

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-45-54>

Структура и свойства сплавов на основе электроэрозионного порошка латуни ЛС58-3, полученного в воде дистиллированной

Е. В. Агеева¹ ✉, Л. С. Аболмасова¹, А. С. Переверзев¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Целью настоящей работы являлось изучение микроструктуры и физико-механических свойств заготовок сплавов на основе электроэрозионной порошковой латуни марки ЛС58-3, полученной в воде дистиллированной. Данное исследование позволит проанализировать использование данного сплава в применении деталей на трение, например, для подшипников скольжения.

Методы. Для выполнения намеченных исследований были выбраны отходы сплава ЛС58-3. В качестве рабочей жидкости применялась вода дистиллированная. На экспериментальной запатентованной установке для получения порошков диспергировали отходы сплава ЛС58-3 в воде дистиллированной при массе загрузки 300 г. При этом использовали следующие режимы: ёмкость конденсаторов 45–65 мкФ; напряжение на электродах от 150–200 В; частота следования импульсов 50–100 Гц. Получение заготовок новых сплавов производили на установке электроискрового плазменного спекания SPS 25-10 (ThermalTechnology, США). Исследование микроструктуры заготовок новых сплавов проводили на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе QUANTA 600 FEG (Нидерланды). Исследование пористости заготовок новых сплавов проводили на оптическом инвертированном микроскопе OLYMPUS GX51 (Япония). Исследование микротвердости заготовок новых сплавов проводили на автоматизированном микротвердомере AFFRI DM-8 (по Виккерсу).

Результаты. Анализ микроструктуры показал, что образец имеет мелкозернистую структуру, поверхность однородная. Согласно полученным результатам анализа пористости образец имеет менее 1% пор, что достигается благодаря технологии искрового плазменного спекания порошка.

Также показан значительный рост микротвердости, что объясняется образованием высокотвердых микрочастиц порошка при закалке паров металла в рабочей жидкости во время диспергирования отходов.

Заключение. Использование технологии искрового плазменного спекания электроэрозионной латуни позволяет получить заготовки новых сплавов с практически беспористой структурой, что приводит к увеличению твердости полученных заготовок. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать к использованию полученный порошок в качестве исходного сырья для получения заготовок сплавов и расширить область их практического применения.

Ключевые слова: латунь; электроэрозионное диспергирование; металлоотходы; сплава; порошок.

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

Для цитирования: Агеева Е. В., Аболмасова Л. С., Переверзев А. С. Структура и свойства сплавов на основе электроэрозионного порошка латуни ЛС58-3, полученного в воде дистиллированной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 2. С. 45–54. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-45-54>

Поступила в редакцию 19.04.2024

Подписана в печать 20.05.2024

Опубликована 17.06.2024

Structure and properties of alloys based on electroerosive brass powder LS58-3 obtained in distilled water

Ekaterina V. Ageeva¹✉, Liliya S. Abolmasova¹, Anton S. Pereverzev¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

The purpose of this work was to study the microstructure and physico-mechanical properties of alloy blanks based on electroerosive powder brass of the LS58-3 brand obtained in distilled water.

Methods. To carry out the planned research, waste of the LS58-3 alloy was selected. Distilled water was used as the working fluid. In an experimental patented installation for producing powders, waste LS58-3 alloy was dispersed in distilled water with a load mass of 300 g. The following modes were used: capacitor capacity 45–65 μF ; voltage at the electrodes from 150–200 V; pulse repetition rate 50–100 Hz. The preparation of new alloy blanks was carried out using an SPS 25-10 electric spark plasma sintering installation (ThermalTechnology, USA). The microstructure of new alloy workpieces was studied using an electron-ion scanning (raster) microscope QUANTA 600 FEG (Netherlands). The study of the porosity of workpieces of new alloys was carried out using an optical inverted microscope OLYMPUS GX51 (Japan). The study of microhardness of workpieces of new alloys was carried out using an automated microhardness tester AFFRI DM-8 (Vickers).

Results. Analysis of the microstructure showed that the sample has a fine-grained structure and a homogeneous surface. According to the obtained porosity analysis results, the sample has less than 1% pores, which is achieved thanks to the technology of spark plasma sintering of the powder. Analysis of the microhardness of the sample showed a significant increase in microhardness, which is explained by the presence of high-hard particles formed during quenching of metal vapor in the working fluid during dispersion.

Conclusion. The use of spark plasma sintering technology for electroerosive brass makes it possible to obtain blanks of new alloys with a practically non-porous structure, which leads to an increase in the hardness of the resulting blanks. The results of the conducted studies make it possible to recommend the use of the resulting powder as a starting material for the production of alloy blanks and to expand the scope of their practical application.

Keywords: brass; electroerosive dispersion; metal waste; alloy; powder.

