

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.771.07:621.787.6

DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-29-36

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ
ПРИ ТЕКСТУРИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ МЕТОДОМ**

Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В настоящее время разработка технологий обработки поверхности рабочих валков базируется на основе опыта эксплуатации существующих установок и промышленных экспериментов. Из существующих методов обработки рабочей поверхности валков, а именно дробетное текстурирование, электроэрозионное текстурирование, лазерное текстурирование, электронно-лучевое текстурирование, был выбран и в настоящей работе рассмотрен способ электроэрозионного текстурирования, сущность которого заключается в том, что в результате него создаются эрозионные кратеры на поверхности валка. В данной работе получены теоретические зависимости между конструктивными параметрами установки для обработки поверхности валков методом электроэрозионного текстурирования (количество станций, количество электродов), технологическими режимами (ток, напряжение, частота и время действия разрядов), теплофизическими свойствами обрабатываемого материала (теплоемкость, теплопроводность) и параметрами текстурированного слоя (частотными и высотными). Это позволяет назначать новые и корректировать существующие режимы текстурирования поверхности валков дрессировочных станков с целью получения холоднокатаного листа в соответствии с требованиями потребителей. **Используемые методы.** В настоящей работе выполнено теоретическое исследование процесса электроэрозионного текстурирования прокатных валков, позволяющее установить количественную взаимосвязь между параметрами шероховатости текстурированной поверхности, конструктивными элементами установки, режимами текстурирования и энергоемкостью процесса. **Новизна.** Проведенные исследования позволяют установить взаимосвязь между конструктивными параметрами электроэрозионного текстурирования с учетом количества станций, одновременно участвующих в обработке поверхности валков, количества электродов в одной станции, количества электродов в одном ряду станции, режимами источника питания и параметрами шероховатости – частотными и высотными. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть полезными для специалистов в области обработки металлов давлением, быть использованы операторами при настройке оборудования для обработки валков методом электроэрозионного текстурирования с сокращением пробных настроек.

Ключевые слова: шероховатость, электроэрозионное текстурирование, микроратер, электроды, поверхность прокатных валков

© Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю., 2023

Для цитирования

Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю. Расчет параметров шероховатости при текстурировании поверхности прокатных валков электроэрозионным методом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 29-36. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-29-36>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

CALCULATION OF ROUGHNESS PARAMETERS DURING ELECTRICAL DISCHARGE TEXTURING OF THE SURFACE OF MILL ROLLS

Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Current development of surface treatment technologies for work rolls is based on the experience of operating existing machines and industrial experiments. We chose electrical discharge texturing from the existing treatment methods for the roll working surface, namely texturing by blasting, electrical discharge texturing, laser texturing, and electron beam texturing, and described it in this paper. The principle of the method lies in making erosion craters on the roll surface. This paper presents the obtained theoretical dependences between the design parameters of the electrical discharge texturing machine for roll surface treatment (number of stations, number of electrodes), process modes (current, voltage, frequency and duration of spark discharges), thermophysical properties of the machined material (heat capacity, thermal conductivity) and the parameters of a textured layer (frequency and height). This contributes to assigning new modes and adjusting existing ones for texturing the surface of rolls of skin pass mills to produce cold rolled sheets in accordance with the consumers' requirements. **Methods Applied.** This paper describes a theoretical study conducted on the process of electrical discharge texturing of mill rolls to establish a quantitative relationship between the roughness parameters of the textured surface, the structural elements of the machine, texturing modes and energy intensity of the process. **Originality.** The conducted studies allow us to establish the relationship between the design parameters of electrical discharge texturing, taking into account the number of stations simultaneously involved in the roll surface treatment, the number of electrodes at one station, the number of electrodes in one row of the station, power modes and roughness parameters: frequency and height. **Practical Relevance.** The results obtained are useful for metal forming specialists, and operators, when setting up equipment for electrical discharge texturing of rolls, to reduce trial settings.

