

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-34-43>

## Структура и свойства электроэрозионных порошков, полученных из отходов латуни ЛС58-3 в спирте изопропиловом

Е. В. Агеева<sup>1</sup> ✉, В. В. Серебровский<sup>1</sup>, А. С. Переверзев<sup>1</sup>, Л. С. Аболмасова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования.** Изучение структуры и свойств порошков, полученных электроэрозией сплава ЛС58-3 в углеродсодержащей среде – спирте изопропиловом.

**Методы.** Процесс электроэрозии отходов сплава ЛС58-3 проводили на запатентованной установке, в качестве металлоотходов применялись отходы сплава ЛС58-3. В качестве рабочей жидкости был выбран спирт изопропиловый, являющийся углеродсодержащей средой.

Исследования морфологии и гранулометрического состава получаемых частиц проводились на электронно-ионном сканирующем микроскопе Quanta 600 FEG и лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 NanoТес соответственно.

Рентгеноспектральный микроанализ порошков проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D (Нидерланды). Фазовый анализ порошков выполняли на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония).

**Результаты.** Анализ морфологии полученных порошков показал, что частицы имеют в основном сферическую и эллиптическую форму, а также агломераты. Анализ распределения по размерам частиц порошка, показал, что средний размер частиц составляет 24 мкм. Данный размер частиц получен на режиме работы установки, при котором процесс электроэрозии протекает стабильно.

Анализ элементного состава установил, что на поверхности частиц порошка содержится свободный углерод. Остальные химические элементы Cu, Zn, Pb, Sn распределены относительно равномерно. Наличие свободного углерода обусловлено химическим составом среды диспергирования, являющейся углеродсодержащей.

Рентгеноструктурный анализ полученных порошков показал наличие фаз Cu<sub>3</sub>Zn, Pb, ZnO, CuO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>. Карбидообразующих элементов в составе сплава нет.

Экспериментально установлено, что на состав, структуру и свойства шихты диспергированной электроэрозией латуни ЛС58-3 оказывает влияние химический состав рабочей жидкости, а также режимы диспергирования.

**Заключение.** На основании проведенных экспериментальных исследований можно заключить, что использование технологии электроэрозионного диспергирования для переработки отходов латуни ЛС58-3 и получение порошков на её основе является актуальным. Отмечено, что частицы получаемой шихты обладают заданным комплексом свойств и могут быть использованы различными методами порошковой металлургии.

**Ключевые слова:** латунь; электроэрозионное диспергирование; отходы; порошок.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» проекта «Приоритет-2030».

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Агеева Е. В., Серебровский В. В., Переверзев А. С., Аболмасова Л. С., 2023

**Для цитирования:** Структура и свойства электроэрозионных порошков, полученных из отходов латуни ЛС58-3 в спирте изопропиловом / Е. В. Агеева, В. В. Серебровский, А. С. Переверзев, Л. С. Аболмасова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 3. С. 34–43. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-34-43>.

Поступила в редакцию 13.07.2023

Подписана в печать 21.08.2023

Опубликована 29.09.2023

## Structure and Properties of Electroerosion Powders Obtained from LS58-3 Brass Waste in Isopropyl Alcohol

Ekaterina V. Ageeva<sup>1</sup> ✉, Anton S. Pereverzev<sup>1</sup>, Vadim V. Serebrovsky<sup>1</sup>, Liliya S. Abolmasova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** Study of the structure and properties of powders obtained by electroerosion of the LS58-3 alloy in a carbon-containing medium - isopropyl alcohol.

**Methods.** The process of electrical erosion of LS58-3 alloy waste was carried out on a patented installation, LS58-3 alloy waste was used as metal waste. Isopropyl alcohol, which is a carbon-containing medium, was chosen as the working fluid.

Studies of the morphology and granulometric composition of the obtained particles were carried out on an electron-ion scanning microscope "Quanta 600 FEG" and a laser particle size analyzer Analysette 22 NanoTec", respectively.

