

Состав, структура и свойства антифрикционных сплавов на основе шихты, полученной электродиспергированием отходов бронзы БрО5С25 в керосине

Е. В. Агеев¹ ✉, А. С. Переверзев¹, В. М. Емельянов¹, В. В. Серебровский¹

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

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Резюме

Цель. Изучение состава, структуры и свойств антифрикционных сплавов на основе электроэрозионной шихты бронзы БрО5С25, полученной в углеродсодержащей среде – керосине осветительном.

Методы. Диспергирование отходов сплава БрО5С25 проводили на установке для электродиспергирования электропроводных материалов. В качестве металлоотходов применялись отходы сплава БрО5С25. В качестве рабочей жидкости использовался керосин осветительный.

В результате воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами и отходами происходило их разрушение с образованием мелкодисперсных частиц. Для получения компактированных материалов был использован ручной настольный пресс Herzog TP 20. Для исследования состава, структуры и свойств полученных спеченных изделий применялось современное оборудование и взаимодополняющие методы физического материаловедения.

Результаты. Анализ поверхности показал, что сплавы имеют мелкозернистое строение, равномерное распределение фаз и небольшое количество пор. Анализ элементного состава установил, что на поверхности новых сплавов содержится углерод, а все остальные элементы Sn, Cu и Pb распределены относительно равномерно. Анализ исследуемых сплавов показал наличие в них фаз: Cu, CuSn, SnO, CuO, PbO, Pb. Карбидообразующих элементов в составе сплава нет.

Экспериментально установлено, что состав, структура и свойства шихты диспергированной электроэрозией бронзы БрО5С25 оказывают влияние на трибологические свойства заготовок сплава. В частности, наличие в сплаве из электроэрозионной шихты, полученной в керосине, свободного углерода, выполняющего роль твердой смазки, приводит к снижению коэффициента трения.

Заключение. Показано, что сплавы, полученные из электроэрозионной шихты, обладают более высокими значениями микротвердости в сравнении со сплавом, полученным из промышленно применяемой шихты. Значительное увеличение микротвердости сплавов объясняется наличием высокотвердых частиц, образующихся при закалке паров металла в рабочей жидкости при диспергировании. Наличие мелких фракций в электроэрозионных материалах способствует увеличению плотности прессовок и снижению пористости заготовок.

Ключевые слова: оловянная бронза; электроэрозионное диспергирование; сплав; спеченный образец.

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

Для цитирования: Состав, структура и свойства антифрикционных сплавов на основе шихты, полученной электродиспергированием отходов бронзы BrO5C25 в керосине / Е. В. Агеев, А. С. Переверзев, В. М. Емельянов, Н. М. Игнатенко, В. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 8–19. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-13-2-8-19>.

Поступила в редакцию 18.03.2023

Подписана в печать 14.04.2023

Опубликована 30.05.2023

Composition, Structure and Properties of Antifriction Alloys Based on the Charge Obtained by Electrodispersion of Bronze Waste BrO5C25 in Kerosene

Evgeny V. Ageev¹ ✉, Anton S. Pereverzev¹, Viktor M. Yemelyanov¹,
Vadim V. Serebrovsky¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: natali030119891@yandex.ru

Abstract

Purpose. Study of the composition, structure and properties of antifriction alloys based on the electroerosion charge of bronze BrO5C25 obtained in a carbon-containing medium - lighting kerosene.

Methods. Dispersion of the waste of the BrO5S25 alloy was carried out at an installation for electrodispensing electrically conductive materials. The waste of the BrO5C25 alloy was used as metal waste. Lighting kerosene was used as the working fluid.

As a result of exposure to short-term electrical discharges between the electrodes and the waste, their destruction occurred with the formation of fine particles. To obtain compacted materials, a Herzog TP 20 manual table press was used. Modern equipment and complementary methods of physical materials science were used to study the composition, structure and properties of the sintered products obtained.

Results. Surface analysis showed that the alloys have a fine-grained structure, uniform phase distribution and a small number of pores. The analysis of the elemental composition found that carbon is contained on the surface of the new alloys, and all other elements Sn, Cu and Pb are distributed relatively evenly. The analysis of the studied alloys showed the presence of phases in them: Cu, CuSn, SnO, CuO, PbO, Pb. There are no carbide-forming elements in the alloy. It has been experimentally established that the composition, structure and properties of the charge dispersed by electroerosion of bronze BrO5C25 affect the tribological properties of the alloy blanks. In particular, the presence of free carbon in the alloy from the electroerosion charge obtained in kerosene, which acts as a solid lubricant, leads to a decrease in the coefficient of friction.