Keywords: roughness, electrical discharge texturing, microcrater, electrodes, mill roll surface

For citation

Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu. Calculation of Roughness Parameters During Electrical Discharge Texturing of the Surface of Mill Rolls. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 29-36. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-29-36>

Введение

Шероховатость поверхности холоднокатаной полосы обычно нормируется в соответствии с запросами потребителей. Требуемые параметры шероховатости поверхности полосы реализуются за счет формирования соответствующей шероховатости рабочей поверхности прокатных валков и репродукции ее на полосе в процессе дрессировки [1-9]. В зависимости от применяемого способа параметры микрогеометрии существенно отличаются друг от друга. Это обусловлено физическими явлениями процесса формирования профиля шероховатости, присущими каждому способу [10-16].

Наиболее распространенными способами получения требуемой шероховатости поверхности валков, в частности при производстве автолиста, являются насечка дробью и электроэрозионное текстурирование (ЭРТ) [17-22]. Насечка дробью используется преимущественно при отделке холоднокатаной полосы, из которой изготавливаются нелицевые кузовные детали автомобилей, а ЭРТ для отделки полосы является основным при изготовлении лицевых деталей [2, 11, 17].

В **таблице** представлены сравнительные характеристики основных способов формирования текстуры на поверхности прокатных валков [10].

Таблица. Сравнительные характеристики различных способов обработки поверхности прокатных валков
Table. Performance comparison of different methods of the roll surface treatment

Параметр обработки	Способ обработки поверхности прокатных валков	
	ДМО (<i>SBT</i>)	ЭРТ (<i>EDT</i>)
Форма микронеровностей	Треугольные, трапецидальные	Кратеры
Характер расположения микровыступов	Случайный	Стохастический
Диапазон высотного параметра шероховатости Ra , мкм	1,5-6	0,5-10,0
Диапазон шагового параметра шероховатости P_c , см ⁻¹	50	50-150
Зависимость между Ra и P_c	Слабо зависят	Зависят
Производительность обработки	Высокая	Средняя
Протекание процесса	Ниже температуры рекристаллизации, происходит механический наклеп	Происходит перезакалка
Область применения	Нелицевые детали в автомобильной промышленности	Лицевые детали автомобилей

Методы исследования

В настоящей работе выполнено теоретическое исследование процесса электроэрозионного текстурирования прокатных валков, позволяющее установить количественную взаимосвязь между технологическими параметрами применяемого способа.

В процессе электроэрозионного текстурирования воздействию разрядов за секунду подвергается поверхность вала площадью

$$F = \pi D n_B S, \quad (1)$$

где D – диаметр текстурируемой поверхности; n_B – число оборотов вала; S – подача на один оборот вала.

Частота образования и разрывов дугового разряда на каждом электроде за единицу времени

$$f = \frac{1}{\tau}, \quad (2)$$

где τ – время действия дугового разряда.

Допуская, что в текстурировании этой площади последовательно участвуют все электроды, суммарное количество разрядов, приходящееся на эту площадь, составит

$$z = k_1 k_2 k_3 f, \quad (3)$$

где k_1 – количество станций, одновременно участвующих в текстурировании поверхности валков; k_2 – количество рядов электродов в одной станции; k_3 – количество электродов в одном ряду станций.

Площадь, подвергнутая эрозии от единичного разряда, определяется соотношением

$$F_{ед} = \frac{\pi D n_B S}{k_1 k_2 k_3 f}. \quad (4)$$

Согласно приведенной выше таблице каждый импульс разряда выплавляет микрократер в виде сферического сегмента с основанием радиусом r . Приравнявая площадь эрозии от единичного разряда (4) к площади основания сферического сегмента πr^2 и решая относительно радиуса этого основания, имеем

$$r = \sqrt{\frac{D n_B S}{k_1 k_2 k_3 f}}. \quad (5)$$

Анализ текстуры шероховатости, сформированной электроэрозионным методом, показывает, что углубления примыкают друг к другу с перекрытием на $1/3r$.

На **рис. 1** представлена схема образования микрократеров.