X-ray spectral microanalysis of powders was carried out on an energy-dispersive X-ray analyzer from EDAX (Netherlands) built into a scanning electron microscope QUANTA 200 3D (Netherlands). The phase analysis of the powders was performed on a Rigaku Ultima IV X-ray diffractometer (Japan).

**Results.** An analysis of the morphology of the obtained powders showed that the particles are mainly spherical and elliptical in shape, as well as agglomerates.

Analysis of the particle size distribution of the powder obtained using the Analysette 22 NanoTec particle size analyzer showed that the average particle size is 24 μm. This particle size was obtained in the operating mode of the installation, in which the electroerosion process proceeds stably.

Analysis of the elemental composition has established that free carbon is contained on the surface of the powder particles. The remaining chemical elements Cu, Zn, Pb, Sn are distributed relatively evenly. The presence of free carbon is due to the chemical composition of the dispersion medium, which is carbon-containing.

X-ray diffraction analysis of the obtained powders showed the presence of Cu<sub>3</sub>Zn, Pb, ZnO, CuO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> phases. There are no carbide-forming elements in the composition of the alloy.

It has been experimentally established that the composition, structure and properties of the charge of LS58-3 brass dispersed by electroerosion are affected by the chemical composition of the working fluid, as well as the dispersion modes.

**Conclusion.** On the basis of the conducted experimental studies, it can be concluded that the use of electroerosive dispersion technology for the processing of LS58-3 brass waste and the production of powders based on it is relevant. It is noted that the particles of the resulting charge have a given set of properties and can be used by various methods of powder metallurgy.

**Keywords:** brass; electroerosive dispersion; waste; powder.

**Funding:** The work was carried out as part of the implementation of the development program of the "SouthWest State University" of the "Priority-2030" project.

**Conflict of interest:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Ageeva E. V., Serebrovsky V. V., Pereverzev A. S., Abolmasova L. S. Structure and Properties of Electroerosion Powders Obtained from LS58-3 Brass Waste in Isopropyl Alcohol. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(3): 34–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-13-3-34-43>

Received 13.07.2023

Accepted 21.08.2023

Published 29.09.2023

\*\*\*

## Введение

В настоящее время роль сплавов на основе цветных металлов возрастает с каждым годом. Кроме металлургии, машиностроения, судостроения и других давно сложившихся областей техники металлические материалы этой группы применяют в приборостроении, электронной, ядерной, криогенной технике, радиотехнике, авиации, космонавтике, медицине.

Латуни благодаря своим качествам нашли широкое применение в машиностроении, химической промышленности, в производстве бытовых товаров. Достоинства латуни способствуют стабильному и планомерному росту потребления ее во всех отраслях промышленности. Этот металл востребован практически везде – от производства дверных ручек и часовых шестерёнок до изготовления самых сложных теплообменников в энергетике [1–4].

В настоящее время промышленность сталкивается с проблемой переработки отходов медных сплавов и повторным их использованием. В качестве одного из перспективных, но недостаточно изученных способов переработки металлоотходов пригодные для повторного применения порошки является измельчение с помощью электроэрозии [3–20]. Однако в промышленности данный способ переработки практически не применяется, поскольку в технической литературе отсутствуют полноценные сведения о составе, структуре и свойствах получаемых таким образом порошков.

Наибольший исследовательский интерес вызывает электродиспергирование

отходов свинцовой латуни ЛС58-3. Свинцовые латуни – это медно-цинковые сплавы, легированные свинцом. Добавки свинца улучшают обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства латуни, поэтому они широко применяются для изготовления деталей, работающих на трение. Переработка отходов свинцовой латуни в порошки и их повторное применение является актуальным. Для этих целей требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований. Проведение намеченных мероприятий позволит решить проблему переработки отходов латуни и повторное её использование при изготовлении антифрикционных деталей машин.

