

Оригинальная статья

УДК 621.762

DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-100-105

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЧЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ**

© 2022 г. С. В. Харди́ков¹, С. А. Граш́ков¹, Е. В. Агее́ва²

¹Курская государственная сельскохозяйственная академия (Россия, 305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70)

²Юго-Западный государственный университет (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94)

Аннотация. Представлены результаты анализа характеристик спеченных изделий из хромосодержащих электроэрозионных порошков. Одним из основных направлений развития технологии машиностроения в настоящее время является совершенствование существующих и разработка новых безотходных, экологически чистых, материалосберегающих производственных процессов. В решении этой проблемы определенная роль принадлежит порошковой металлургии. В последние годы большое внимание уделяется развитию методов изготовления порошковых материалов высокой плотности. Для реализации исследований были выбраны отходы хромосодержащей стали марок ШХ15 и Х13. Путем электрической эрозии на установке электроэрозионного диспергирования получили порошковые материалы. В качестве рабочей среды диспергирования был выбран бутиловый спирт. Консолидация порошка проведена методом искрового плазменного спекания с использованием системы SPS 25-10 (Thermal Technology, США). Установлено, что микротвердость спеченного образцов стали марок ШХ15 и Х13 составляет 154 и 461 НВ. Установлено, что пористость спеченных образцов стали марок Х13 и ШХ15 равна 3,34 (95 % пор имеют размер до 2 мкм) и 1,72 % (90 % пор имеют размер до 1 мкм). По результатам исследований установлено, что микротвердость спеченного образца из стали марки ШХ15 ниже, чем у образца из стали марки Х13. Пористость у образца из стали марки ШХ15 ниже, чем у образца из стали марки Х13. Спеченные изделия из порошкового материала стали марки Х13 имеют более твердую поверхность и могут использоваться при производстве мелких нагруженных деталей.

Ключевые слова: электроэрозионное диспергирование, сталь марки ШХ15, сталь марки Х13, микротвердость, пористость, спирт бутиловый

Для цитирования: Харди́ков С.В., Граш́ков С.А., Агее́ва Е.В. Анализ характеристик спеченных изделий из хромосодержащих электроэрозионных порошков // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 4 (42). С. 100 – 105. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-100-105](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-100-105)

Original article

**ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF SINTERED PRODUCTS MADE OF
CHROMIUM-CONTAINING ELECTROEROSIVE POWDERS**

© 2022 S. V. Hardikov¹, S. A. Gashkov¹, E. V. Ageeva²

¹Kursk State Agricultural Academy (70 Karl Marx str., Kursk, 305021, Russian Federation)

²Southwest State University (94 ul. 50 let Oktyabrya, Kursk, 305040, Russian Federation)

Abstract. The article presents the results of the analysis of the characteristics of sintered products made of chromium-containing electroerosive powders. One of the main directions of the development of mechanical engineering technology at present is the improvement of existing and the development of new waste-free, environmentally friendly, material-saving production processes. Powder metallurgy plays a certain role in solving this problem. In recent years, much

attention has been paid to the development of methods for the manufacture of high-density powder materials. For the implementation of the planned studies, waste chromium-containing steels SHX15 and H13 have been selected. Powder materials were obtained by electrical erosion at the electro-erosive dispersion unit developed by the authors. Butyl alcohol was chosen as the working medium of dispersion. The powder was consolidated by the spark plasma sintering method using the spark plasma sintering system SPS 25-10 (Thermal Technology, USA). It is established that the microhardness of the sintered steel sample SHH15 is equal to 154 HV. The microhardness of the sintered steel sample H13 is equal to 461 HV. It was found that the porosity of the sintered steel sample H13 is equal to 3.34 %, and also that 95 % of the pores have a size of up to 2 microns. The porosity of the sintered steel sample SHH15 is 1.72 %, and also that 90 % of the pores have a size of up to 1 microns. According to the results of the research, it was found that the microhardness of the sintered sample made of steel SHH15 is lower than that of the sample made of steel H13. The porosity of a sample made of steel SHH15 is lower than that of a sample made of steel H13. Therefore, it can be concluded that sintered products made of powder material steel H13 have a harder surface and can be used in the production of small loaded parts.