Зависимость (5) справедлива для обязательного совпадения микрократеров с импульсами разрядов при повторяющихся проходах станции установки текстурирования. Однако расположение микрократеров согласно той же таблице является стохастическим, подчиняется закону случайного распределения и поэтому этот процесс следует рассматривать как эргодический [11].

С учетом влияния числа проходов станции n на вероятность расположения кратеров с частичным их наложением друг на друга, на величину, составляющую некоторую долю от радиуса микровпадины r , вводим в уравнение (5) функцию вида $\xi^{-n} n^{-1/n}$ для учета эргодичности процесса:

$$r = \sqrt{\frac{Dn_B S}{k_1 k_2 k_3 f}} \cdot \xi^{-n} \cdot n^{-1/n}, \quad (6)$$

где ξ – показатель эргодичности процесса; n – число проходов станции по поверхности вала при текстурировании.

Показатель эргодичности, определяющий вид функции, зависит от конструктивных параметров установки электроэрозионного текстурирования и точности ее настройки. Применительно к установке компании «Sarclad-Herkules» $\xi = 1,02$ [11].

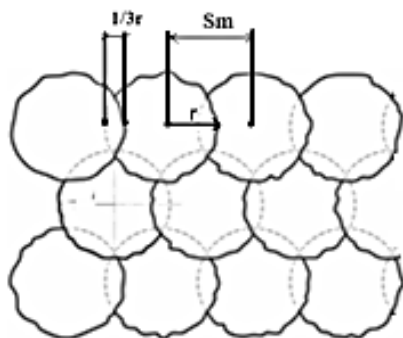


Рис. 1. Схема расположения микрократеров с перекрытием

Fig. 1. Layout of microcraters with an overlap

Анализ текстуры шероховатости, сформированной электроэрозионным методом, показывает, что микрократеры примыкают друг к другу с перекрытием в среднем на $1/3r$ (см. **рис. 1**). Поскольку шаг неровностей при таком расположении микрократеров $S_m = \frac{5}{3}r$, то частотный параметр, определяемый как $\frac{1}{S_m}$, равен

$$P_c = \frac{3}{5} \sqrt{\frac{k_1 k_2 k_3 f}{Dn_B S}} \xi^n n^{1/n}, \quad (7)$$

или, приводя к стандартной размерности см^{-1} , рекомендуется использовать следующее соотношение:

$$P_c = 6 \sqrt{\frac{k_1 k_2 k_3 f}{Dn_B S}} \xi^n n^{1/n}. \quad (8)$$

Высотный параметр текстурируемой поверхности определим по объему выплавленного микрократера в виде сегмента, который для сферической формы равен

$$V = \frac{\pi h r^2}{2} + \frac{\pi h^3}{6}, \quad (9)$$

где h – глубина выплавленного микрократера.

Поскольку шаговый параметр текстурированной поверхности намного больше высотного параметра, то вторым слагаемым при определении объема выплавленного микрократера можно пренебречь и считать, что уменьшение объема его на величину $\frac{\pi h r^2}{6}$ компенсируется снижением объема реального микрократера за счет его перекрытия. В дальнейших расчетах объема микрократера принимаем его приближенное значение $\frac{\pi h r^2}{2}$.

На расплавление единичного углубления материала вала необходимо затратить энергию

$$q_{ед} = \frac{\pi}{2} [c\rho(\theta_{пл} - \theta_{о.с}) + a_o] h r^2, \quad (10)$$

где $c\rho$ – объемная теплоемкость материала вала; $\theta_{пл}$ – температура плавления материала вала; $\theta_{о.с}$ – температура окружающей среды; a_o – скрытая теплота плавления материала вала.

Допускаем, что распределение тепловых потоков между валком и электродом пропорционально теплопроводности их материалов, поэтому между ними имеется следующее соотношение:

$$q_B = q_э \frac{\lambda_B}{\lambda_э}, \quad (11)$$

где λ_B – коэффициент теплопроводности материала вала; $\lambda_э$ – коэффициент теплопроводности материала электрода.