Целью исследования являлось изучение структуры и свойств порошков, полученных электроэрозией сплава ЛС58-3 в углеродсодержащей среде – спирте изопропиловом.

## Материалы и методы

Процесс электроэрозии отходов сплава ЛС58-3 проводили на запатентованной установке [21], в качестве металлоотходов применялись отходы сплава ЛС58-3 (ГОСТ 15527-2004). В качестве рабочей жидкости (среды диспергирования) был выбран спирт изопропиловый (ГОСТ 9805-84), являющийся углеродсодержащей средой.

При этом использовали следующие электрические параметры установки:

– напряжение на электродах от 150...200 В;

– ёмкость конденсаторов 45...65 мкФ;

– частота следования импульсов 50...100 Гц.

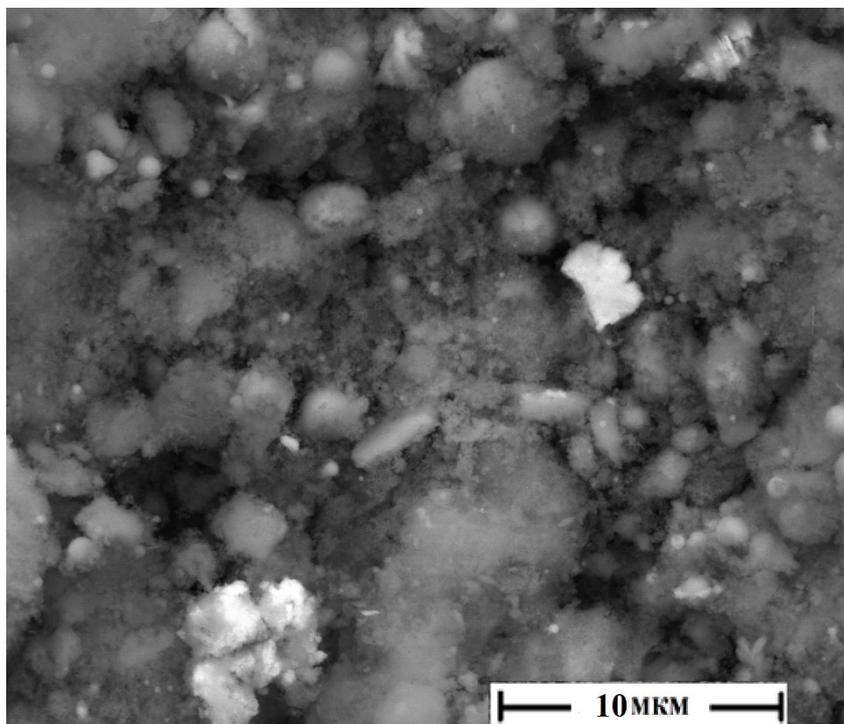
В результате воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами и отходами происходило их разрушение с образованием мелкодисперсных частиц.

Исследования морфологии и гранулометрического состава получаемых частиц проводились на электронно-ионном сканирующем микроскопе Quanta 600 FEG и лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 NanoТес соответственно.

Рентгеноспектральный микроанализ порошков проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D (Нидерланды). Фазовый анализ порошков выполняли на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония).

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования морфологии полученных порошков представлены на рисунке 1. Показано, что частицы имеют в основном сферическую и эллиптическую форму, а также агломераты.

