калибре.

Анализ формоизменения раската производили по методике описанной в работе [6], которая была реализована в программе Microsoft Office Excel и позволяла определить форму боковой поверхности раската. В качестве критерия оценки формирования боковой поверхности раската был выбран параметр $\Delta b_y/2$ (рис. 1) который представляет собой фактически величину ограниченного уширения.

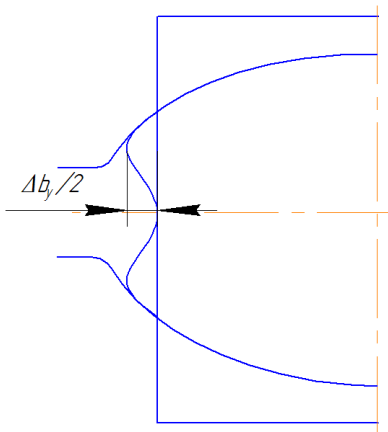


Рис. 1 – Схема обработки данных по формоизменению боковой поверхности

Методика исследования. В качестве базы для расчета был взят переход из квадратного подката в овальный в тех размерах, который используется на типовом непрерывном стане 390 (конструкция систем калибров фирмы MWE, Германия). Параметры овального калибра: ширина по буртам 163 мм, радиус овала 139 мм, раствор валков 30 мм. В ходе исследования изменяли величину отношения l_d/h_{cp} в пределах 0,53–1,29. Температура деформации принимала три фиксированных значения:

- 1200 °С – горячая прокатка (типовая);
- 1050 °С – прокатка с подсуживанием;
- 950 °С – низкотемпературная прокатка.

Результаты и их обсуждение. Как было указано выше, формирование боковой поверхности проката в переходных калибрах имеет принципиальное значение с точки зрения качества конечной металлопродукции. Таким образом, вычисленная форма боковой поверхности (рис. 2) позволила определить наиболее благоприятные условия прокатки, которые обеспечивали бы формирование такой боковой поверхности, форма которой бы не приводила к дальнейшему возникновению дефектов, например таких как закат.

В частности, для получения бездефектной поверхности, необходимо, чтобы форма боковой поверхности (свободной от контакта) имела выпуклый вид или, в крайнем случае, была плоской. Однако получение такой формы в рассматриваемой переходной паре крайне проблематично из-за большой неравномерности деформации, возникающей в овальном калибре.

Анализ полученных графических изображений (рис. 2) показал, что наибольшее влияние на получаемую форму боковой поверхности оказывает величина параметра l_d/h_{cp} , температура же имеет меньшее влияние.

При отношении $l_d/h_{cp} = 1,290$ возникали условия для возникновения дефекта в виде «заката» при всех значениях температуры. В этом случае, наличие двойной вогнутости, особенно в области перехода от свободной к контактирующей поверхности, при последующем изменении схемы деформации (именно по свободной поверхности) обязательно приводит к дефекту «закат». Кроме того, возможно и образование нарушений сплошности.

В случае понижения температуры прокатки до 950 °С, величина вогнутости начинает увеличиваться. Что также имеет негативный характер. Кроме того, наличие острых выгнутостей, будет способствовать их резкому охлаждению и, как следствие растрескиванию.

Уменьшение размеров исходного подката, задаваемого в овальный калибр, при неизменной ширине, способствует как уменьшению величины l_d/h_{cp} , так и приводит к существенному изменению формы боковой поверхности. Уже при уменьшении l_d/h_{cp} с величины 1,290 до 1,247, пропадает форма с двойной вогнутостью. Вогнутость остается одна, однако образуются два наплыва, а переходный участок от свободной поверхности овала к контактирующей, становится более плавным. Изменение температуры с 1200 °С до 950 °С не приводит к существенному изменению формы свободной боковой поверхности овального раската. В тоже время, четко прослеживается тенденция, уменьшения величины вогнутости. Однако, во всем исследованном диапазоне значений параметра l_d/h_{cp} достигнуть выпуклой поверхности не удалось, она лишь приблизилась к плоской.