Conclusion. It is shown that alloys obtained from an electroerosive charge have higher microhardness values in comparison with an alloy obtained from an industrially used charge. A significant increase in the microhardness of alloys is explained by the presence of highly hard particles formed during the quenching of metal vapors in the working fluid during dispersion. The presence of small fractions in electroerosive materials contributes to an increase in the density of compressions and a decrease in the porosity of workpieces.

Keywords: tin bronze; electroerosion dispersion; alloy; sintered sample.

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

For citation: Ageev E. V., Pereverzev A. S., Yemelyanov V. M., Serebrovsky V. V. Composition, Structure and Properties of Antifriction Alloys Based on the Charge Obtained by Electrodispersion of Bronze Waste BrO5C25 in Kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(2): 8–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-8-19>

Received 18.03.2023

Accepted 14.04.2023

Published 30.05.2023

Введение

Порошковая металлургия занимает особое место среди разнообразия способов обработки металлов, поскольку с её помощью можно изготовить изделия не только различной формы и назначения, но и создать принципиально новый материал, обладающий заданным комплексом свойств, получить которые существующими способами обработки невозможно или трудозатратно [1–4].

В настоящее время промышленность сталкивается с проблемой повышения износостойкости антифрикционных сплавов на основе меди. Проблема осложняется дефицитностью легирующих элементов. В частности, бронза с содержанием 10% олова имеет высокую износостойкость и является одним из лучших антифрикционных сплавов. Однако из-за дефицитности олова содержание его должно быть уменьшено, а если возможно, оно должно быть заменено более дешевыми элементами [5–8]. Данная проблема может быть решена измельчением их отходов и повторным использованием.

Возможным решением проблемы экономики дорогостоящих и дефицитных элементов является переработка металлоотходов в повторно применимое сырьё – порошки, содержащие эти дефицитные компоненты [9–13].

В качестве одного из перспективных, но недостаточно изученных способов переработки металлоотходов в 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 бронзы BrO5C25, имеющей в своём составе дефицитное олово (4–6%) и обладающей хорошими антифрикционными свойствами. Данный сплав применяется в деталях, работающих на трение в условиях смазки при средних и высоких скоростях скольжения: втулки, золотники, подпятники, а также детали водяных и топливных насосов. Для этих целей требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований. Проведение намеченных мероприятий позволит решить проблему переработки отходов оловянно-свинцовой бронзы и повторное её использование при изготовлении антифрикционных деталей машин.

Целью настоящей работы являлось исследование состава, структуры и свойств антифрикционных сплавов из электроэрозионных порошков, полученных из отходов оловянно-свинцовой бронзы в углеродсодержащей среде.

Материалы и методы

Диспергирование отходов сплава BrO5C25 проводили на запатентованной установке [6]. Схема процесса электродиспергирования представлена на рисунке 1.

В качестве рабочей жидкости (среды диспергирования) был выбран керосин осветительный, являющийся углеродсодержащей средой.