Общие затраты энергии, необходимые для выплавления углублений в единицу времени, составляют

$$Q = \frac{\pi}{2} [c\rho(\theta_{пл} - \theta_{о.с}) + a_o] h r^2 k_1 k_2 k_3 f. \quad (12)$$

Полагаем, что энергия искрового разряда распределяется между поверхностью вала и электродом пропорционально их коэффициентам теплопроводности, тогда, выражая тепловую энергию через подводимую к установке электроэнергию и решая уравнение (12) относительно глубины выплавленного кратера с учетом коэффициента эргодичности и соотношения (2), имеем

$$h = \frac{2JU\eta_1\tau}{\pi [c\rho(\theta_{пл} - \theta_{о.с}) + a_0] r^2 k_1 k_2 k_3 f} \times \frac{\lambda_B}{(\lambda_B + \lambda_3) \xi^n n^{1/n}}, \quad (13)$$

где J и U – соответственно сила тока и напряжение источника питания; η_1 – коэффициент полезного действия силовой цепи установки.

Полученные результаты и их обсуждение

Сопоставление расчетных и экспериментальных параметров шероховатости прокатных валков, текстурированных электроэрозионным методом при различных числах проходов станций, иллюстрирует **рис. 2**.

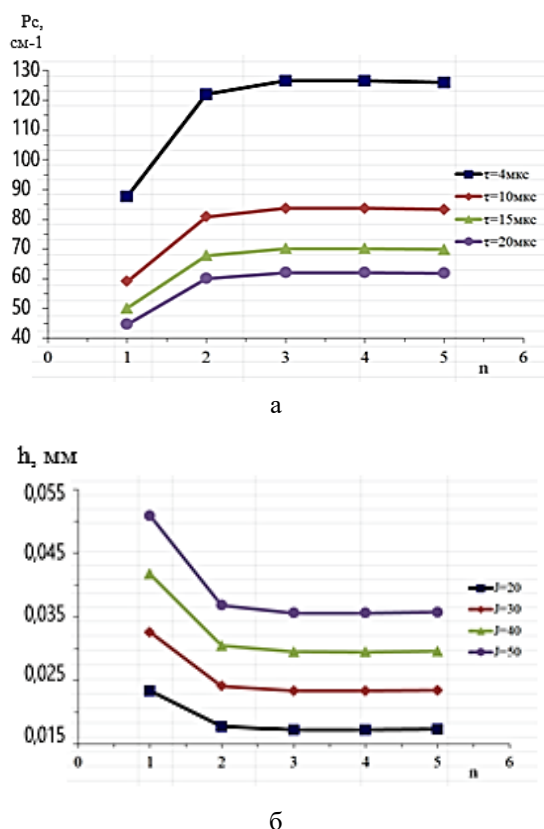


Рис. 2. Зависимость параметров шероховатого слоя от числа проходов: а – плотности пиков; б – высотного параметра шероховатости

Fig. 2. Dependence between the rough layer parameters and the number of passes: a is peak density; б is height of roughness

Из графиков, приведенных на **рис. 2**, видно, что параметры текстуры поверхности рабочих валков, подвергнутых процессу ЭРТ, полностью формируются при первых трех проходах станций текстурирующей установки.

Последующие проходы не изменяют параметры текстуры, сформированной этими тремя проходами. Это может быть объяснено тем, что при настроенных режимах текстурирующей установки первый проход формирует смешанную текстуру исходной шероховатости и шероховатости, полученной после этого прохода. Второй проход на базе смешанной текстуры формирует квазифинальную структуру текстурированного слоя, изменяя частотные и высотные параметры в 1,3-1,5 раза. Третий проход, изменяя параметры текстурированного слоя в значительно меньшей степени, не более чем на 5%, формирует окончательную текстуру обрабатываемой поверхности. Последующие проходы станций текстурирующей установки воспроизводят текстуру, полученную на предыдущих проходах.