Keywords: electroerosive dispersion, SHH15, H13, microhardness, porosity, butyl alcohol

For citation: Hardikov S.V., Grashkov S.A., Ageeva E.V. Analysis of the characteristics of special products made of chromium-containing electroerosive powders. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022, no. 4 (42), pp. 100 – 105. (In Russ.). [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-100-105](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-100-105)

Введение

Одним из основных направлений развития технологии машиностроения в настоящее время является совершенствование существующих и разработка новых безотходных, экологически чистых, материалосберегающих производственных процессов, то есть таких процессов, которые обеспечивают получение заготовок с минимальными припусками под последующую механическую обработку или вообще без них при одновременном снижении расхода дефицитных материалов. В решении этой проблемы определенная роль принадлежит порошковой металлургии. В последние годы большое внимание уделяется развитию методов изготовления порошковых материалов высокой плотности (горячее вакуумное прессование, горячая и холодная штамповка, экструзия, ковка, прокатка).

Для получения металлических порошков большой интерес вызывает метод электроэрозионного диспергирования. Этот метод является одним из наиболее перспективных способов получения порошков. Метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) отличается относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, позволяет получить порошки из отходов производства и потребления [1 – 11]. Тем не менее, широкое использование метода ЭЭД сдерживается отсутствием информации по оптимизации режимов порошкообразования и свойствам полученных порошков. Для широкого использования рассматриваемого метода требуются обширные теоретические и экспериментальные исследования [12 – 21].

Целью настоящей работы является проведение исследований характеристик спеченных изделий из хромосодержащих электроэрозионных порошков.

Методы и принципы исследования

Для реализации намеченных исследований были выбраны хромосодержащих сталей марок ШХ15 и Х13. Путем электрической эрозии на установке электроэрозионного диспергирования получили порошковые материалы. В качестве рабочей среды диспергирования был выбран бутиловый спирт.

Консолидация порошка проведена методом искрового плазменного спекания с использованием системы искрового плазменного спекания SPS 25-10 (Thermal Technology, США). Исходный материал размещали в матрице из графита, помещаемой под пресс в вакуумной камере. Электроды, интегрированные в механическую часть пресса, подводят электрический ток к матрице и создают искровые разряды между спекаемыми частицами материала, обеспечивая интенсивное взаимодействие. Система SPS 25-10 предназначена для спекания порошковых материалов под давлением (метод искрового плазменного спекания). В искровом плазменном спекании используется импульсный постоянный ток с высоким значением силы тока для быстрого и равномерного распределения энергии искровой плазмы между частицами. Система SPS 25-10 позволяет спекать электропроводные, неэлектропроводные и композитные материалы до высокой степени плотности при максимальной температуре 2400 °С в аргоне, азоте или вакууме (относительно конструкции матрицы, размера образца и первоначальных характеристик материала) при предельном уровне вакуума 10^{-3} мм. рт. столба (чистая, пустая, сухая комната и дегазированная камера) и мощности пресса 25 т общего усилия.