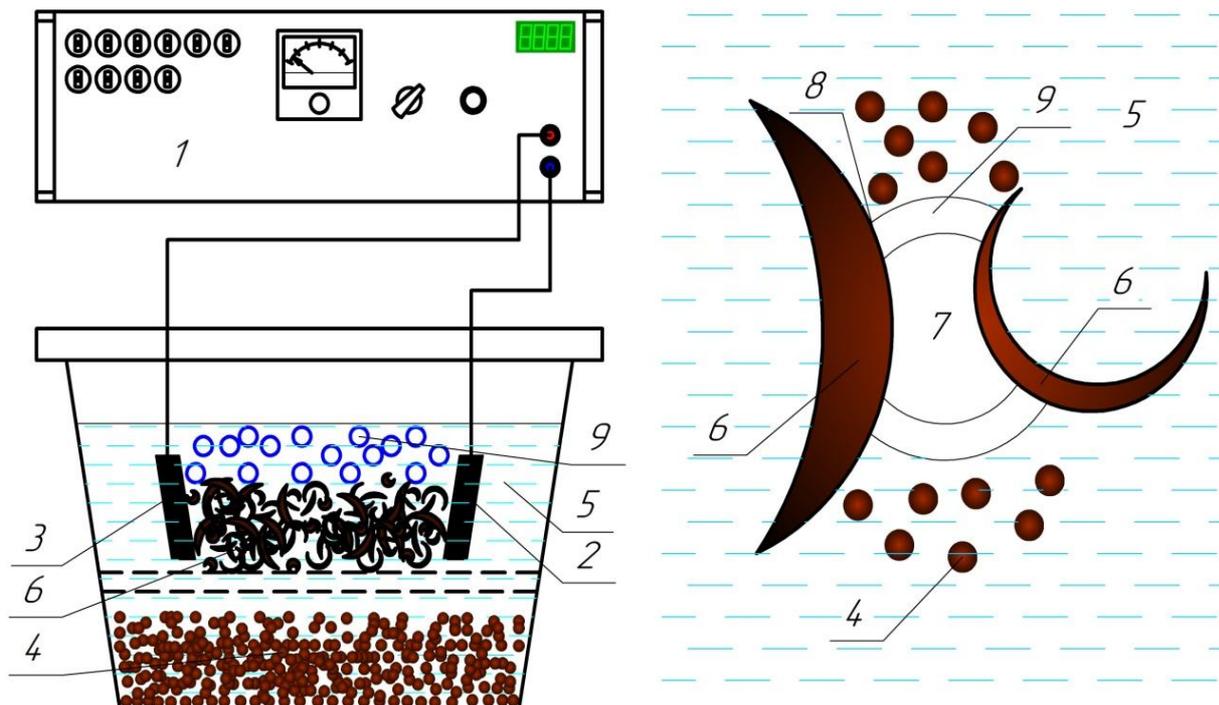


Рис. 1. Принципиальная схема электроэрозионного диспергирования отходов сплава BrO5S25 : 1 – генератор импульсов; 2, 3 – электроды; 4 – капли расплавленного материала; 5 – рабочая жидкость; 6 – диспергируемый материал; 7 – канал разряда; 8 – точка разряда; 9 – газовый пузырь

Fig. 1. Principal diagram of electroerosive dispersion of BrO5S25 alloy waste: 1 – pulse generator; 2, 3 – electrodes; 4 – drops of molten material; 5 – working fluid; 6 – dispersible material; 7 – discharge channel; 8 – discharge point, 9 – gas bubble

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 NanoTec соответственно.

Для получения компактированных материалов был использован ручной настольный пресс Herzog TP 20. На первом этапе прессования порошок помещали в стальную пресс-форму диаметром 20 мм. Далее образцы помещали в рабо-

чую зону пресса при комнатной температуре, давление нагнетали до 1500 бар, при этом давление образец выдерживался в течение 2 минут, после чего давление сбрасывали до атмосферного и скомпактированные образцы извлекали из пресс-формы. Скомпактированные образцы в печи Nabertherm GmbH RS 80/300/13 спекали в течение 2 часов при температуре 800°C в среде аргона.

Для исследования состава, структуры и свойств полученных спеченных изделий применялось современное оборудование и взаимодополняющие методы физического материаловедения. В частности, микроструктуру сплавов исследовали на электронно-ионном сканирующем (растро-

вом) микроскопе QUANTA 600 FEG (Нидерланды); рентгеноспектральный микроанализ сплавов проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D (Нидерланды); фазовый анализ сплавов выполняли на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония); пористость исследовали на оптическом инвертированном микроскопе OLYMPUS GX51 (Япония); микротвёрдость сплавов определяли с помощью прибора Instron 402 MVD (Великобритания); износостойкость образцов сплавов исследовали по стандартной схеме испытания «шарик – диск» на автоматизированной машине трения Tribometer, CSM Instruments (Швейцария).

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования микроструктуры полученных заготовок новых сплавов представлены на рисунке 2. Анализ поверхности показал, что сплавы имеют мелкозернистое строение, равномерное распределение фаз и небольшое количество пор.

Анализ элементного состава установил, что на поверхности новых сплавов содержится углерод, а все остальные элементы (Sn, Cu и Pb) распределены относительно равномерно (рис. 3).

Результаты исследования фазового состава представлены дифрактограммами. Анализ исследуемых сплавов показал наличие в них фаз: Cu, CuSn, SnO, CuO, PbO, Pb. Карбидообразующих элементов в составе сплава нет (рис. 4).