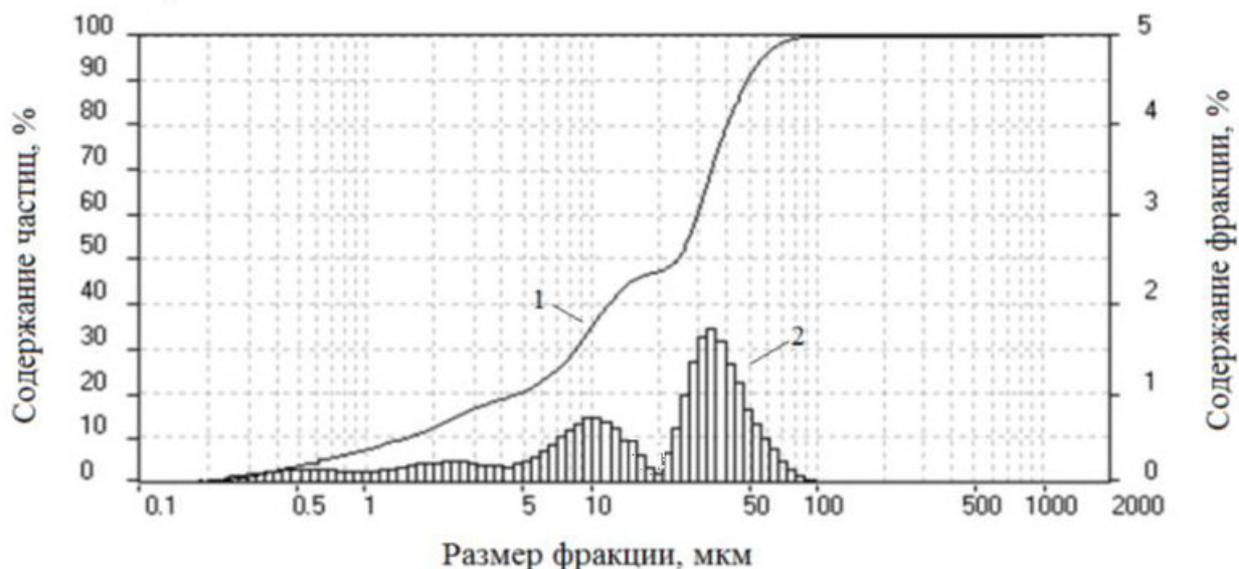


**Рис. 1.** Морфология частиц порошка

**Fig. 1.** Morphology of powder particles

Анализ распределения по размерам частиц порошка, полученного с помощью анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес, показал, что средний размер частиц составляет 24 мкм (рис. 2). Данный размер частиц получен на режиме работы установки, при котором процесс электро-

эрозии протекает стабильно. Изменяя режимы диспергирования (напряжение на электродах, частоту следования импульсов и емкость разрядных конденсаторов), возможно получение частиц различной формы и размера в зависимости от области практического применения.



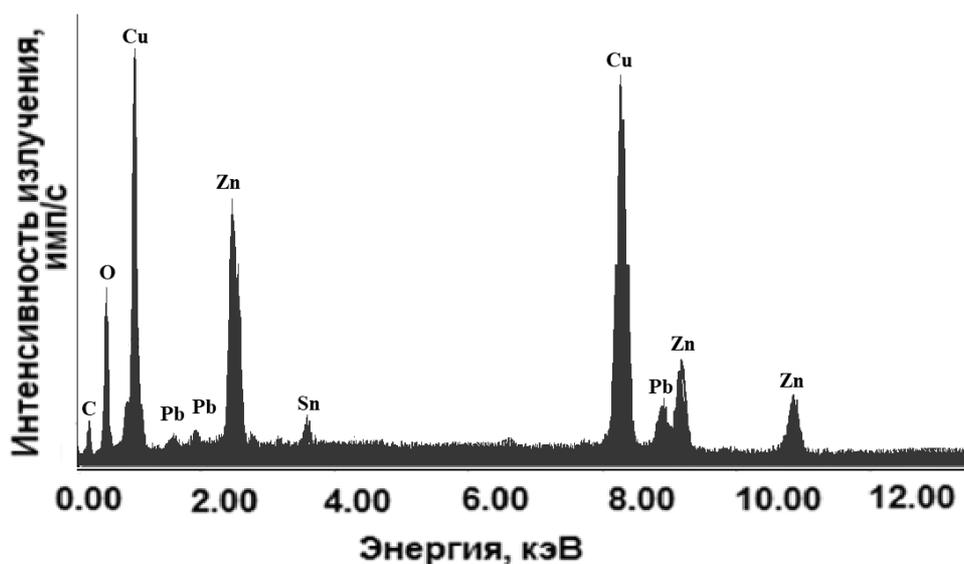
**Рис. 2.** Распределение по размерам микрочастиц: 1 – интегральная кривая; 2 – гистограмма