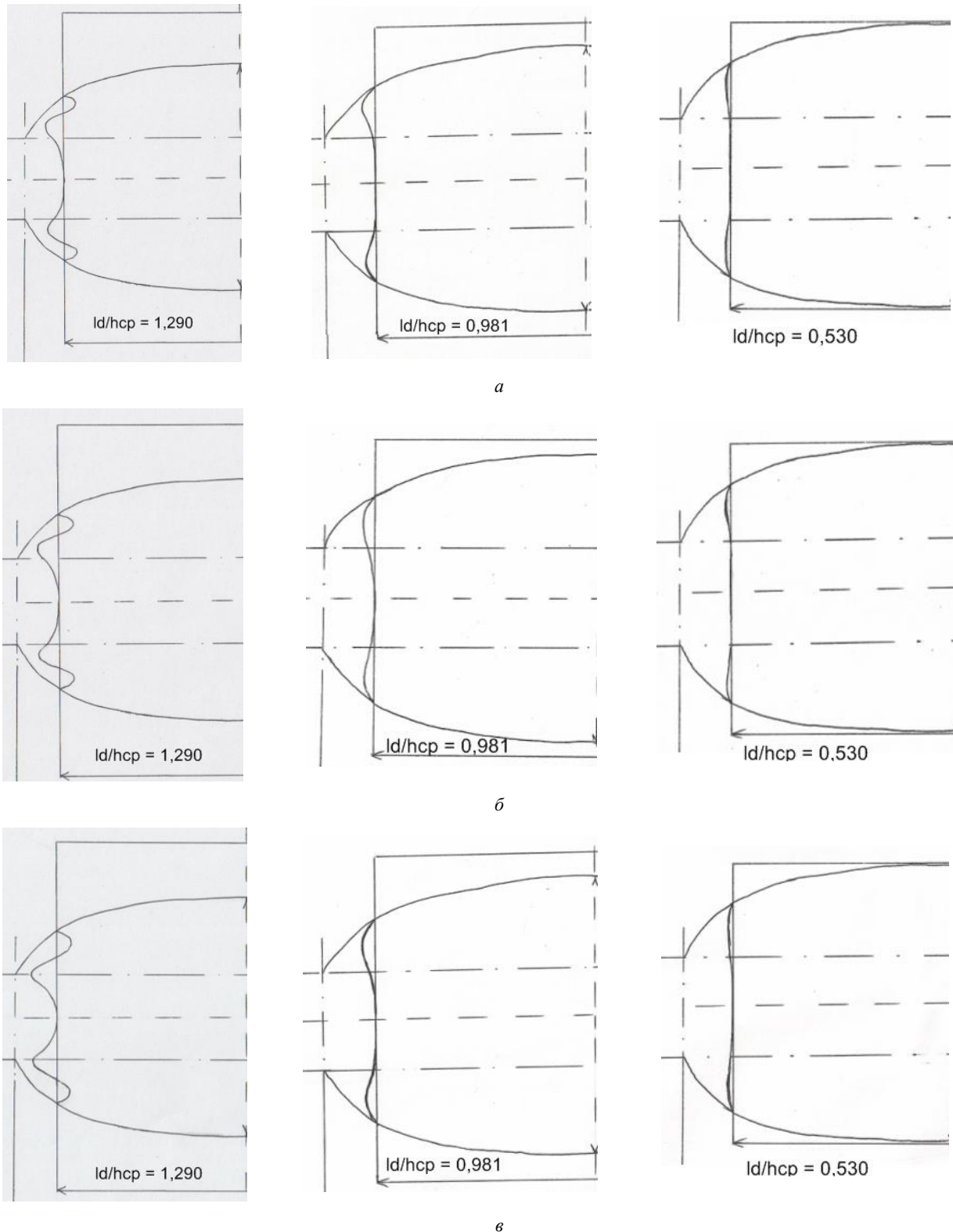


Рис. 2 – Изменение формы боковой поверхности раската в зависимости от параметра l_d/h_{cp} и температуры прокатки:
а – 1200 °С, б – 1050 °С, в – 950 °С

С физической точки зрения, такое явление можно объяснить наличием существенных сил трения на контактирующей поверхности. При этом, с понижением температуры, трение возрастает, что приводит к незначительному изменению формы.

Анализ полученных графических зависимостей (рис. 3) показывает, что при величине параметра

$l_d/h_{cp}=1,0$ величина $\Delta b_y/2$ на всех раскатах становится практически одинаковой, и колеблется на уровне 3 мм. Данный результат имеет принципиальное практическое значение. Оно объясняется тем, что в случае, если калибровка на стане спроектирована так, что при переходе от квадратного сечения к овалному обжатие квадрата характеризуется величиной $l_d/h_{cp} \approx 1$,

то данную калибровку можно использовать и для низкотемпературной прокатки.