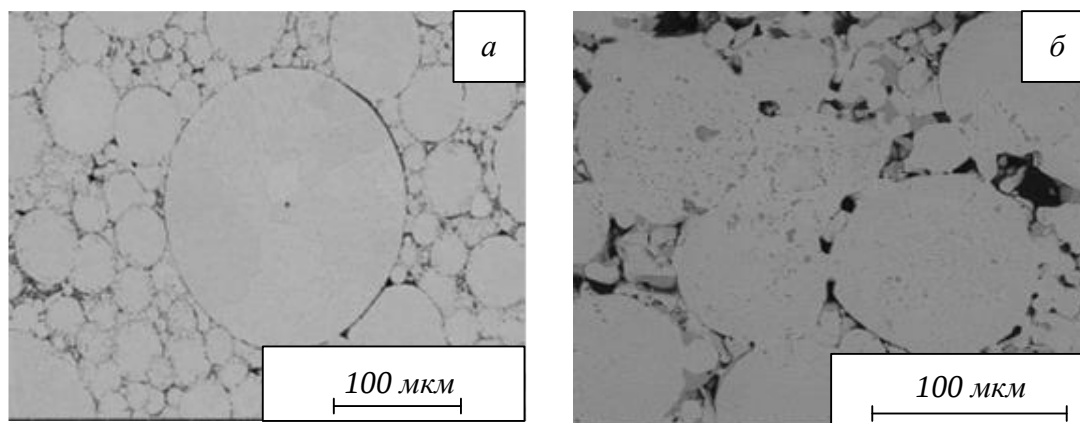


Рис. 1. Микроструктура образцов стали марок X13 (а) и ШХ15 (б)
Fig. 1. Microstructure of samples of steel grades Kh13 (a) and ShKh15 (б)

Основные результаты

Металлографическим методом исследовали пористости спеченных образцов (по поперечному шлифу) (рис. 1, 2(N – отношение количества пор, определенного размера. Ко всему объему пор; D – средний размер пор), табл. 1). Установлено, что микротвердость спеченных образцов стали марок ШХ15 и X13 составляет 154 HV и 461 HV.

Микротвердость спеченных образцов приведена в табл. 2.

Установлено, что пористость спеченных образцов стали марок X13 и ШХ15 равна 3,34 (95 % пор имеют размер до 2 мкм) и 1,72 % (90 % пор имеют размер до 1 мкм).

Выводы

По результатам исследований, направленных на изучение характеристик спеченных изделий из хромосодержащих электроэрозионных порошков, установлено, что микротвердость спеченных образцов из стали марки ШХ15 ниже, чем у стали марки X13. Пористость у образцов из стали марки ШХ15 ниже, чем у образцов из стали марки X13. Спеченные изделия из порошкового материала стали марки X13 имеют более твердую поверхность и могут использоваться при производстве мелких нагруженных деталей, большая пористость в срав-

нении со спеченными изделиями из стали марки ШХ15 позволит лучше удерживать смазку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ageev E.V., Loktionova O.G., Altukhov A.Y. Obtaining and research of additive products from electro-erosive cobalt-chrome powders // Materials Science Forum. 2020. Vol. 989. P. 801–805. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.801>
2. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Pereverzev A.S. Study of the additive products of electroerosive cobalt-chrome powders by x-ray methods // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2020. Vol. 14. No. 6. P. 1279–1286. <https://doi.org/10.1134/S1027451020060221>
3. Ageev E.V., Pereverzev A.S. Microstructure and phase composition of electroerosion materials based on bronze used for the application of metallization and galvanic coatings // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2020. Vol. 14. No. 6. P. 1287–1289. DOI: 10.1134/S1027451020060233\
4. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Valguzov D.I. Microanalysis of additive products from

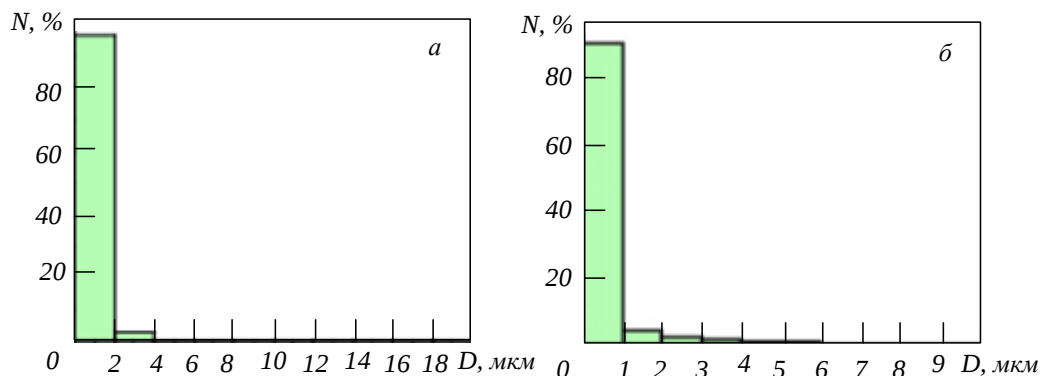


Рис. 2. Пористость образцов стали марок X13 (а) и ШХ15 (б)
Fig. 2. Porosity of samples of steel grades Kh13 (a) and ShKh15 (б)