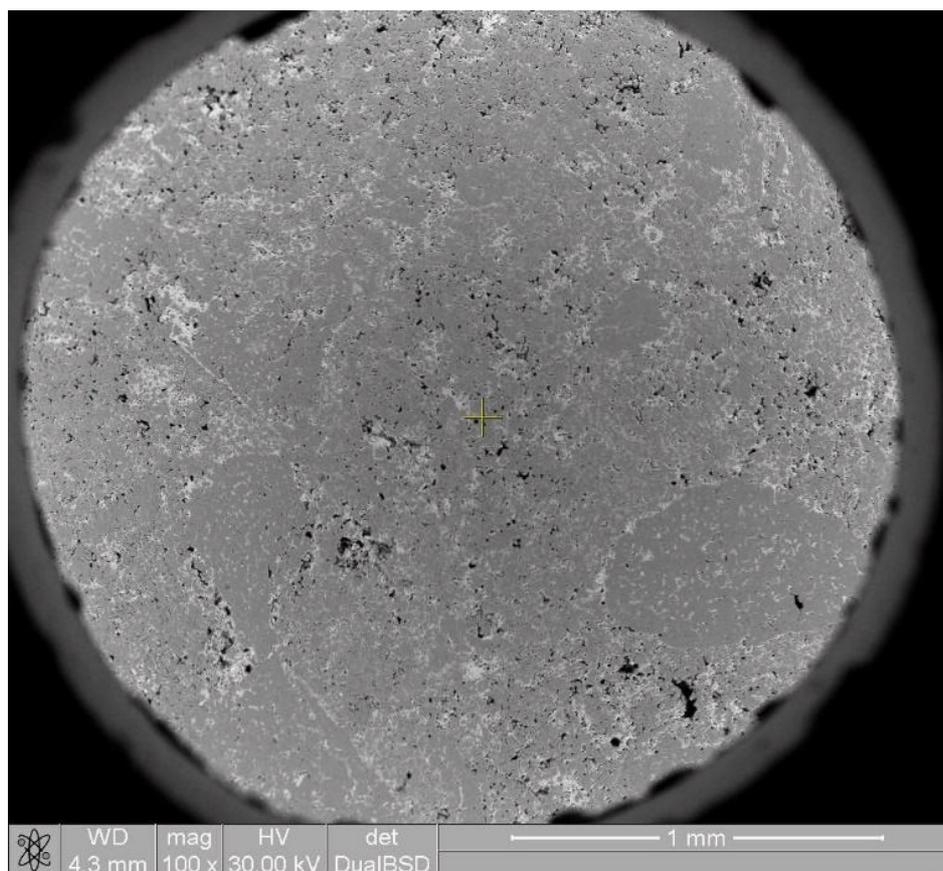


Рис. 2. Микроструктура сплава

Fig. 2. Alloy microstructure

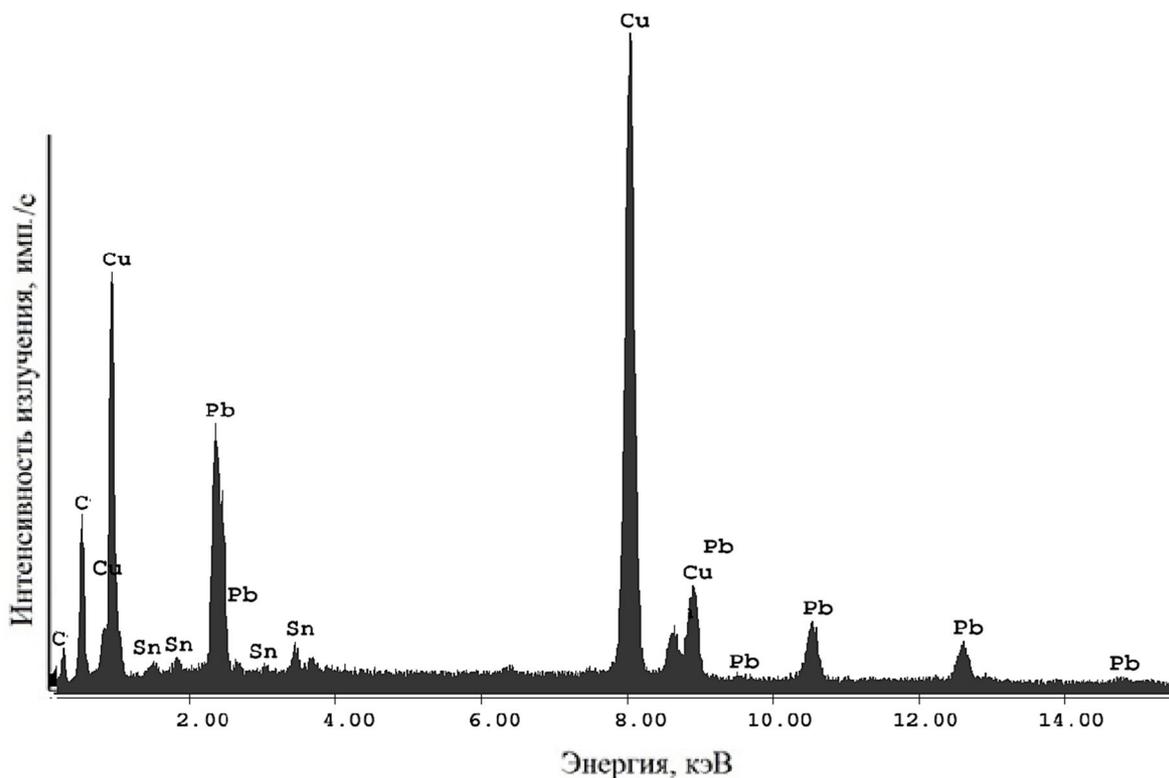


Рис. 3. Спектрограмма элементного состава

Fig. 3. Elemental composition spectrogram

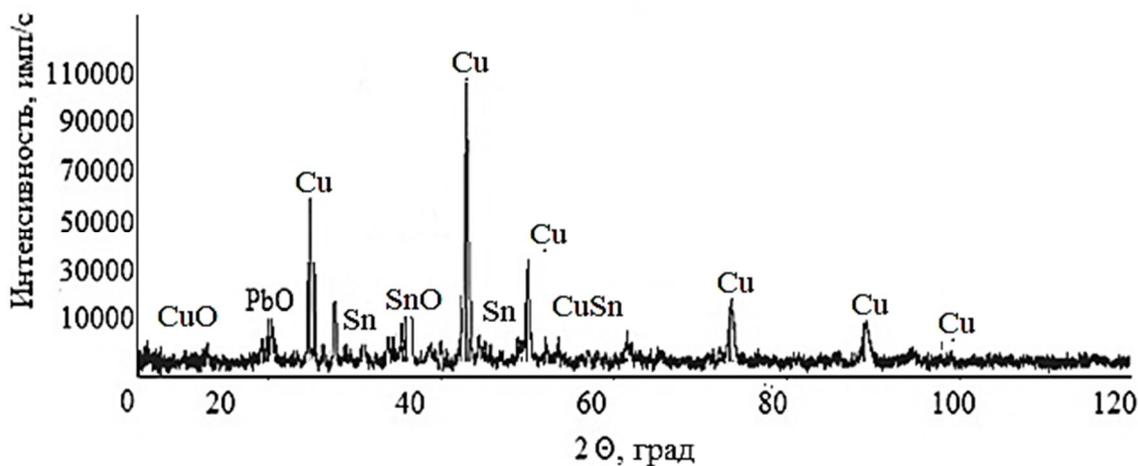


Рис. 4. Дифрактограмма фазового состава

Fig. 4. Diffractogram of the phase composition

По результатам проведенных трибологических испытаний проводили оценку коэффициента трения и интенсивности изнашивания пары трения. После испытаний были получены снимки поверхности

разрушения обоих тел пары трения «образец – контртело» (рис. 5).

Обобщенные результаты исследования износостойкости и физико-механических свойств экспериментальных образцов представлены в таблице.

