

Оригинальная статья

УДК 669.35.6

DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-86-91

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ШИХТЫ СВИНЦОВО-ОЛОВЯННОЙ БРОНЗЫ

© 2022 г. Е. В. Агеева, А. С. Переверзев, А. Д. Павлов

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

Аннотация. Представлены результаты исследования свойств электроэрозионной шихты, полученной из отходов свинцово-оловянной бронзы марки БрО5С25. Оценено влияние химического состава среды диспергирования на элементный и фазовый составы рассматриваемых электроэрозионных частиц. Установлено, что при проведении экспериментов по получению шихты в кислородсодержащей жидкости (дистиллированной воде) на поверхности получаемых частиц присутствует часть кислорода. По результатам эксперимента установлено, что основными элементами в шихте, полученной методом электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки БрО5С25 в дистиллированной воде, являются кислород, медь, олово, цинк и свинец. Остальные элементы распределены в шихте относительно равномерно. На основании выполненного рентгеноструктурного микроанализа было установлено, что основными фазами в шихте, полученной в дистиллированной воде, являются Cu, Pb(Cu₂O₂), Pb₅O₈, Pb, Sn. При проведении экспериментов по получению шихты в углеродсодержащей жидкости (осветительном керосине) на поверхности получаемых частиц присутствует часть углерода. По результатам эксперимента установлено, что основными элементами в шихте, полученной методом электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки БрО5С25 в осветительном керосине, являются углерод, медь, олово, цинк и свинец. Остальные элементы распределены в шихте относительно равномерно. На основании выполненного рентгеноструктурного микроанализа было установлено, что карбидообразующих элементов в сплаве нет. Основными фазами в шихте, полученной в осветительном керосине, являются Cu, Pb(Cu₂O₂), Pb₅O₈, Pb, Sn. Установлено влияние среды диспергирования на элементный и фазовый составы электроэрозионной шихты свинцово-оловянной бронзы марки БрО5С25.

Ключевые слова: электроэрозионное диспергирование, шихты, бронза, среда диспергирования, элементный состав, фазовый состав, дистиллированная вода, осветительный керосин

Для цитирования: Агеева Е.В., Переверзев А.С., Павлов А.Д. Влияние среды диспергирования на свойства шихты свинцово-оловянной бронзы // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 4 (42). С. 86 – 91. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-86-91](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-86-91)

Original article

INFLUENCE OF THE DISPERSION ENVIRONMENT ON THE PROPERTIES OF THE CHARGE OF LEAD-TIN BRONZE

© 2022 E. V. Ageeva, A. S. Pereverzev, A. D. Pavlov

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

Abstract. This article presents the results of a study of the properties of the electroerosive charge obtained from the waste of lead-tin bronze BrO5C25, in particular, the influence of the chemical composition of the dispersion medium on the elemental and phase composition of the resulting electroerosive particles is evaluated. It has been established that when carrying out experiments on obtaining a charge in an oxygen-containing liquid (distilled water), a part of oxygen is present on the surface of the obtained particles. According to the results of the experiment, it was found that the main elements in the charge obtained by

the method of electroerosive dispersion of BrO5C25 lead bronze waste in distilled water are oxygen, copper, tin, zinc and lead. The remaining elements are distributed relatively evenly in the mixture. Based on the performed X-ray diffraction microanalysis, it was found that the main phases in the charge obtained in distilled water are Cu, Pb(Cu₂O₂), Pb₅O₈, Pb, Sn. When carrying out experiments to obtain a charge in a carbon-containing liquid (illuminating kerosene), a part of carbon is present on the surface of the obtained particles. According to the results of the experiment, it was found that the main elements in the charge obtained by the method of electroerosive dispersion of lead bronze waste BrO5C25 in lighting kerosene are carbon, copper, tin, zinc and lead. The remaining elements are distributed relatively evenly in the charge. Based on the performed X-ray diffraction microanalysis, it was found that there are no carbide-forming elements in the alloy. The main phases in the charge obtained in lighting kerosene are also Cu, Pb(Cu₂O₂), Pb₅O₈, Pb, Sn. Thus, the influence of the dispersion medium on the elemental and phase composition of the electroerosive charge of lead-tin bronze BrO5C25 has been established.