Т а б л и ц а 1

Пористость (металлографический метод)**Table 1. Porosity (metallographic method)**

Образец	Пористость, %	$D_{\min}$	$D_{\max}$	D_{med}
X13	3,34	0,1	15,3	0,6
ШХ15	1,72	0,1	9,8	0,1

Пр и м е ч а н и е. $D_{\min}$, $D_{\max}$ и D_{med} – минимальный, максимальный и средний размеры пор в образце.

Т а б л и ц а 2

Микротвердость**Table 2. Microhardness**

Номер отпечатка	Значение HV при нагрузке 200 г образцов стали марки	
	ШХ15	X13
1	152	436
2	146	485
3	141	469
4	139	478
5	143	436
6	144	453
7	149	456
8	277	450
9	136	475
10	112	472

electro-erosion cobalt-chrome powders // Solid State Phenomena. 2020. Vol. 299. P. 508–512. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.508>

5. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Korolyov M.S. The phase composition of products from electro-erosive cobaltchrome powders, obtained by additive technologies // Solid State Phenomena. 2020. Vol. 299. P. 611–616. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.611>
6. Pykhtin A.I., Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Emelyanov I.P. X-ray spectral microanalysis of sintered samples from electroerosive cobalt-chromium powders // Journal of Applied Engineering Science. 2018. Vol. 16. No. 1. P. 83–86. <https://doi.org/10.5937/jaes16-16497>
7. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Pikalov S.V., Serebrovskii V.I., Safronov R.I. Research of mechanical properties of the sintered samples from electro-erosion cobalt-chromium powder // International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018. Vol. 7. No. 2. P. 28–29. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.2.9895>
8. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Gulidin S.S. X-ray microanalysis of hardmetal powder, produced by electroerosion dispersion of vk8 alloy in kerosene environment // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 422–427. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.422>
9. Altukhov A.Yu., Ageev E.V., Kuznetsova L.P., Kuznetsova L.P., Pikalov S.V. Powder sintering of high speed steel // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2016. Vol. 7. No. 2. P. 717–724.
10. Altukhov A.Y., Latypova G.R., Andreeva L.P. Effect of the technological melting parameters of cobalt–chromium powders produced by electric discharge dispersion on the properties of the additive products made from them // Russian Metallurgy (Metally). 2022. Vol. 2022. No. 6. P. 694–698. <https://doi.org/10.1134/S0036029522060040>
11. Пат. 2681238. Способ получения спеченных изделий из электроэрозионных вольфрам-содержащих нанокмпозиционных порошков / Е.В. Агеев, Е.В.Агеева, А.Ю. Алтухов, Е.П. Новиков, А.С. Переверзев; заявка № 2018112280 от 05.04.2018.
12. Пат. 2018116408. Способ получения металлического нанопорошка из отходов свинцовой бронзы в дистиллированной воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, А.С. Переверзев; заявл. 03.05.2018; опубл. 09.01.2020. Бюл. № 1.
13. Пат. 2713900. Способ получения спеченных изделий из изостатически спрессованных электроэрозионных нанокмпозиционных порошков свинцовой бронзы / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, А.С. Переверзев; заявка № 2018120632 от 05.06.2018.
14. Агеев Е.В., Переверзев А.С., Горохов А.А. Исследование микроструктуры спеченных электроэрозионных нанокмпозиционных порошков свинцовой бронзы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 3 (28). С. 29–35.
15. Агеева Е.В., Переверзев А.С., Осьминина А.С. Влияние напряжения на электродах на производительность процесса электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы. В кн.: Поколение будущего. Взгляд молодых ученых: сб. науч. ст. 6-й Междунар. молод. науч. конф. Курск, 2017. С. 28–30.
16. Агеева Е.В., Переверзев А.С., Осьминина А.С. Исследование влияния емкости разрядных конденсаторов на производительность процесса электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы в осветительном керосине. В кн.: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации.

