

УДК 621.771.25.04.001.5

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ НЕПРЕРЫВНОМ МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ

Фастыковский А.Р.¹, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Обработка металлов
давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК» (omd@sibsiu.ru)

Никитин А.Г.¹, д.т.н., профессор кафедры «Механика и машиностроение»

Беляев С.В.², д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство»

Добрянский А.В.³, старший калибровщик рельсобалочного цеха

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Сибирский федеральный университет
(660041, Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79)

³ АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»
(654042 Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, Космическое шоссе, 16)

Аннотация. В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция на увеличение объемов промышленного и гражданского строительства.

Это в свою очередь вызывает необходимость увеличения производства строительных профилей и в особенности арматуры. Одним из перспективных путей увеличения производства арматуры на действующих прокатных станах является освоение технологии прокатки-разделения. Такая технология позволяет без больших капитальных затрат повысить производительность действующих мелкосортных станов и снизить энергозатраты. Однако, несмотря на кажущуюся простоту, внедрение технологии прокатки-разделения на действующих предприятиях вызывает трудности, связанные с недостаточной освещенностью этого опыта в литературе. Приведен опыт внедрения технологии прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане. Исследования проведены на оборудовании, имеющемся в цехе и используемом для мониторинга загрузки главных двигателей. Изучены особенности распределения энергозатрат по клетям при классической прокатке и с использованием технологии прокатки-разделения арматуры № 10, № 14 из стали марок 35ГС и 3ПС. На экспериментальных графиках загрузки главных двигателей прокатного стана показано перераспределение энергозатрат по клетям черновой, промежуточной и чистовой групп при использовании технологии прокатки-разделения. Приведены в графическом виде данные по использованию мощности главных двигателей и распределению удельной нагрузки по клетям при классическом способе прокатки и с использованием технологии прокатки-разделения. Анализ полученных данных позволил выявить особенности энергопотребления при освоении технологии прокатки-разделения на действующем производстве. Показано, что использование технологии прокатки-разделения приводит к дополнительной нагрузке клетей чистовых групп. Количественно оценена экономия электроэнергии при внедрении технологии прокатки-разделения. Установлено, что с уменьшением номера арматуры эффективность увеличивается. Уменьшение энергозатрат при освоении технологии прокатки-разделения на действующем производстве связано с уменьшением машинного времени.

Ключевые слова: технология прокатки-разделение, действующее производство, энергозатраты, машинное время, эффективность.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-313-317

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы у нас в стране и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция на увеличение объемов строительных работ. Разрабатываются новые строительные технологии [1 – 5], в основе которых – использование большого объема железобетонных и металлических конструкций. Такое положение дел вызывает необходимость увеличения объемов выпуска прокатной продукции строительного назначения. Согласно результатам исследований, проведенных в работе [6], производство и потребление на мировом рынке профилей строительного назначения имеет устойчивый рост (8 % в год). Из всего многообразия профилей строительного назначения основная (64,6 %) доля приходится на арматурные профили, прокатываемые

на мелкосортных и мелкосортно-проволочных станах. Одним из перспективных путей повышения производительности мелкосортных станов является освоение технологии прокатки-разделения, которая в последнее время активно внедряется на действующих прокатных станах [7 – 16]. Однако при кажущейся простоте этот процесс растягивается на большой период, что связано с недостаточной его изученностью и малым объемом информации об опыте внедрения рассматриваемой технологии на действующем производстве в технической литературе.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение особенностей использования технологии прокатки-разделения проводили на действующем

непрерывном мелкосортном стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Описание технологического процесса на этом стане, результаты изучения перспектив внедрения технологии прокатки-разделения, разработанные калибровки и данные предварительных исследований приведены в работах [17 – 20]. Целью исследований было изучение особенностей изменения энергопотребления при переводе действующего производства на технологию прокатки-разделения. Измерение токовых нагрузок и противо-ЭДС главных двигателей при прокатке арматуры классическим способом и с использованием технологии прокатки-разделения проводили на имеющемся в цехе оборудовании для мониторинга процесса прокатки. В качестве объектов исследования выбраны арматурные профили № 10, № 14 из стали марок 3ПС и 35ГС.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обработанные результаты замеров токовой нагрузки приведены на рис. 1. Из полученных данных следует, что переход от классической технологии к технологии