Keywords: electroerosive dispersion, mixtures, bronze, dispersion medium, elemental composition, phase composition, distilled water, lighting kerosene

For citation: Ageeva, E.V., Pereverzev, A.S., Pavlov, A.D. Influence of the dispersion environment on the properties of the charge of lead-tin bronze. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022, no. 4 (42), pp. 86 – 91. (In Russ.). [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-86-91](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-86-91)

Введение

Среди имеющихся разнообразных способов обработки металлов порошковая металлургия занимает свое особое место, так как позволяет не только производить изделия различных форм и назначений, но и создавать принципиально новые материалы, получить которые иным путем крайне трудно или вообще невозможно.

Наибольший исследовательский интерес вызывает технология получения порошковых материалов путем электроэрозионной обработки токопроводящих материалов – электроэрозионное диспергирование [1 – 20]. С помощью этого метода можно получать частицы сферической формы, пригодные для аддитивных технологий.

Сплавы на медной основе (бронзы) нашли широкое применение в машиностроении. Разработка технологий переработки отходов бронзы в пригодные для промышленного применения порошки является актуальным направлением исследований [11 – 15].

Целью настоящей работы является изучение влияния среды диспергирования на свойства шихты свинцово-оловянной бронзы.

Методы и принципы исследования

Для реализации исследований были выбраны отходы свинцово-оловянной бронзы марки BrO5C25, которые подвергали воздействию электрической эрозии на установке электроэрозионного диспергирования. В качестве рабочей среды диспергирования были выбраны осветительный керосин (ГОСТ 4753 – 68), являющийся углеродсодержащей жидкостью, и дистиллированная вода (ГОСТ 6709 – 72), являющаяся кислородсодержащей средой. В результате эксперимента были получены частицы шихты, которые были исследованы различными способами.

Рентгеноспектральный микроанализ проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп Quanta 200 3D (рис. 1).

Исследование фазового состава материалов проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV в Cu K_α-излучении (длина волны $\lambda = 0,154178$ нм) с использованием щелей Соллера (рис. 2).

Основные результаты

По результатам эксперимента установлено, что основными элементами в шихте, полученной методом электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки BrO5C25 в дистиллированной воде, являются кислород, медь, олово, цинк и свинец. Основными элементами в шихте, полученной методом электроэро-



Рис. 1. Электронный микроскоп Quanta 200 3D
Fig. 1. Electron microscope Quanta 200 3D



Рис. 2. Дифрактометр Rigaku Ultima IV
Fig. 2. Diffractometer Rigaku Ultima IV

зионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки БрО5С25 в осветительном керосине, являются углерод, медь, олово, цинк и свинец. Элементы распределены в шихте относительно равномерно. Рентгенограммы проведенных исследований представлены на рис. 3.

На основании выполненного рентгеноструктурного микроанализа было установлено, что основными фазами в шихте, полученной в дистиллированной воде и осветительном керосине, являются Cu , $\text{Pb}(\text{Cu}_2\text{O}_2)$, Pb_5O_8 , Pb , Sn . На основании выполненного рентгеноструктурного микроанализа было установлено, что карбидообразующих элементов в сплаве нет. Дифрактограммы проведенных исследований представлены на рис. 4.

Выводы

На основе анализа представленных результатов исследования элементного и фазового составов порошков, полученных в различных средах, можно сделать вывод, что химический состав рабочей среды диспергирования оказывает прямое влияние на химический состав получаемой шихты, образуя различные соединения с кислородом. Наличие свободного углерода на поверхности частиц шихты, полученной в керосине, в перспективе может способствовать снижению коэффициента трения и повышению износостойкости сплавов на ее основе, так как углерод будет выступать в роли твердого смазочного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2011. № 1 (46). С. 78–80.
2. Латыпов Р.А., Латыпова Г.Р., Агеев Е.В., Давыдов А.А. Разработка и исследование твердосплавных изделий из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Международный научный журнал. 2013. № 2. С. 107–112.
3. Латыпов Р.А., Коростелев А.Б., Агеев Е.В., Семенихин Б.А. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 И Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2–6.