**Fig. 2.** Size distribution of brass microparticles: 1 – integrated circuit curve; 2 – histogram

Анализ элементного состава установил, что на поверхности частиц порошка содержится свободный углерод. Остальные химические элементы (Cu, Zn, Pb, Sn) распределены относительно равномерно. Наличие свободного углерода обусловлено химическим составом среды диспергирования, являющейся углеродсодержащей (рис. 3) и позволяет расширить об-

ласть применения полученной шихты, в частности при изготовлении антифрикционных покрытий.

Рентгеноструктурный анализ полученных порошков показал наличие фаз  $\text{Cu}_3\text{Zn}$ , Pb, ZnO,  $\text{CuO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ . Карбидообразующих элементов в составе сплава нет (рис. 4).



**Рис. 3.** Спектрограмма элементного состава частиц порошка

**Fig. 3.** Spectrogram of the elemental composition of powder particles

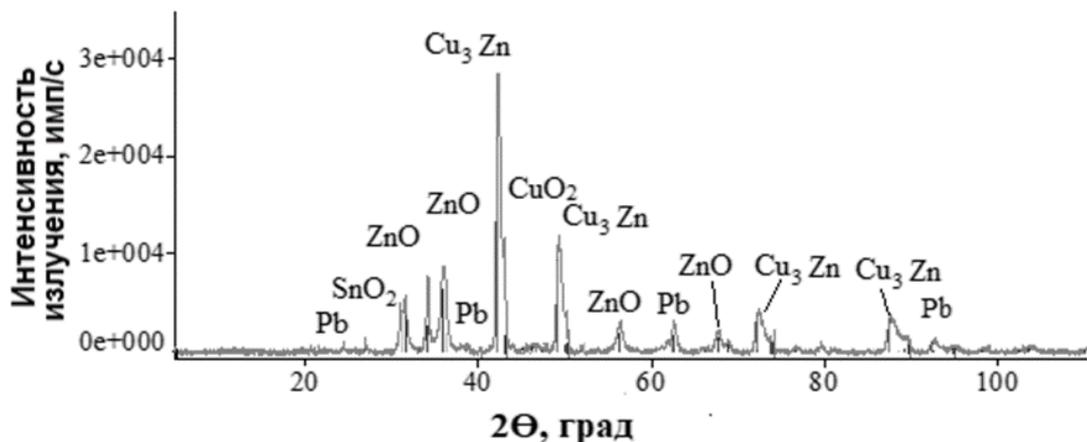


Рис. 4. Дифрактограмма фазового состава частиц порошка

Fig. 4. Diffractogram of the phase composition of powder particles

Экспериментально установлено, что на состав, структуру и свойства шихты диспергированной электроэрозией латуни ЛС58-3 оказывает влияние химический состав рабочей жидкости, а также режимы диспергирования.

## Выводы

1. Использование технологии электроэрозионного диспергирования для переработки отходов латуни ЛС58-3 и получение порошков на её основе является актуальным. Отмечено, что частицы получаемой шихты обладают заданным комплек-

сом свойств и могут быть использованы различными методами порошковой металлургии.

2. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать к использованию полученный порошок в качестве исходного сырья для получения заготовок сплавов и расширить область их практического применения.

3. Экономическая эффективность от использования электроэрозионных порошков обусловлена применением отходов и малой энергоемкой технологии для их производства.