- Сб. тр. XIII Междунар. науч.-практич. конф. Курск, 2018. С. 10–13.
17. Грашков С.А., Колмыков В.И. Повышение износостойкости стали ХВГ для деталей топливной аппаратуры дизелей методом нитроцементации // Известия Юго-Западно-го государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 43–56.
 18. Алехин Ю.Г., Грашков С.А., Угримов А.С. Инновационная технология восстановления изношенных деталей автотракторной техники путем применения электро-искровых покрытий на основе электро-эрозионных наноматериалов. В кн.: Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А., 2016. С. 14–17.
 19. Белан Э.А., Грашков С.А., Алехин Ю.Г. Показатели качества и технического уровня восстановления коленчатых валов. В кн.: Перспективное развитие науки, техники и технологий. Сборник научных статей материалы 6-й Международной научно-практической конференции. 2016. С. 22–26.
 20. Агеева Е.В., Грашков С.А., Сысоев А.А. Микротвердость спеченных изделий из электроэрозионных коррозионно-стойких порошков, полученных в воде. В кн.: Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. тр. 7-й Междунар. молодежной научно-практ. конф. 2020. С. 10–12.
 21. Алехин Ю.Г., Грашков С.А., Угримов А.С. Качество наплавленных покрытий лемехов плугов. В кн.: Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. науч. тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. 2017. С. 11–13.
- ### REFERENCES
1. Ageev E.V., Loktionova O.G., Altukhov A.Y. Obtaining and research of additive products from electro-erosive cobalt-chrome powders. *Materials Science Forum*. 2020, vol. 989, pp. 801–805. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.801>
 2. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Pereverzev A.S. Study of the additive products of electroerosive cobalt-chrome powders by x-ray methods. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2020, vol. 14, no. 6, pp. 1279–1286. <https://doi.org/10.1134/S1027451020060221>
 3. Ageev E.V., Pereverzev A.S. Microstructure and phase composition of electroerosion materials based on bronze used for the application of metallization and galvanic coatings. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2020, vol. 14, no. 6, pp. 1287–1289. <https://doi.org/10.1134/S1027451020060233>
 4. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Valguzov D.I. Microanalysis of additive products from electro-erosion cobalt-chrome powders. *Solid State Phenomenon*. 2020, vol. 299, pp. 508–512. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.508>
 5. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Korolyov M.S. The phase composition of products from electro-erosive cobalt-chrome powders, obtained by additive technologies. *Solid State Phenomenon*. 2020, vol. 299, pp. 611–616. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.611>
 6. Pykhtin A.I., Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Emelyanov I.P. X-ray spectral microanalysis of sintered samples from electroerosive cobalt-chromium powders. *Journal of Applied Engineering Science*. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 83–86. <https://doi.org/10.5937/jaes16-16497>
 7. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Pikalov S.V., Serbrowskii V.I., Safronov R.I. Research of mechanical properties of the sintered samples from electro-erosion cobalt-chromium powder. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. 2018, vol. 7, no. 2, pp. 28–29. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.2.9895>
 8. Ageev E.V., Altukhov A.Y., Gulidin S.S. X-ray microanalysis of hardmetal powder, produced by electroerosion dispersion of vk8 alloy in kerosene environment. *Materials Science Forum*. 2016, vol. 870, pp. 422–427. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.422>
 9. Altukhov A.Yu., Ageev E.V., Kuznetsova L.P., Kuznetsova L.P., Pikalov S.V. Powder sintering of high speed steel. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2016, vol. 7, no. 2, pp. 717–724.
 10. Altukhov A.Y., Latypova G.R., Andreeva L.P. Effect of the technological melting parameters of cobalt-chromium powders produced by electric discharge dispersion on the properties of the additive products made from them. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2022, vol. 2022, no. 6, pp. 694–698. <https://doi.org/10.1134/S0036029522060040>
 11. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Novikov E.P., Pereverzev A.S. A method for obtaining sintered products from electroerosive tungsten-containing nanocomposite pow-