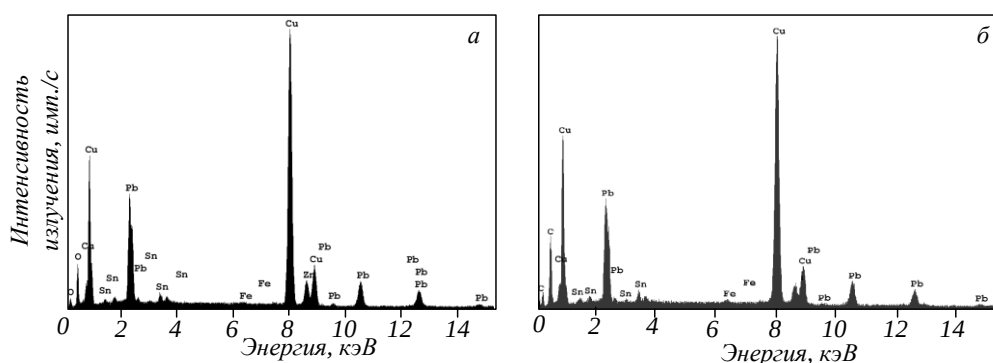


Рис. 3. Спектрограммы порошка электроэрозионной свинцово-оловянной бронзы, полученные в дистиллированной воде (а) и осветительном керосине (б)

Fig. 3. Spectrograms of electroerosive lead-tin bronze powder obtained in distilled water (a) and lighting kerosene (b)

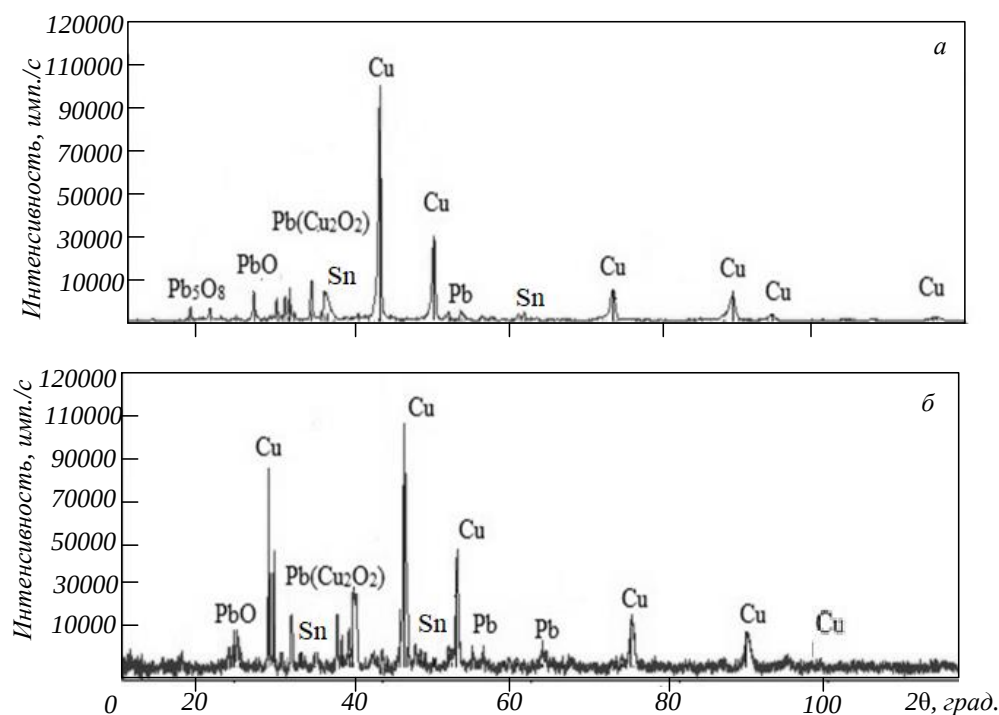


Рис. 4. Дифрактограммы порошка электроэрозионной свинцово-оловянной бронзы, полученные в дистиллированной воде (а) и осветительном керосине (б)

Fig. 4. Diffractograms of electroerosive lead-tin bronze powder obtained in distilled water (a) and in kerosene lighting (b)