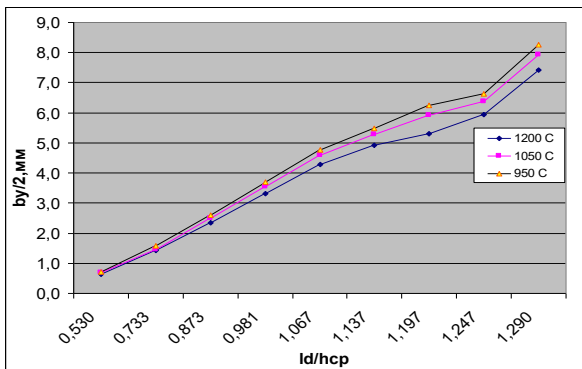


Рис. 3 – Зависимость величины выпуклости $\Delta b_y/2$ на свободной поверхности овальных раскатов в зависимости от параметра l_d/h_{cp} и температуры

Доказано, що подібна величина випуклості, при дальнійшій прокатці хорошо формозмінюється без утворення дефектів поверхності.

Для оцінки ефекта від економії енергоносітелей було визначено енергосилові параметри прокатки для вищеперелічених умов (рис. 4 і 5).

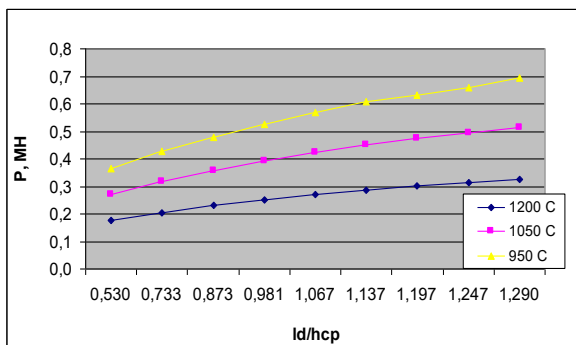


Рис. 4 – Зависимость силы прокатки от параметра l_d/h_{cp}

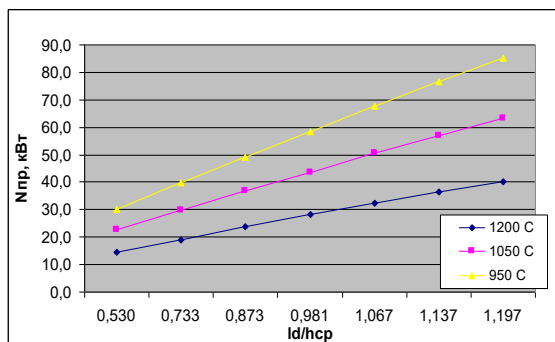


Рис. 5 – Зависимость мощности прокатки от параметра l_d/h_{cp}

Анализ полученных зависимостей показал что увеличение параметра l_d/h_{cp} с 0,53 до 1,29 приводит к увеличению силы прокатки на 40...80 %, а мощности прокатки на 170...200 %. Снижение же температуры прокатки с 1200 до 950 °C приводит к снижению силы прокатки на 22...41 % и мощности прокатки на 26...37 %. Таким образом применение низкотемпературной прокатки с учетом выбора

рационального отношения l_d/h_{cp} позволит получить заметную экономию энергоресурсов.

Выводы. На основе разработанного ранее инженерного подхода к расчету деформирования металла в вытяжной системе «квадрат – овал» для условий низкотемпературной прокатки предложена математическая модель определения параметров формирования, которая реализована в программе Microsoft Office Excel. Выполненный вычислительный эксперимент по определению формы боковой поверхности овального раската для условий изменения температуры в пределах 1200–950 °C и параметра l_d/h_{cp} 1,29–0,53 показал, что с целью минимизации дефектов на боковой поверхности овального раската осуществлять процесс низкотемпературной прокатки необходимо при значении l_d/h_{cp} не превышающих 0,981.