## Список литературы

1. Новиков Е. П., Агеев Е. В., Сытченко А. Д. К вопросу о переработке алюминиевых отходов электроэрозионным диспергированием // *Современные материалы, техника и технологии*. 2015. № 1(1). С. 169–172.
2. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Хорьякова Н. М. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием. Курск: Университетская книга, 2014. 144 с.
3. Исследование химического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 5-1 (38). С. 138а–144.
4. Получение твердосплавных изделий холодным изостатическим прессованием электроэрозионных порошков и их исследование / Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов, П. И. Бурак, Е. В. Агеев // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2013. № 5 (50). С. 116–125.
5. Проведение рентгеноспектрального микроанализа твердосплавных электроэрозионных порошков / Е. В. Агеев, Г. Р. Латыпова, А. А. Давыдов, Е. В. Агеева // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2012. № 5-2 (44). С. 99–102.
6. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов – перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Е. В. Агеева, Р. В. Бобрышев // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2012. № 1-1 (40). С. 182–189.

7. Шеховцова Ю. С., Ролдугина В. А., Ермолаева Т. Н. Разработка методики рентгенофлуоресцентного анализа стартовых металлургических смесей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 4. С. 209–221.
8. Качанов И. В., Шаталов И. М., Рубчя А. А. Моделирование процесса скоростного выдавливания биметаллических резцов для дорожных машин в среде программы DEFORM-3D // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 3. С. 198–203.
9. Милях А. Н., Муратов В. А., Щерба А. А. Особенности управления режимами источников питания установок электроэрозионного диспергирования металлов // Проблемы преобразовательной техники. 1983. Ч. 5. С. 201–204.
10. Аскарходжаев Т. И., Пирнаев Ш. А. Роль дорожных фрез в технологии ремонта изношенного дорожного полотна // Транспорт шелкового пути. 2019. № 3–4. С. 109–120.
11. Рамазанов Г. Х. Износ инструмента дорожной фрезы и модели эффективности резания // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 1(139). С. 43–48.
12. Фурманов Д. В., Шамахов Л. М., Лысаков Н. Э. Влияние износа режущего элемента дорожной фрезы на силу сопротивления резанию асфальтобетона // Вестник СибАДИ. 2023. 20(2). С. 204–216.
13. Рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ электроэрозионных порошковых материалов из отходов стали P18 / Н. Н. Карпенко, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева, В. Ю. Карпенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 23–38.
14. Validation of secondary fluorescence excitation in quantitative X-ray fluorescence analysis of thin alloy films / A. Wählich, C. Streeck, P. Hönicke, B. Beckhoffa // J. Anal. At. Spectrom. 2020. Vol. 35. P. 1664–1670. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ja/d0ja00171f>
15. Агеева Е. В., Поданов В. О., Воробьев Ю. С. Исследование химсостава жаропрочных сплавов методом рентгенофлуоресцентного анализа на примере турбинной лопатки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. С. 35–47.
16. Полякова М. А., Босикова Е. Ю. Особенности применения рентгенофлуоресцентного анализа для определения состава материалов // Технологии металлургии, машиностроения и материаловобработки. 2017. № 16. С. 92–98.
17. Агеева Е. В., Королев М. С., Воробьев Ю. С. Исследование элементного состава свинцово-сурьмянистых сплавов методом рентгенофлуоресцентного анализа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. С. 8–21.
18. Об использовании нитроцементованной стали 30ХГТ для резцов дорожных фрез / В. И. Колмыков, Д. Н. Романенко, К. И. Абышев, С. П. Нефедьев, Р. Р. Дема // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов / под ред. М. А. Иванова, И. А. Ильина. Челябинск: Изд. центр. ЮУрГУ, 2016. С. 290–299.
19. Кирюшкина Н. А., Кузнецова В. Н. Повышение долговечности работы резцов дорожной фрезы // Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых: материалы Международной научно-практической конференции. Омск: Сиб. гос. автомобильно-дорожный ун-в. (СибАДИ), 2016. С. 264–267.
20. Патент № 2449859 Российская Федерация, МПК В22F 9/14, В23Н 1/02, В82У 40/00. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е. В., Семенихин Б. А., Латыпов Р. А., Аниканов В. И. № 2010104316/02, заявл. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

## Reference

1. Novikov E. P., Ageev E. V., Sytchenko A. D. K voprosu o pererabotke alyuminievyykh otkhodov elektroerozionnym dispergirovaniem [To the question of processing of aluminum waste by electroerosion dispersion]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, technology and technologies*, 2015, vol. 1(1), pp. 169–172.