4. Агеева Е.В., Переверзев А.С., Осьминина А.С. Исследование влияния электрических параметров установки на производительность процесса электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы в дистиллированной воде // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 1 (26). С. 6–13.
5. Агеев Е.В., Переверзев А.С., Горохов А.А. Исследование микроструктуры спеченных электроэрозионных наноконпозиционных порошков свинцовой бронзы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 3 (28). С. 29–35.
6. Агеев Е.В., Переверзев А.С., Осьминина А.С., Григоров И.Ю. Размерный анализ электроэрозионного порошка свинцовой бронзы, полученного в дистиллированной воде // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. № 4 (79). С. 42–49.
7. Агеев Е.В., Гадалов В.Н., Агеева Е.В., Бобрышев Р.В. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов – перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1 (40). Ч. 1. С. 182–189.
8. Агеев Е.В., Переверзев А.С., Бахмудкадиев Н.Д. Исследование пористости спеченных изделий из одноосно спрессованных электроэрозионных порошков сплава БрС30 // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 4 (29). С. 23–29.
9. Петриченко В.К. Антифрикционные материалы и подшипники скольжения. Москва: Машгиз, 1954. 383 с.
10. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Москва: Инновационное машиностроение, 2016. 359 с.
11. Ageev E.V., Pereverzev A.S. X-ray diffraction analysis of products sintered from isostatically pressed leaded bronze powders // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 298. P. 00037. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929800037>
12. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Khardikov S.V. A study of porosity of products sintered from BrS30 alloy electro-erosion powders // Materials Science Forum. 2020. Vol. 989. P. 187–191. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.187>
13. 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. 1286–1288. <https://doi.org/10.1134/S1027451020060233>
14. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Sabel'nikov B.N. X-ray spectral analysis of sintered articles made of

- electroerosive lead bronze obtained in lighting kerosene // MATEC Web of Conferences. 2020. No. 329. P. 02007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032902007>
15. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes // Russian metallurgy (Metally). 2018. No. 6. P. 573–575. <https://doi.org/10.1134/S0036029518060137>
 16. Bilous O., Mahura B. Application of wear-resistant coating by electrospark alloying method using an eutectic electrode material // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. 2018. Vol. 4. No. 1. P. 40–48. <https://doi.org/10.23939/ujmeme2018.01.040>
 17. Hasanabadi F.M., Ghaini M.F., Ebrahimnia M., Shahverdi H.R. Production of amorphous and nano-crystalline iron based coatings by electro-spark deposition process // Surface and Coatings Technology. 2015. Vol. 270. P. 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.03.016>
 18. Kiryukhantsev-Korneev Ph., Sytchenko A., Sheveyko A., Moskovskikh D., Vorotylo S. Two-layer nanocomposite tic-based coatings produced by a combination of pulsed cathodic arc evaporation and vacuum electro-spark alloying // Materials. 2020. Vol. 13, No. 3. P. 547. <https://doi.org/10.3390/ma13030547>
 19. Breki A.D., Vasilyeva E.S., Tolochko O.V., Didenko A.L., Kudryavtsev V.V., Kolmakov A.G., Sergeyev N.N., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A., Fadin Y.A. Synthesis and tribotechnical properties of composite coatings with PM-DADPE polyimide matrix and fillers of tungsten dichalcogenide nanoparticles upon dry sliding friction // Inorganic Materials: Applied Research. 2016. Vol. 7. No. 4. P. 542–546. <https://doi.org/10.1134/S2075113316040067>
 20. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Kutepov S.N., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Klement'ev D.S., Kostychev I.V. Effect of the purity of charge materials and heat treatment parameters on the structure and the mechanical properties of U10A forge tool steel // Russian Metallurgy (Metally). 2021. No. 10. P. 1352–1355. <https://doi.org/10.1134/S003602952110030X>
 1. Ageev E.V., Semenikhin B.A., Latypov R.A. Investigation of microhardness of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agrozhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina*. 2011, no. 1 (46), pp. 78–80. (In Russ.).
 2. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageev E.V., Davydov A.A. Development and research of carbide products from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing waste. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal*. 2013, no. 2, pp. 107–112. (In Russ.).
 3. Latypov R.A., Korostelev A.B., Ageev E.V., Semenikhin B.A. Properties of powders from waste of hard alloys VK8 and T15K6 obtained by the method of electroerosive dispersion. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik*. 2010, no. 7, pp. 2–6. (In Russ.).
 4. Ageeva E.V., Pereverzev A.S., Os'minina A.S. Investigation of the influence of electrical parameters of the installation on the performance of the process of electroerosive dispersion of lead bronze waste in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*. 2018, no. 1 (26), pp. 6–13. (In Russ.).
 5. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Gorokhov A.A. Investigation of the microstructure of sintered electroerosive nanocomposite powders of lead bronze. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*. 2018, no. 3 (28), pp. 29–35. (In Russ.).
 6. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Os'minina A.S., Grigorov I.Yu. Dimensional analysis of electroerosive powder of lead bronze obtained in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018, no. 4 (79), pp. 42–49. (In Russ.).
 7. Ageev E.V., Gadlov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Powders obtained by electroerosive dispersion of solid alloy waste – a promising material for the restoration of parts of automotive equipment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 1 (40), part 1, pp. 182–189. (In Russ.).
 8. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Bakhmudkadiyev N.D. Investigation of porosity of sintered products from uniaxially pressed electroerosive powders of BrS30 alloy. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*. 2018, no. 4 (29), pp. 23–29. (In Russ.).
 9. Petrichenko V.K. *Antifriction materials and sliding bearings*. Moscow: Mashgiz, 1954. 383 s. (In Russ.).
 10. Osintsev O.E., Fedorov V.N. *Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands*. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2016. 359 s. (In Russ.).
 11. Ageev E.V., Pereverzev A.S. X-ray diffraction analysis of products sintered from isostatically pressed leaded bronze powders. *MATEC Web*