Список литературы

1. Смирнов, Е. Н. Конструктивный аспект возможности организации прокатки качественных марок стали с петлей охлаждения и выравнивания температуры в условиях типового сортового непрерывного стана / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции. Старый Оскол, 2015. – С. 224 – 230.
2. Крахт, В. Б. Повышение эффективности сортамента мелкосортно-среднесортного стана 350 Оскольского электрометаллургического комбината / В. Б. Крахт, А. Е. Пратуевич, Н. А. Шляхов // Производство проката. – 2003. – №5. – С. 19 – 21.
3. Грудев, А. П. Технология прокатного производства / А. П. Грудев, Л. Ф. Машкин, М. И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
4. Зильберг, Ю. В. Исследование закономерностей формоизменения поверхностных дефектов при прокатке / Ю. В. Зильберг [и др.] // Сталь. – 1997. – №10. – С. 44 – 46.
5. Смирнов, Е. Н. Неравномерность распределения скоростей течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / Е. Н. Смирнов // Наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Сер., Металлургия. – Донецк: ДонНТУ, 1999. – Вып. 8. – С. 121–126.
6. Скляр, В. А. Деформационное состояние в процессе прокатки квадратного подката в овальном калибре в клетях черновой группы непрерывного сортового стана / В. А. Скляр, Т. Д. Самойлова // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол, 2016. – С. 124–131.

Bibliography (transliterated)

1. Smirnov E. N., Sklyar V. A. Konstruktivnyy aspekt vozmozhnosti organizatsii prokatki kachestvennykh marok stali s petley okhlazhdeniya i vyravnivaniya temperatury v usloviyakh tipovogo sortovogo nepreryvnogo stana [The constructive aspect of the organization of rolling high-quality steel grades with a cooling and the loop equalizing of the temperature in a typical continuous section mill] *Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. Materialy Dvenadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Staryy Oskol*, 2015, pp. 224–230
2. Krakht V. B., Pratushevich A. E., Shlyakhov N. A. Povyshenie effektivnosti sortamenta melkosortno-srednesortnogo stana 350 Oskol'skogo elektrometallurgicheskogo kombinata [Improving the efficiency of product mix of a small-medium section mill 350 OEMK] *Proizvodstvo prokata*. 2003, No. 5, pp. 19–21.
3. Grudev A. P., Mashkin L. F., Khanin M. I. *Tekhnologiya prokatnogo proizvodstva* [Rolling technology] Moscow, Metallurgiya, 1994, 656 p.

4. Zil'berg Yu. V. Issledovanie zakonornostey formoizmeneniya poverkhnostnykh defektov pri prokatke [The study of regularities of forming surface defects during rolling] *Stal'*. 1997, No. 10, pp. 44–46.
5. Smirnov E. N. Neravnomernost' raspredeleniya skorostey techeniya metalla pri prokatke oval'nykh zagotovok s neravnomernym raspredeleniem temperatury po secheniyu [The uneven distribution of metal flow during rolling of oval billets with uneven temperature distribution over the cross section] *Nauk. pr. Donecz. derzh. texn. un-tu. Series: Metalurgiya*. Donecz'k, 1999, No. 8, pp. 121–126.
6. Sklyar V. A., Samoiova T. D. Deformatsionnoe sostoyanie v protsesse prokatki kvadratnogo podkata v oval'nom kalibre v kletyakh chernovoy grupy nepreryvnogo sortovogo stana [The deformation state in the process of rolling a square roll in the oval caliber in the stands of the roughing stand of a continuous mill] *Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. Materialy trinadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Saryy Oskol, 2016, pp. 124–131.

Поступила (received) 10.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Исследование особенностей деформации квадратного подката в овальном калибре при низкотемпературной прокатке / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, В. А. Белевитин // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 59–63. – Библиогр.: 6 назв.– ISSN 2519-2671.

Дослідження особливостей деформації квадратного підкату в овальному калібрі при низькотемпературній прокатці / Є. М. Смирнов, В. О. Скляр, В. А. Белевітін // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 59–63. – Библиогр.: 6 назв.– ISSN 2519-2671.

The study of features of deformation of the square roll in the oval caliber at low-temperature rolling / Y. N. Smyrnov, V. A. Skliar, V. A. Belevitin // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for processing materials in engineering and metallurgy. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No43 (1265). – P. 59–63. – Bibl: 6. – 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, Sary 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: vitaliiskliar@gmail.com

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: vitaliiskliar@gmail.com.

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: vitaliiskliar@gmail.com

Белевитин Владимир Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, профессор, тел.: +7(982) 307-83-98; e-mail: belewitina@rambler.ru

Белевитин Володимир Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Південно-Уральський державний гуманітарно-педагогічний університет, професор, тел.: +7(982) 307-83-98; e-mail: belewitina@rambler.ru

Belevitin Vladimir – Dr. of Engineering Science, Professor, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Professor, tel.: +7(982) 307-83-98; e-mail: belewitina@rambler.ru