2. Ageev E. V., Ageeva E. V., Khoriakova N. M. Sostav i svoystva mednykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem [Composition and properties of copper powders obtained by electroerosion dispersion]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2014. 144 p.

3. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Ageeva E. V., Latypov R. A. Issledovanie khimicheskogo sostava poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava [Investigation of the chemical composition of powders obtained by electroerosion dispersion of hard alloy]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2011, no. 5-1 (38), pp. 138–144.

4. Ageeva E. V., Latypov R. A., Burak P. I., Ageev E. V. Poluchenie tverdospлавnykh izdelii kholodnym izostaticheskim pressovaniem elektroerozionnykh poroshkov i ikh issledovanie [Production of hard alloy products by cold isostatic pressing of electroerosion powders and their research]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2011, no. 5 (50), pp. 116–125.

5. Ageev E. V., Latypova G. R., Davydov A. A., Ageeva E. V. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov [X-ray spectral microanalysis of carbide electroerosion powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2012, no. 5-2 (44), pp. 99–102.

6. Ageev E. V., Gadalov V. N., Ageeva E. V., Bobryshev R. V. Poroshki, poluchennye elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdyykh splavov - perspektivnyi material dlya vosstanovleniya detalei avtotraktornoi tekhniki [Powders obtained by electroerosion dispersion of hard alloy waste - a promising material for the restoration of auto tractor parts]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 82–189.

7. Shekhovtsova Yu. S., Roldugina V. A., Ermolaeva T. N. Razrabotka metodiki rentgenofluorescentnogo analiza startovykh metallurgicheskikh smesei [Development of a technique for X-ray fluorescence analysis of starting metallurgical mixtures]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 209–221.

8. Kachanov I. V., Shatalov I. M., Rubchenya A. A. Modelirovanie protsessa skorosnogo vydavlivaniya bimetallicheskih reztsov dlya dorozhnykh mashin v srede programmy DEFORM-3D [Simulation of the process of high-speed extrusion of bimetallic cutters for road machines in the environment of the DEFORM-3D program]. *Nauka i tekhnika = Science and Technology*, 2018, vol. 17.3, pp. 198–203.

9. Milyakh A. N., Muratov V. A., Shcherba A. A. Osobennosti upravleniya rezhimami istochnikov pitaniya ustanovok elektroerozionnogo dispergirovaniya metallov [Peculiarities of managing modes of power sources of installations of electroerosion dispersion of metals]. *Problemy preobrazovatel'noi tekhniki = Problems of transformative technology*, 1983, pt. 5, pp. 201–204.

10. Askarkhodzhaev T. I., Pirnaev Sh. A. Rol' dorozhnykh frez v tekhnologii remonta iznoshennogo dorozhnogo polotna [The role of road cutters in the technology of repairing a worn roadbed]. *Transport shelkovogo puti = Silk Road Transport*, 2019, vol. 3–4, pp. 109–120.

11. Ramazanov G. Kh. Iznos instrumenta dorozhnoi frezy i modeli effektivnosti rezaniya [Wear of a road milling tool and a model of cutting efficiency]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2023, vol. 1(139), pp. 43–48.

12. Furmanov D. V., Shamakhov L. M., Lysakov N. E. Vliyanie iznosa rezhushchego elementa dorozhnoi frezy na silu soprotivleniya rezaniyu asfal'tobetona [Influence of wear of the cutting element of a road mill on the cutting resistance force of asphalt concrete]. *Vestnik SibADI = The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2023, vol. 20(2), pp. 204–216.