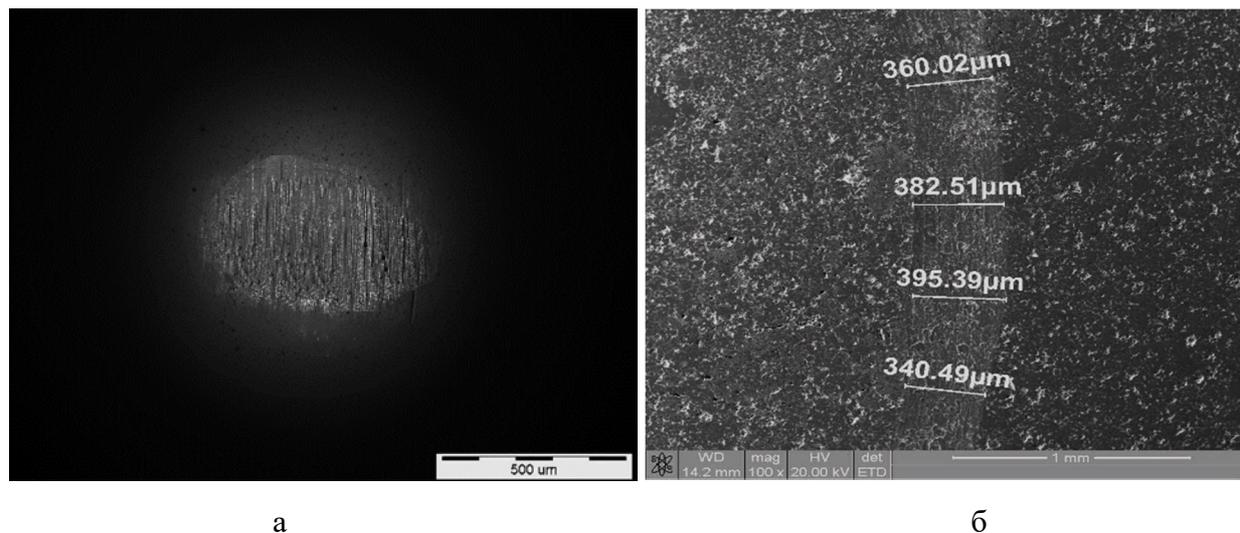


Рис. 5. Снимки поверхности разрушения пары трения: а – контртела; б – образца

Fig. 5. Pictures of the fracture surface of the friction pair: а – of the counterbody; б – and the sample

Таблица. Основные характеристики износостойкости

Table 1. The main characteristics of wear resistance

Исследуемый параметр	Марка сплава БрО5С25
Коэффициент трения μ	<u>0,259</u>
	0,315
Интенсивность изнашивания статистического партнера (шарик Al_2O_3 $\varnothing 6$ мм), $mm^3 \cdot N^{-1} \cdot m^{-1}$	<u>2,105</u>
	2,137
Интенсивность изнашивания образца, $mm^3 \cdot N^{-1} \cdot m^{-1}$	<u>247</u>
	264
Микротвердость по Виккерсу, МПа	<u>544</u>
	<u>483</u>
Пористость, %	<u>1,35</u>
	1,42

Примечание. В знаменателе представлены значения параметров промышленных сплавов.

Экспериментально установлено, что состав, структура и свойства шихты диспергированной электроэрозией бронзы БрО5С25 оказывают влияние на трибологические свойства заготовок сплава. В частности, наличие в сплаве из электроэрозивной шихты, полученной в керосине, свободного углерода, выполняющего роль твердой смазки, приводит к снижению коэффициента трения.

Показано, что сплавы, полученные из электроэрозивной шихты, обладают более высокими значениями микротвердости в сравнении со сплавом, полученным из промышленно применяемой шихты. Значительное увеличение микротвердости сплавов объясняется наличием высокопрочных частиц, образующихся при закалке паров металла в рабочей жидкости при диспергировании.

Наличие мелких фракций в электроэрозионных материалах способствует увеличению плотности прессовок и снижению пористости заготовок.

Полученные результаты исследований способствуют развитию дальнейших исследований в области совершенствования технологических процессов изготовления новых антифрикционных сплавов.

Выводы

1. На основании проведенных экспериментальных исследований можно заключить, что использование электроэрозионного порошка в качестве исходного сырья при изготовлении новых антифрикционных сплавов позволит увеличить ре-

сурс готовых изделий за счет улучшения параметров износостойкости.

2. Отмечено, что новые сплавы обладают более высокими физико-механическими свойствами по сравнению с промышленными сплавами, из которых были получены исходные частицы порошка.

3. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать к использованию новые антифрикционные сплавы в качестве исходных материалов для изготовления втулок подшипников скольжения, работающих в условиях жидкостного трения. Экономическая эффективность от использования электроэрозионных порошков обусловлена применением отходов и малоэнергоемкой технологии для их производства.