прокатки-разделения не привел к существенному увеличению токовой нагрузки черновых и промежуточных клетей несмотря на сокращение количества используемых клетей при прокатке арматуры № 14. Загрузка чистовых клетей, участвующих в разделении (клеть 15) и последующей прокатке в две нитки (клетки 16, 17), увеличилась по сравнению с классической схемой прокатки, однако не превысила допустимый токовый порог. Согласно результатам замеров с увеличением номера арматуры нагрузка некоторых клетей увеличивается, приближаясь к максимально допустимым значениям. Так, при прокатке арматуры № 14 по технологии прокатки-разделения в клетях 6 и 17 токовые нагрузки близки к предельным значениям.

На рис. 1 представлены данные по замеру токовой нагрузки при прокатке арматуры из стали марок 35ГС и 3ПС. Нагрузка при прокатке стали 3ПС ожидаемо меньше, чем при прокатке стали 35ГС. Распределения токовой нагрузки по клетям при прокатке этих сталей практически одинаковы.

Так как токовая нагрузка в черновых и промежуточных клетях изменилась незначительно при реализации

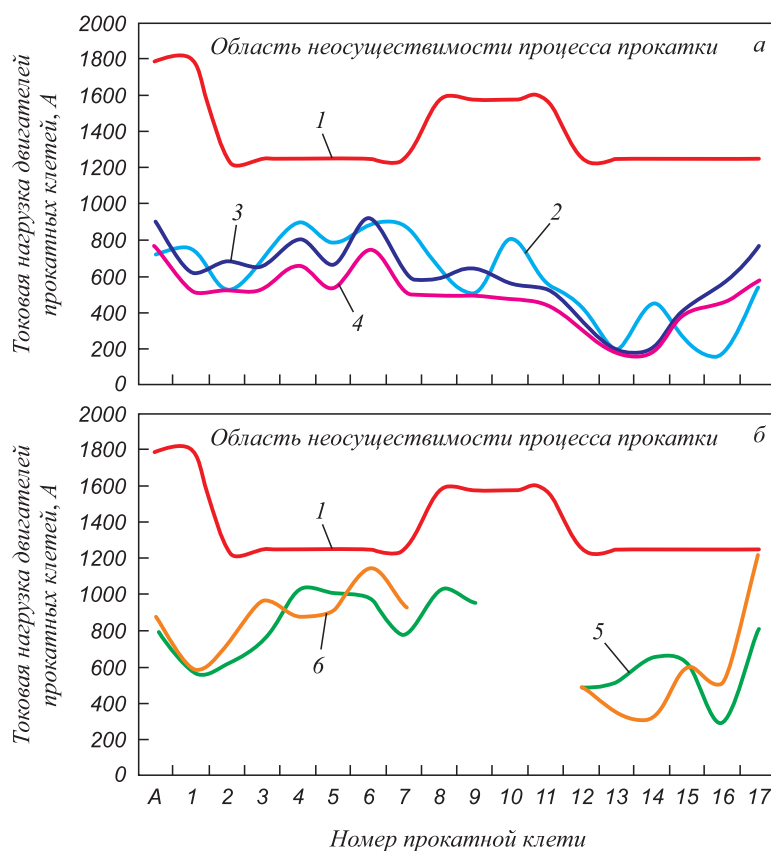


Рис. 1. Ток аварийного отключения главных двигателей (I) и токовая нагрузка главных двигателей непрерывного мелкосортного стана 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» при прокатке арматуры № 10 (а) и № 14 (б) классическим способом, арматура № 10 (2) и № 14 (5) (35ГС) и способом прокатки-разделения, арматура № 10 (3) и № 14 (6) (35ГС), арматура № 10 (4) (3ПС)