REFERENCES

1. Ageev E.V., Semenikhin B.A., Latypov R.A. Investigation of microhardness of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agrozhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina*. 2011, no. 1 (46), pp. 78–80. (In Russ.).

- of Conferences. 2019, vol. 298, pp. 00037. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929800037>
12. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Khardikov S.V. A study of porosity of products sintered from BrS30 alloy electro-erosion powders. *Materials Science Forum*. 2020, vol. 989, pp. 187–191. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.187>
 13. 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. 1286–1288. <https://doi.org/10.1134/S1027451020060233>
 14. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Sabel'nikov B.N. X-ray spectral analysis of sintered articles made of electroerosive lead bronze obtained in lighting kerosene. *MATEC Web of Conferences*. 2020, no. 329, pp. 02007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032902007>
 15. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes. *Russian metallurgy (Metally)*. 2018, no. 6, pp. 573–575. <https://doi.org/10.1134/S0036029518060137>
 16. Bilous O., Mahura B. Application of wear-resistant coating by electrospark alloying method using an eutectic electrode material. *Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science*. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 40–48. <https://doi.org/10.23939/ujmms2018.01.040>
 17. Hasanabadi F.M., Ghaini M.F., Ebrahimnia M., Shahverdi H.R. Production of amorphous and nano-crystalline iron based coatings by electro-spark deposition process. *Surface and Coatings Technology*. 2015, vol. 270, pp. 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.03.016>
 18. Kiryukhantsev-Korneev Ph., Sytchenko A., Sheveyko A., Moskovskikh D., Vorotylo S. Two-layer nanocomposite tic-based coatings produced by a combination of pulsed cathodic arc evaporation and vacuum electro-spark alloying. *Materials*. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 547. <https://doi.org/10.3390/ma13030547>
 19. Breki A.D., Vasilyeva E.S., Tolochko O.V., Didenko A.L., Kudryavtsev V.V., Kolmakov A.G., Sergeyev N.N., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A., Fadin Y.A. Synthesis and tribotechnical properties of composite coatings with PM-DADPE polyimide matrix and fillers of tungsten dichalcogenide nanoparticles upon dry sliding friction. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2016, vol. 7, no. 4, pp. 542–546. <https://doi.org/10.1134/S2075113316040067>
 20. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Kutepov S.N., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Klement'ev D.S., Kostychev I.V. Effect of the purity of charge materials and heat treatment parameters on the structure and the mechanical properties of U10A forge tool steel. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2021, no. 10, pp. 1352–1355. <https://doi.org/10.1134/S003602952110030X>

Сведения об авторах

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

Антон Сергеевич Переверзев, к.т.н., доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет
E-mail: chaser-93@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8460-3364

Андрей Денисович Павлов, студент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет
E-mail: andreypavlov111@mail.ru

Information about the authors

Ekaterina V. Ageeva, Dr. Sci., Prof., Prof. of the Department of Materials Technology and Transport, South-West State University
E-mail: ageeva-ev@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2976-2813

Anton S. Pereverzev, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Materials Technology and Transport, South-West State University
E-mail: chaser-93@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8460-3364

Andrey D. Pavlov, student of the Department of Materials Technology and Transport, South-West State University
E-mail: andreypavlov111@mail.ru

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

Поступила в редакцию 25.11.2022
 После доработки 30.11.2022
 Принята к публикации 02.12.2022

Received 25.11.2022
 Revised 30.11.2022
 Accepted 02.12.2022