Список литературы

1. Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2016. 359 с.
2. Петриченко В. К. Антифрикционные материалы и подшипники скольжения: справочник. М.: Машгиз, 1954. 383 с.
3. Ageev E. V., Pereverzev A. S. X-ray diffraction analysis of products sintered from isostatically pressed leaded bronze powders // MATEC Web of Conferences 298. 2019. Vol. 298. P. 00037.
4. 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.
5. Numerical optimization of the charge production process by electrodispersion of T5K10 alloy waste / E. V. Ageev, E. V. Ageeva, A. E. Gvozdev, A. A. Kalinin // Chebyshevskii sbornik. 2022. Vol. 23, no. 1. P. 183–195.
6. Патент 2449859 Рос. Федерация, МПК В 22 F 9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е. В.; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. 4 с.
7. 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.
8. Агеева Е. В., Агеев Е. В., Карпенко В. Ю. Изучение формы и элементного состава порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов инструментальных материалов

электроэрозионным диспергированием в водной среде // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 14–17.

9. Определение основных закономерностей процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, А. С. Чернов, Г. С. Маслов, Е. И. Паршина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1 (46). С. 85–90.

10. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. Морфология и элементный состав медных электроэрозионных порошков, пригодных к спеканию // Вестник машиностроения. 2014. № 10. С. 66–68.

11. 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 (44), ч. 2. С. 99–102.

12. 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 (40), ч. 1. С. 182–189.

13. Изучение строения и свойств твердосплавных электроэрозионных порошков, используемых для восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, А. А. Давыдов, С. А. Бондарев, Е. П. Новиков, А. Ю. Молодкин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 2. С. 69–72.

14. Байрамов Р. К. Получение высокодисперсных порошков металлов и их соединений электроискровым диспергированием металлов: монография. М: Изд. дом МИСиС, 2012. 80 с.

15. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy / R. A. Latypov, G. R. Latypova, E. V. Ageev, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // Russian Metallurgy (Metally). 2017. Vol. 2017, no. 12. P. 1083–1085.

16. Артамонов Б. А., Круглов А. И., Стебаев Л. И. Генераторы импульсов для электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1976. 124 с.

17. Агеев Е. В., Семенихин Б. А., Латыпов Р. А. Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 5, ч. 2. С. 238–240.

18. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е. В. Агеев, А. А. Горохов, А. Ю. Алтухов, А. В. Щербаков, С. В. Хардилов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1 (64). С. 26–31.

19. Пикалов С. В., Агеев Е. В., Агеева А. Е. Разработка и исследование высокопрочных быстрорежущих сталей на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава Р6М5 // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 11, № 4. С. 53–67.

20. Триботехнические свойства пластичных смазочных композиционных материалов с наполнителями из дисперсных частиц меди и цинка / В. В. Медведева, А. Д. Бреки, Н. А. Крылов, С. Е. Александров, А. Е. Гвоздев, Н. Е. Стариков, Н. Н. Сергеев, Е. В. Агеев, А. Н. Сергеев, Д. В. Малий, Д. А. Провоторов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 2 (65). С. 109–119.

References

1. Osintsev O. E., Fedorov V. N. *Med' i mednye splavy. Otechestvennye i zarubezhnye marki* [Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands]. 2th ed., reprint. and additional. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2016. 359 p.
2. Petrichenko V. K. *Antifriktsionnye materialy i podshipniki skol'zheniya* [Antifriction materials and sliding bearings]. Moscow, Mashgiz Publ., 1954. 383 p.
3. Ageev E. V., Pereverzev A. S. X-ray diffraction analysis of products sintered from isostatically pressed leaded bronze powders. *MATEC Web of Conferences* 298, 2019, vol. 298, pp. 00037.
4. 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.
5. Ageev E. V., Ageeva E. V., Gvozdev A. E., Kalinin A. A. Numerical optimization of the charge production process by electrodispersion of T5K10 alloy waste. *Chebyshevskii sbornik*, 2022, vol. 23, no. 1, pp. 183–195.
6. Ageev E. V. *Ustanovka dlya polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodyashchikh materialov* [Installation for the production of nanodisperse powders from conductive materials]. Patetn RF, no. 2449859, 2012.
7. 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.
8. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. *Izuchenie formy i elementnogo sostava poroshka, poluchennogo iz vol'framsoderzhashchikh otkhodov instrumental'nykh materialov elektroerozionnym dispergirovaniem v vodnoi srede* [Study of the form and elemental composition of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosive dispersion in an aqueous medium]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*, 2014, no. 4 (112), pp. 14–17.
9. Ageev E. V., Ageeva E. V., Chernov A. S., Maslov G. S., Parshina E. I. *Opredelenie osnovnykh zakonomernostei protsessa polucheniya poroshkov metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya* [Determination of the main regularities of the process of obtaining powders by the method of electroerosive dispersion]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2013, no. 1 (46), pp. 85–90.
10. Ageeva E. V., Horyakova N. M., Ageev E. V. *Morfologiya i elementnyi sostav mednykh elektroerozionnykh poroshkov, prigodnykh k spekaniyu* [Morphology and elemental composition of copper electroerosive powders suitable for sintering]. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of Mechanical Engineering*, 2014, no. 10, pp. 66–68.
11. Ageev E. V., Latypova G. R., Davydov A. A., Ageeva E. V. *Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov* [Conducting X-ray spectral microanalysis of carbide electroerosion powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 5 (44), pt. 2, pp. 99–102.
12. 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 electroerosive dispersion of