Fig. 1. Current load of the main engines of 250-1 continuous small-grade mill of JSC “EVRAZ ZSMK” when rolling reinforcing bars No. 10 (a) and No. 14 (b) by classical and rolling-separation methods: emergency shutdown current of the main engines (I); classical method, reinforcing bars No. 10 (2) and No. 14 (5) (35GS); rolling-separation method, reinforcing bars No. 10 (3) and No. 14 (6) (35GS), reinforcing bars No. 10 (4) (3PS)

технологии прокатки-разделения за исключением чистовых клетей 15 – 17, а скоростной режим, машинное время изменились существенно, то возникла необходимость оценить особенности загрузки двигателей по мощности и удельному расходу энергии. Для этого использовали зависимости и результаты замеров токовой нагрузки J_n якоря и противо-ЭДС E_n главных двигателей:

$$N_{\text{дв}} = E_n J_n; \quad (1)$$

$$E_n = cn\Phi, \quad (2)$$

где c – постоянный коэффициент, зависящий от числа пар полюсов, проводников и числа параллельных витков обмотки якоря; n – частота вращения вала двигателя; Φ – величина магнитного потока.

Полученные результаты загрузки двигателей по мощности и удельному расходу энергии приведены на рис. 2, из которого видно, что мощность, затраченная

на формоизменение по клетям, не превышает допустимый предел. Единственное опасение вызывает клеть 6, где при получении арматуры № 14 прокаткой-разделением двигатель работает с предельной нагрузкой.

Особенность загрузки главных двигателей черновых и промежуточных клетей – нагрузка по мощности при реализации процесса прокатки-разделения на 20 – 25 % выше, чем при классической прокатке, что объясняется большей скоростью прокатки. В чистовых клетях 12 – 14 нагрузка по мощности примерно одинакова при прокатке разными способами, а в клетях 15 – 17 наблюдается увеличение нагрузки при прокатке-разделении примерно на 15 – 25 %.

Удельный расход электроэнергии при прокатке-разделении значительно меньше, чем при классическом способе, что связано с меньшим машинным временем. Общие удельные затраты электроэнергии при прокатке арматур № 10, № 14, полученных разными способами, приведены на рис. 3. Абсолютное снижение затрат электроэнергии составит 27,7 кВт·ч/т для арматурно-