- ders. Pat. 2681238. Application no. 2018112280 dated 05.04.2018.
12. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pereverzev A.S. Pat. A method for obtaining metal nanopowder from lead bronze waste in distilled water; applicant and patent holder of the South-Western State University. No. 2018116408; application. 03.05.2018; publ. 09.01.2020. Byul. no. 1.
 13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Pereverzev A.S. A method for obtaining sintered products from isostatically pressed electroerosive nanocomposition powders of lead bronze. Pat. 2713900. Application no. 2018120632 dated 05.06.2018.
 14. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Gorokhov A.A. Investigation of the microstructure of sintered electroerosive nanocomposition powders of lead bronze. *Izvestiya Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2018, no. 3 (28), pp. 29–35.
 15. Ageeva E.V., Pereverzev A.S., Osmirina A.S. The effect of voltage on electrodes on the performance of the process of electroerosive dispersion of lead bronze waste. In: *Generation of the future: The view of young scientists: collection of scientific articles of the 6th International. young. Scientific conference*. Kursk, 2017, pp. 28–30.
 16. Ageeva E.V., Pereverzev A.S., Osmirina A.S. Investigation of the effect of the capacitance of discharge capacitors on the performance of the process of electroerosive dispersion of lead bronze waste in lighting kerosene. In: *Modern instrumental systems, information technologies and innovations: Sat. tr. XIII International Scientific and Practical Conference*. Kursk, 2018, pp. 10–13.
 17. Grashkov S.A., Kolmykov V.I. Increasing the wear resistance of HVG steel for diesel fuel equipment parts by nitrocementation method. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Engineering and Technology*. 2020, vol. 10, no. 1, pp. 43–56.
 18. Alekhin Yu.G., Grashkov S.A., Ugrimov A.S. Innovative technology of restoration of worn parts of automotive equipment by using electric spark coatings based on electroerosive nanomaterials. In: *Progressive technologies and processes. Collection of scientific articles of the 3rd International Youth Scientific and Practical Conference*, 2016, pp. 14–17.
 19. Belan E.A., Grashkov S.A., Alyokhin Yu.G. Indicators of quality and technical level of crankshaft restoration. *Perspective development of science, technology and technologies. collection of scientific articles materials of the 6th International Scientific and Practical Conference*. 2016, pp. 22–26.
 20. Ageeva E.V., Grashkov S.A., Sysoev A.A. Microhardness of sintered products from electroerosive corrosion-resistant powders obtained in water. In: *Product quality: control, management, improvement, planning: sat. sci. tr. 7th International. youth Scientific and Practical conference*, 2020, pp. 10–12.
 21. Alekhin Yu.G., Grashkov S.A., Ugrimov A.S. The quality of deposited coatings of ploughshares. In: *Quality in production and socio-economic systems: collection of scientific tr. 5th International Scientific-technical conf*, 2017, pp. 11–13.

Сведения об авторах

Сергей Владимирович Харди́ков, к.т.н., доцент кафедры процессы и машины в агроинженерии, Курская государственная сельскохозяйственная академия
E-mail: hardikov1990@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3835-6486

Сергей Александрович Граш́ков, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой процессы и машины в агроинженерии, Курская государственная сельскохозяйственная академия
E-mail: rigii46@mail.ru
ORCID: 000-0002-0870-0525

Екатерина Владимировна Агеева, д.т.н., профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет
E-mail: ageeva-ev@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2976-2813

Information about the authors

Sergey V. Hardikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Machines in Agroengineering, Kursk State Agricultural Academy
E-mail: hardikov1990@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3835-6486

Sergey A. Grashkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Processes and Machines in Agroengineering, Kursk State Agricultural Academy
E-mail: rigii46@mail.ru
ORCID: 000-0002-0870-0525

Ekaterina V. Ageeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwestern State University
E-mail: ageeva-ev@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2976-2813

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare that there is no conflict of interest.*

Поступила в редакцию 01.11.2022
 После доработки 11.11.2022
 Принята к публикации 14.11.2022

Received 01.12.2022
 Revised 11.11.2022
 Accepted 14.11.2022