Уменьшение времени действия дугового разряда в 5 раз с 20 до 4 мкс увеличивает плотность пиков P_c с 60 до 125 $см^{-1}$, то есть в 2,1 раза. Повышение силы тока с 20 до 50 мкА способствует увеличению высотного параметра с 0,017 до 0,037 мм, то есть в 2,2 раз.

Результаты влияния режимов обработки коррелируют с выводами назначения режимов текстурирования, рекомендованных в работе [20].

Заключение

Выполненные теоретические исследования позволяют установить взаимосвязь между конструктивными параметрами установки для обработки поверхности валков методом ЭРТ (количество станций, количество электродов), технологическими режимами (ток, напряжение, частота и время действия разрядов), теплофизическими свойствами обрабатываемого материала (теплоемкость, теплопроводность) и параметрами текстурированного слоя (частотными и высотными). Это позволяет назначать новые и корректировать существующие режимы текстурирования поверхности валков дрессировочных станков с целью получения холоднокатаного листа в соответствии с требованиями потребителей.

Полученные результаты могут быть полезными для специалистов в области обработки металлов давлением и использованы операторами при настройке оборудования для обработки валков методом ЭРТ с сокращением пробных настроек.

Список источников

1. Tang Jing Gang. Определение и анализ шероховатости поверхности холоднокатаных стальных листов // Iron Steel Vanadium Titanium. 2004, vol. 25, no. 2, pp. 66-70.

2. Choosing the materials performance and the form of an indenter for arrangement of texture at the surface of skin mill rolls / Ogarkov N.N., Platov S.I., Zvyagina E.Yu., Molochkova O.S., Makarova I.V. / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 5971, no. 1, p. 012195.
3. Адамек К.Х. Формирование микрогеометрии поверхности прокатных валков на текстурирующих станках // Сталь. 2001. №8. С. 48.
4. Research on Service Performances between Different Textured Cold Rolls / Sun Dale, Yao Lisong, Fan Qun and others // AIS Tech 2006 Proceedings, 2006, vol. II, pp. 285-289.
5. Оценка эффективности электроэрозионного текстурирования рабочих валков / А.М. Раимбеков, В.И. Тевс, С.Б. Заколюкин и др. // Сталь. 2006. № 2. С. 38-40.
6. Влияние электроэрозионно-обработанных рабочих валков дрессировочного стана на микротопографию поверхности проката / Ю.А. Бодяев, А.В. Горбунов, А.Ф. Радионов и др. // Сталь. 2006. №5. С. 90-94.
7. Influence of deformation and speed conditions of hot rolling in the finishing stands of wide hot strip mills on ST3SP steel structure / Mukhin Y.A., Solovyov V.N., Bobkov E.B. // Chernye Metallurgy. 2018, no. 11, pp. 12-16.
8. Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю., Залетов Ю.Д. Влияние способа обработки рабочей поверхности валка на качество холоднокатаного листа // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. С. 39-45.
9. Фрактальность структур как инструмент управления показателями качества металлопродукции / Г.Ш. Рубин, Э.М. Голубчик, К.С. Лукьянова и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №4. С. 76-84.