solid alloy waste - a promising material for the restoration of parts of automotive equipment]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1, pt. 1 (40), pp. 182–189.

13. Ageev E. V., Ageeva E. V., Davydov A. A., Bondarev S. A., Novikov E. P., Molodkin A. Yu. Izuchenie stroeniya i svoistv tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov, ispol'zuemykh dlya vosstanovleniya i uprochneniya detalei avtotraktornoi tekhniki [The study of the structure and properties of carbide electroerosion powders used for the restoration and hardening of parts of automotive equipment]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2013, no. 2, pp. 69–72.

14. Bayramov P. K. Poluchenie vysokodispersnykh poroshkov metallov i ikh soedinenii elektroiskrovym dispergirovaniem metallov [Obtaining highly dispersed powders of metals and their compounds by electric spark dispersion of metals]. Moscow, MISIS Publ., 2012. 80 p.

15. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2017, vol. 2017, no. 12, pp. 1083–1085.

16. Artamonov B. A., Kruglov A. I., Stebaev L. I. Generatory impul'sov dlya elektroerozionnoi obrabotki [Pulse generators for electroerosion treatment]. Moscow, Ma-shinostroenie Publ., 1976. 124 p.

17. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Latypov R. A. Issledovanie vliyaniya elektricheskikh parametrov ustanovki na protsess poroshkoobrazovaniya pri elektroerozionnom dispergirovanii otkhodov tverdogo splava [Investigation of the influence of electrical parameters of the installation on the process of powder formation during the electroerosion dispersion of solid alloy waste]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2009, vol. 11, no. 5–2, pp. 238–240.

18. Ageev E. V., Gorokhov A. A., Altukhov A. Yu., Shcherbakov A. V., Hardikov S. V. Rentgenospektral'nyi mikroanaliz nikhromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v srede kerosina [X-ray spectral microanalysis of nichrome powder obtained by the method of electroerosive dispersion in kerosene medium]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 1 (64), pp. 26–31.

19. Pikalov S. V., Ageev E. V., Ageeva A. E. Razrabotka i issledovanie vysokoprochnykh bystrorezhushchikh staley na osnove dispergirovannykh elektroeroziei chastits splava R6M5 [Development and research of high-strength high-speed steels based on particles of alloy P6M5 dispersed by electroerosion]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2020, vol. 11, no. 4, pp. 53–67.

20. Medvedeva V. V., Breki A. D., Krylov N. A., Alexandrov S. E., Gvozdev A. E., Starikov N. E., Sergeev N. N., Ageev E. V., Sergeev A. N., Maliy D. V., Provotorov D. A. Tribotekhnicheskie svoistva plastichnykh smazochnykh kompozitsionnykh materialov s napolnitelyami iz dispersnykh chastits medi i tsinka [Tribotechnical properties of plastic lubricating composite materials with fillers from dispersed particles of copper and zinc]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 2 (65), pp. 109–119.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev-ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

Evgeny V. Ageev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev-ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

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

Anton S. Pereverzev, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: chaser-93@yandex.ru

Емельянов Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры дизайна и индустрии моды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vmemelianov@yandex.ru

Viktor M. Yemelyanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Chief Scientific Officer at the Department of Design and Fashion Industry, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vmemelianov@yandex.ru

Серебровский Вадим Васильевич, 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, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: svi.doc@yandex.ru