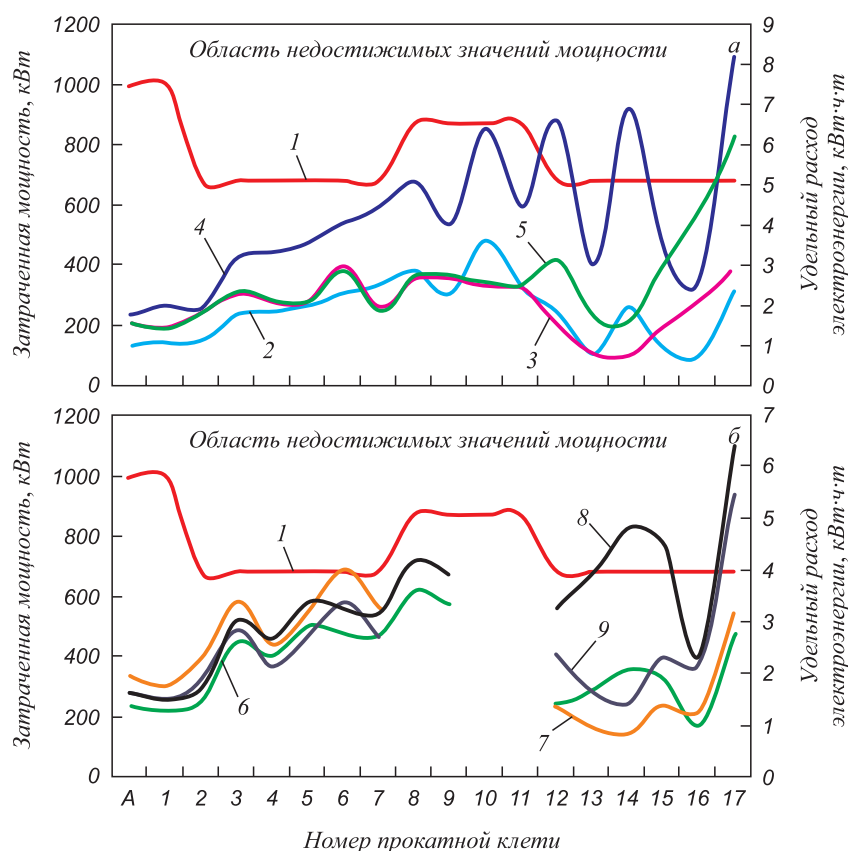


Рис. 2. Ток аварийного отключения главных двигателей (1), затраченная мощность при классическом способе (арматура № 10 (2) и № 14 (6)) и прокатке-разделении (арматура № 10 (3) и № 14 (7)), удельный расход энергии при классическом способе (арматура № 10 (4) и № 14 (8)) и прокатке-разделении (арматура № 10 (5) и № 14 (9)) на непрерывном мелкосортном стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 2. Power consumption and specific energy consumption during rolling of reinforcing bars No. 10, No. 14 on 250-1 continuous small-grade mill of JSC “ERAZ ZSMK”: emergency shutdown current of the main engines (1); expended power with classical (reinforcing bars No. 10 (2) and No. 14 (6)) and rolling-separation methods (reinforcing bars No. 10 (3) and No. 14 (7)); specific energy consumption for classical (reinforcing bars No. 10 (4) and No. 14 (8)) and rolling-separation methods (reinforcing bars No. 10 (5) and No. 14 (9))

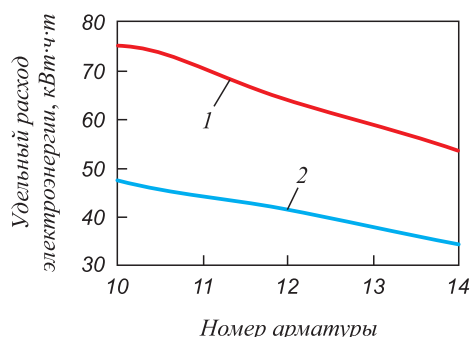


Рис. 3. Удельный расход электроэнергии при получении арматур № 10, № 14 на непрерывном мелкосортном стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» классическим способом (1) и способом прокатки-разделения (2)

Fig. 3. Specific energy consumption at production of reinforcing bars No. 10, No. 14 on 250-1 continuous small-grade mill of JSC «EVRAZ ZSMK» using classical method (1) and rolling-separation method (2)

го профиля № 10 и 19,6 кВт·ч/т – для профиля № 14. Наиболее перспективными в плане экономии электроэнергии являются арматурные профили небольших размеров.

При изучении процесса прокатки-разделения рассматривали вопросы качества получаемой готовой продукции. Качество оценивали по соответствию профиля требованиям ГОСТ Р52544 – 2006 и наличию (или отсутствию) дефектов поверхности. Обмер и осмотр арматурных профилей, полученных по технологии прокатки-разделения, подтвердил соответствие профиля требованиям ГОСТ Р52544 – 2006, а использование при продольном разделении принципа резания полностью исключило наличие заусенца, тем самым снизило количество брака.