10. Горбунов А.В. Совершенствование технологии производства холоднокатаной листовой стали с требуемыми характеристиками микротопографии поверхности для автомобильной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Горбунов Андрей Викторович. Магнитогорск, 2011. 179 с.
11. Огарков Н.Н., Беляев А.И., Мухаметдинова Н.П. Формирование параметров поверхностного слоя прокатных валков. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 89 с.
12. Flexural Forces of the Working Rollers and the Broadening of Thin Steel Strip in Hot Rolling / Koinov, T., Bel'skii, S.M., Mukhin, Y.A., Chuprov, V.B. // Steel in Translation this link is disabled. 2018, vol. 48, no. 5, pp. 277-283.
13. Wilson G., Parker C. The Use of EDT Textured Rolls in a Wide Range of Application // 44th MWSP Conference Proceedings. 2002, vol. XL, pp. 889-898.
14. Utsch M, Vinke P. EDT – Roll Texturing Technology as a Base of Modern Surfaces in Automotive Cold Mill Flat Products // MS&T.: Conference Proceeding. 2004, pp. 599-607.
15. Paesold Dieter. Метод текстурирования при производстве холоднокатаных стальных полос. Texturierverfahren bei der Herstellung kaltgewalzter Stahlbänder // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2006, vol. 37, no. 7, pp. 619-622.
16. Development of a scratch test method to determine adhesion and strength properties of coated steel sheets / Belov V.K., Gubarev E.V., Papshev A.V., Gofman N.G., Begletsov D.O. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 597, no. 1, p. 012012.
17. Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю., Исмагилов Р.Р. Теоретический анализ формирования шероховатости автомобильного листа при дрессировке в валках, обработанных дробью // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2019. Т. 62. №8. С. 600-605.
18. Лазерное текстурирование поверхности прокатных валков. Laser texturing of rolled surfaces / He Yunfeng, Du Dong, Liu Ying and others // XiongLijuan Tsinghua Sci. and Technol. 2003, vol. 8, no. 2, pp. 236-240.
19. Wang Hong-bo, Jing Yu-an. Применение технологии лазерного текстурирования в производстве стальных полос // J. Anshan Inst. Iron and Steel Technol. 2000, vol. 23, no. 2, pp. 95-98.
20. О режимах текстурирования поверхности рабочих валков для производства листа с высококачественной микротопографией поверхности. Ч. 2. О выборе наиболее эффективных режимов текстурирования поверхности рабочих валков на установках ЭРТ HERKULES И PROFITEX 60S // Белов В.К., Беглецов Д.О., Дьякова М.В., Ласьков С.А., Жумагалиев Н.И., Журавлёв А.М. // Черная металлургия. 2017. №3 (1407). С. 83-88.
21. Польшин А.А., Бельский С.М., Мухин Ю.А. Особенности технологии текстурирования рабочих валков станов холодной прокатки // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2017. №3 (33). С. 36-39.
22. Шацких И.И., Цымбал Т.В. Совершенствование метода электроэрозионной обработки валков станов холодной прокатки путем оптимизации режимов обработки // Современные материалы, техника и технологии. 2017. №2 (10). С. 139-147.