13. Karpenko N. N., Latypov R. A., Ageeva E. V., Karpenko V. Yu. Rentgenospektral'nyi i rentgenostrukturnyi analiz elektroerozionnykh poroshkovykh materialov iz otkhodov stali R18 [X-ray spectral and X-ray diffraction analysis of electroerosive powder materials from R18 steel waste]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2022, vol. 12(3), pp. 23–38.

14. Wählich A., Streeck C., Hönicke P., Beckhoff B. Validation of secondary fluorescence excitation in quantitative X-ray fluorescence analysis of thin alloy films. *J. Anal. At. Spectrom.*, 2020, vol. 35, pp. 1664–1670. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ja/d0ja00171f>
15. Ageeva E. V., Podanov V. O., Vorobyov Yu. S. Issledovanie khimsostava zharoprochnykh splavov metodom rentgenofluorestsennogo analiza na primere turbinnoi lopatki [Study of the chemical composition of heat-resistant alloys by X-ray fluorescence analysis on the example of a turbine blade]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10(4), pp. 35–47.
16. Polyakova M. A., Bosikova E. Yu. Osobennosti primeneniya rentgenofluorestsennogo analiza dlya opredeleniya sostava materialov [Features of the use of X-ray fluorescence analysis to determine the composition of materials]. *Tekhnologii metallurgii, mashinostroeniya i materialoobrabotki = Technologies of metallurgy, mechanical engineering and material processing*, 2017, vol. 16, pp. 92–98.
17. Ageeva E. V., Korolev M. S., Vorobyov Yu. S. Issledovanie elementnogo sostava svintsovo-sur'myanistykh splavov metodom rentgenofluorestsennogo analiza [Investigation of the elemental composition of lead-antimony alloys by X-ray fluorescence analysis]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10(4), pp. 8–21.
18. Kolmykov V. I., Romanenko D. N., Abyshev K. I., Nefediev S. P., Dema R. R. Ob ispol'zovanii nitrotsmentovannoi stali 30KHGT dlya reztsov dorozhnykh frez [On the use of nitrocarburized steel 30KHGT for cutters of cold cutters]. *Sovremennye problemy svarochnogo proizvodstva. Sbornik nauchnykh trudov* [Modern problems of welding production. Collection of scientific papers]; ed. by M. A. Ivanov, I. A. Ilyin. Chelyabinsk, Izd. Centr YuURGU, 2016, pp. 290–299.
19. Kiryushkina N. A., Kuznetsova V. N. Povyshenie dolgovechnosti raboty reztsov dorozhnoi frezy [Increasing the durability of the cutters of a road mill]. *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki glazami molodykh uchenykh. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual problems of science and technology through the eyes of young scientists. Materials of the International scientific-practical conference]. Omsk, Siberian St. Automobile and Highway Univ. Publ., 2016, pp. 264–267.
20. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Latypov R. A., Anikanov V. I. Ustanovka dlya polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodyashchikh materialov [Installation for the production of nanodisperse powders from conductive materials]. Patent RF, no. 2449859, 2012.

---

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Агеева Екатерина Владимировна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565

**Ekaterina V. Ageeva**, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565

**Серебровский Вадим Владимирович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: svi.doc@yandex.ru

**Vadim V. Serebrovsky**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: svi.doc@yandex.ru

**Переверзев Антон Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: chaser-93@yandex.ru,  
ORCID: 0000-0002-8460-3364,  
Researcher ID C-4041-2019,  
SPIN-код: 5855-3763

**Anton S. Pereverzev**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: chaser-93@yandex.ru,  
ORCID: 0000-0002-8460-3364,  
Researcher ID C-4041-2019,  
SPIN code: 5855-3763

**Аболмасова Лилия Сергеевна**, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: lili4695@mail.ru,  
ORCID: 0000-0002-0434-6629

**Liliya S. Abolmasova**, Post-Graduate Student of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: lili4695@mail.ru,  
ORCID: 0000-0002-0434-6629