Выводы

Изучено изменение энергопотребления главных двигателей при переводе непрерывного мелкосортного стана на прокатку арматуры по технологии прокатки-разделения. Установлено, что при переводе действующего стана на технологию прокатки-разделения увеличивается нагрузка по мощности на первые клетки черновой группы и на последние клетки чистовой группы. Доказано, что освоение технологии прокатки-разделения снижает удельные энергозатраты на производство готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members – closure // *ACI Materials Journal*. 1993. Vol. 90. No. 6. P. 629 – 630.
- Young-Jun You, Hwan Park, Hyeong-Yeol Kim, Ji-Sun Park. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions // *Composite Structures*. 2007. Vol. 80. No. 1. P. 117 – 122.
- Hughes Brothers. Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar. – Hughes Brothers, 1997. – 15 p.
- Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections // *China Civil Engineering Journal*. 2016. Vol. 49. No. 9. P. 103 – 109.
- Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. P. 278 – 284.
- Тахаутдинов Р.С., Федонин О.В., Пугачев В.Г. и др. Мировой рынок проката и перспективы развития сортопрокатного производства в России // *Производство проката*. 2008. № 5. С. 22 – 27.
- Sato R. The rolling of products using slit – rolling process // *NKK Report*. 1980. No. 3. P. 42 – 46.
- Palmer L.W. Slit rolling technology // *World Steel & Metalworking*. 1984 – 1985. Vol. 6. P. 147 – 149.
- Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling // *SEAI Quarterly*. 1995. No. 3. P. 49 – 58.
- Hewitt E.C. Developments in rolling mill technology. In: *Steel Industrial Eighties. Processes International Conference*, Amsterdam. 1979. P. 150 – 156.
- Жучков С.М. Особенности конструкции устройства продольного разделения раската для трехниточной прокатки – разделения // *Металлург*. 2000. № 11. С. 42, 43.
- Жучков С.М. Использование неприводных деформирующих средств в процессе двоянной прокатки с продольным разделением раската в потоке стана // *Сталь*. 1997. № 7. С. 37 – 41.
- Жучков С.М. Особенности технологической схемы процесса трехниточной прокатки – разделения на мелкосортном стане 320/150 Белорусского металлургического завода // *Металлург*. 2001. № 1. С. 46, 47.
- Многоручьевая прокатка – разделение / В.М. Клименко, С.П. Ефименко, В.Ф. Губайдулин, Г.М. Шульгин. – М.: Металлургия, 1982. – 167 с.
- Следнев В.П. Спаренная прокатка сортовых профилей. – М.: Металлургия, 1988. – 167 с.
- Жучков С.М., Филиппов В.В., Тищенко В.А., Бондаренко А.Н. Направление развития технологии прокатки – разделения на стане 320/150 // *Сталь*. 2001. № 10. С. 33 – 35.
- Фастыковский А.Р., Уманский А.А. Теория и практика ресурсосберегающих технологий производства сортового проката на действующих непрерывных станах // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 5. С. 322 – 327.
- Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Фастыковский А.Р., Копылов И.В. Использование технологии прокатки – разделения на стане 250-1 // *Сталь*. 2008. № 8. С. 78 – 80.
- Фастыковский А.Р. К вопросу продольного разделения полосы неприводными устройствами в потоке прокатного стана // *Производство проката*. 2009. № 3. С. 4 – 8.
- Фастыковский А.Р., Волков К.В., Перетяшко В.Н., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Совершенствование технологии производства арматурных профилей на непрерывных мелкосортных станах // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2011. № 10. С. 18 – 21.

Поступила в редакцию 24 декабря 2019 г.
После доработки 24 января 2020 г.
Принята к публикации 31 января 2020 г.

FEATURES OF THE ROLLING-SEPARATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT ON OPERATING CONTINUOUS SMALL-GRADE MILL

A.R. Fastyskovskii¹, A.G. Nikitin¹, S.V. Belyaev², A.V. Dobryanskii³

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³ JSC “EVRAZ – Joint West Siberian Metallurgical Plant”, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

Abstract. At present, there is a steady tendency to increase volume of industrial and civil construction in Russia and abroad. This in turn makes it necessary to enhance production of structural sections and in particular – reinforcing bar. One of the promising ways to increase production of reinforcing bar at existing rolling mills is development of rolling-separation technology. This technology provides growth in productivity of existing small-grade mills and reduces energy costs without large capital expenditures. However, despite its apparent simplicity, introduction of rolling-separation technology at existing enterprises causes difficulties associated with insufficient coverage of this experience in literature. The article presents experience of introduction of the rolling-separation technology on operating continuous small-grade mill. The research was carried out on equipment available in the workshop and used to monitor load of the main engines. Features of energy costs distribution on stands were studied at classical rolling and with the use of technology of rolling-separation of reinforcing bar No. 10, No. 14 made of 35GS and 3PS steel. Experimental graphs of the main engines of the rolling mill load show redistribution of energy consumption in stands for roughing, intermediate and finishing groups when using rolling-separation technology. Data on application of the main engine power and distribution of the specific load on the stands in classical rolling method and using rolling-separation technology are presented in graphic form. Analysis of the received data allowed us to reveal features of energy consumption at development of rolling-separation technology during operation. It is shown that use of this technology leads to additional load on stands of finishing groups. Energy savings during introduction of rolling-separation technology were quantified, and it was found that with a decrease of the rebar number, efficiency increases. Reduction of energy consumption during development of this technology in current production is associated with a decrease in machine time.