References

1. Tang Jing Gang. Test and analysis on surface roughness and micro-profile of cold rolled steel sheets. Iron Steel Vanadium Titanium. 2004;25(2):66-70.
2. Ogarkov N.N., Platov S.I., Zvyagina E.Yu., Molochkova O.S., Makarova I.V. Choosing the materials performance and the form of an indenter for arrangement of texture at the surface of skin mill rolls. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019;5971(1):012195.

3. Adamek K.Kh. Forming microgeometry of the mill roll surface on texturing machines. *Stal* [Steel]. 2001;(8):48. (In Russ.)
4. Sun Dale, Yao Lisong, Fan Qun et al. Research on service performances between different textured cold rolls. *AIS Tech 2006 Proceedings*. 2006;II:285-289.
5. Raimbekov A.M., Tevs V.I., Zakolyukin S.B. et al. Assessing efficiency of electrical discharge texturing of work rolls. *Stal* [Steel]. 2006;(2):38-40. (In Russ.)
6. Bodyaev Yu.A., Gorbunov A.V., Radionov A.F. et al. Effect of electrical discharge textured work rolls of a skin pass mill on surface microtopography of rolled products. *Stal* [Steel]. 2006;(5):90-94. (In Russ.)
7. Mukhin Yu.A., Solovyov V.N., Bobkov E.B. Influence of deformation and speed conditions of hot rolling in the finishing stands of wide hot strip mills on ST3SP steel structure. *Chernye Metally*. 2018;(11):12-16.
8. Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu., Zaletov Yu.D. Effect of a roll working surface treatment method on the quality of cold rolled sheets. *Sovremennye metody konstruirovaniya i tekhnologii metallurgicheskogo mashinostroeniya: mezhdunar. sb. nauch. tr.* [Current methods of design and technologies of metallurgical machine engineering: international proceedings]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, pp. 39-45. (In Russ.)
9. Rubin G.Sh., Golubchik E.M., Lukyanova K.S. et al. Fractality of structures as a tool of controlling quality parameters of steel products. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016;14(4):76-84. (In Russ.)
10. Gorbunov A.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva kholodnokatanoy listovoy stali s trebuyemyimi kharakteristikami mikrotopografii poverkhnosti dlya avtomobilnoy promyshlennosti: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the manufacturing technology of cold rolled steel with the required parameters of surface microtopography for the automotive industry. PhD (Eng.) thesis]. Magnitogorsk, 2011. 179 p.
11. Ogarkov N.N., Belyaev A.I., Mukhametdinova N.P. *Formirovanie parametrov poverkhnostnogo sloya prokatnykh valkov* [Forming the parameters of the mill roll surface layer]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 89 p. (In Russ.)
12. Koinov T., Belskii S.M., Mukhin Yu.A., Chuprov V.B. Flexural forces of the working rollers and the broadening of thin steel strip in hot rolling. *Steel in Translation*. 2018;48(5):277-283.
13. Wilson G., Parker C. The use of EDT textured rolls in a wide range of application. 44th MWSP Conference Proceedings. 2002;XL:889-898.
14. Utsch M., Vinke P. EDT – Roll texturing technology as a base of modern surfaces in automotive cold mill flat products. *MS&T.: Conference Proceeding*, 2004, pp. 599-607.
15. Paesold D. *Texturiervfahren bei der Herstellung kaltgewalzter Stahlbänder*. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2006;37(7):619-622.
16. Belov V.K., Gubarev E.V., Papshev A.V., Gofman N.G., Begletsov D.O. Development of a scratch test method to determine adhesion and strength properties of coated steel sheets. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;597(1):012012.
17. Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu., Ismagilov R.R. A theoretical analysis of forming roughness of automotive sheets during skin pass rolling in shotblast rolls. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [Izvestiya. Ferrous Metallurgy]. 2019;62(8):600-605. (In Russ.)
18. He Yunfeng, Du Dong, Liu Ying, Xiong Lijuan et al. Laser texturing of rolled surfaces. *Tsinghua Science and Technology*. 2003;8(2):236-240.
19. Wang Hong-bo, Jing Yu-an. Application of laser texturing technology in production of steel strip. *Journal of Anshan Institute of Iron and Steel Technology*. 2000;23(2):95-98.
20. Belov V.K., Begletsov D.O., Dyakova M.V., Laskov S.A., Zhumagaliev N.I., Zhuravlev A.M. Modes of the surface texturing of work rolls for manufacturing sheets with the high quality surface microtopography. Part 2. Selecting the most efficient modes of work roll surface texturing on the HERKULES and PROFITEX 60S electrical discharge texturing machines. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous Metallurgy]. 2017;(3(1407)):83-88. (In Russ.)
21. Polshin A.A., Belskiy S.M., Mukhin Yu.A. Features of the texturing process of work rolls for cold rolling mills. *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Lipetsk State Technical University]. 2017;(3(33)):36-39. (In Russ.)
22. Shatskikh I.I., Tsymbal T.V. Improving an electrical discharge treatment method for cold rolling mill rolls by optimizing treatment modes. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Current Materials, Engineering and Technologies]. 2017;(2(10)):139-147. (In Russ.)

Поступила 06.03.2023; принята к публикации 24.05.2023; опубликована 27.06.2023
Submitted 06/03/2023; revised 24/05/2023; published 27/06/2023

Огарков Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, член диссертационного совета, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: ogarkovnikolai@mail.ru.

Звягина Елена Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: zviagina_mmf@mail.ru. ORCID 0009-0001-4948-5366

Nikolai N. Ogarkov – DrSc (Eng.), Professor of the Department of Metal Forming Machines and Technologies and Mechanical Engineering, member of the thesis board, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: ogarkovnikolai@mail.ru.

Elena Yu. Zvyagina – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Metal Forming Machines and Technologies and Mechanical Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: zvyagina_mmf@mail.ru. ORCID 0009-0001-4948-5366