Keywords: rolling-separation technology, operating production, energy consumption, machine time, efficiency.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-313-317

REFERENCES

1. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members – closure. *ACI Materials Journal*. 1993, vol. 90, no. 6, pp. 629–630.
2. Young-Jun You, Hwan Park, Hyeong-Yeol Kim, Ji-Sun Park. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions. *Composite Structures*. 2007, vol. 80, no. 1, pp. 117–122.
3. Hughes Brothers. *Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar*. Hughes Brothers, 1997, 15 p.
4. Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections. *China Civil Engineering Journal*. 2016, vol. 49, no. 9, pp. 103–109.
5. Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 121, pp. 278–284.
6. Takhautdinov R.S., Fedonin O.V., Pugachev V.G. etc. Global market of rolling products and prospects for development of rolling production in Russia. *Proizvodstvo prokata*. 2008, no. 5, pp. 22–27. (In Russ.).
7. Sato R. The rolling of products using slit – rolling process. *NKK Report*. 1980, no. 3, pp. 42–46.
8. Palmer L.W. Slit rolling technology. *World Steel & Metalworking*. 1984–1985, vol. 6, pp. 147–149.
9. Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling. *SEAI Quarterly*. 1995, no. 3, pp. 49–58.
10. Hewitt E.C. Developments in rolling mill technology. In: *Steel Industrial Eighties. Processes International Conference, Amsterdam*, 1979, pp. 150–156.
11. Zhuchkov S.M. Particularities in design of device for slitting the workpiece in three-strand rolling-slitting process. *Metallurgist*. 2000, no. 11, pp. 42, 43. (In Russ.).
12. Zhuchkov S.M. Use of idler work rolls in two-high rolling with longitudinal stock slitting in mill line. *Steel in Translation*. 1997, vol. 27, no. 7, pp. 28–33.
13. Zhuchkov S.M. Particularities in technological scheme for process of three-strand rolling-slitting at 320/150 wire-rod mill. *Metallurgist*. 2001, no. 1, pp. 46, 47. (In Russ.).
14. Klimenko V.M., Efimenko S.P., Gubaidulin V.F., Shul'gin G.M. *Mnogoruch'evaya prokatka – razdelenie* [Multi-strand rolling – separation]. Moscow: Metallurgiya, 1982, 167 p. (In Russ.).
15. Slednev V.P. *Sparennaya prokatka sortovykh profilei* [Mated rolling of section bars]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 167 p. (In Russ.).
16. Zhuchkov S.M., Filippov V.V., Tishchenko V.A., Bondarenko A.N. Rolling and splitting in the 320/150 mill. *Steel in Translation*. 2001, vol. 30, no. 10, pp. 40–42.
17. Fastyskovskii A.R., Umanskii A.A. Theory and practice of resource-saving technologies of mill bar production at the operating continuous rolling mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 322–327. (In Russ.).
18. Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya., Fastyskovskii A.R., Kopylov I.V. Employing rolling and separation technology in the 250-1 mill. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 8, pp. 671–673.
19. Fastyskovskii A.R. On strip longitudinal separation by non-drive devices in the flow of rolling mill. *Proizvodstvo prokata*. 2009, no. 3, pp. 4–8. (In Russ.).
20. Fastyskovskii A.R., Volkov K.V., Peretyat'ko V.N., Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya. Improvement of the production technique of re-bars at continuous light-section rolling mill. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 10, pp. 18–21. (In Russ.).

Information about the authors:

A.R. Fastyskovskii, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair “Metal Forming and Metal Science. JSC “EVRAZ ZSMK” (omd@sibsiu.ru)

A.G. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Mechanics and Machine Engineering

S.V. Belyaev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Foundry”

A.V. Dobryanskii, Senior Calibrator of Rail and Beam Shop

Received December 24, 2020

Revised January 24, 2020

Accepted January 31, 2020