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., Abolmasova L.S. Pereverzev A.S. Structure and Properties of Alloys Based on Electroerosive Brass Powder LS58-3 Obtained in Distilled Water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2024;14(2):45–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-45-54>

Received 19.04.2024

Accepted 20.05.2024

Published 17.06.2024

Введение

Постоянное улучшение характеристик трибосистем в машинах и оборудовании является залогом успешного развития машиностроения и промышленности в целом. Используемые в промышленности в качестве трибосистем подшипники скольжения обладают хорошими антифрикционными свойствами, способны выдерживать высокие скорости скольжения и удельные нагрузки.

Широко распространены в промышленности втулки в качестве подшипников скольжения. При этом одним из самых рациональных путей повышения прочности сцепления антифрикционного покрытия и износостойкости таких втулок является применение биметаллических соединений, где внутренняя (трущаяся) сторона выполнена из различных сплавов (чаще всего на основе меди) [1].

Среди применяемых антифрикционных сплавов сплавы на основе меди [2] занимают особое место [3]. Это связано с тем, что медь широко применяется в чистом виде [4], в виде сплавов благодаря высокой коррозионной стойкости, технологичности, сравнительно низкой стоимости [5].

Среди сплавов наибольшее распространение в промышленности получили медные сплавы, в том числе латуни [6]. По сравнению с медью латуни обладают более высокой прочностью, коррозионной стойкостью, лучшими литейными качествами, имеют более высокую температуру рекристаллизации [7].

Наибольший исследовательский интерес вызывает специальная латунь марки ЛС58-3, в составе которой основными легирующими элементами являются цинк (36,3–40,3%) и свинец (2,5–3,5%). Добавки свинца улучшают обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства латуни [8]. Однако низкая твердость свинцовой латуни ограничивает область её применения [9].

Получение латуней технологиями порошковой металлургии является актуальным, поскольку позволяет не только производить изделия различных форм и назначений [11], но и создавать принципиально новые материалы [12] с заданным комплексом свойств [13]. В качестве одной из перспективных, но недостаточно изученных технологий получения сплавов с увеличенными показателями физико-механических свойств является получение металлопорошков с помощью электроэрозии [14] и их консолидация в заготовки искровым плазменным спеканием [15]. Данная технология позволяет получить изделия с практически беспористой структурой и высокой твердостью в сравнении с промышленными аналогами, изготовленными по классической технологии [16].

Широкое использование медных сплавов прежде всего обусловлено высокой электро- и теплопроводностью, кор-

розионной стойкостью, хорошим сочетанием прочности и пластичности [17]. Латунь является сплавом меди, в которых цинк выступает в качестве основного легирующего элемента [18]. В зависимости от содержания цинка (от 5 до 40%) латуни могут приобретать различные физические и механические характеристики [19].

Изготовление новых сплавов на основе электроэрозионной латуни позволит расширить область её применения за счет увеличения показателей механических свойств сплавов [20]. С этой целью необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований.

Материалы и методы

Электродиспергирование отходов сплава ЛС58-3 проводили на запатентованной установке (Патент РФ № 2449859), в качестве металлоотходов размером 10×10×20 мм применялись отходы сплава ЛС58-3 (ГОСТ 15527-2004). В качестве рабочей среды диспергирования была выбрана вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72), являющаяся кислородсодержащей жидкостью.

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.

Разрушение токопроводящих материалов отходов в порошки происходило в результате возникновения электрических разрядов между электродами, изготовленными из того же материала, что и отходы, и самим материалом отходов.

Получение заготовок новых сплавов производили на установке электроискрового плазменного спекания SPS 25-10 (ThermalTechnology, США).

Образец в виде порошка помещали в графитовую пресс-форму, предварительно футерованную графитовой бумагой, затем пресс-форму устанавливали в

пресс и откачивали вакуум. Нагревали заготовку до 100°C со скоростью 100°/мин, при 100°C выдерживали образец 2 минуты для дегазации. Затем образец спрессовывали при давлении 40 МПа с одновременным нагревом до 800°C со скоростью 100°/мин и выдерживали при данной температуре и давлении 5 мин. Охлаждали до комнатной температуры со скоростью примерно 30°/мин. После полного остывания снимали нагрузку с образца и извлекали его из пресс-формы.

Аттестацию полученных заготовок новых сплавов проводили различными методами.

Исследование микроструктуры заготовок новых сплавов проводили на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе QUANTA 600 FEG (Нидерланды), исследование пористости с помощью оптического инвертированного микроскопа Olympus GX51 с программным обеспечением для количественного анализа изображения SIAMSPHOTOlab, позволяющим оператору в интерактивном режиме выбрать те из автоматически выде-

ленных объектов, которые, по его мнению, представляют собой дефекты микроструктуры.

Исследование микротвердости заготовок новых сплавов проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микровиккерса. Нагрузка на индентор составляла 200 г. Количество отпечатков алмазных наконечников 10. Время нагружения 10 с.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования микроструктуры новых сплавов были получены микрофотографии поперечного шлифа при увеличении микроскопа (рис. 1). Показано, что образец имеет мелкозернистую структуру, поверхность однородная и имеет малую пористость. Эффект подавления роста зерна в получаемых сплавах достигается за счет высокой интенсивности нагрева, регулируемой величины давления и низкой продолжительности процесса искрового плазменного спекания.

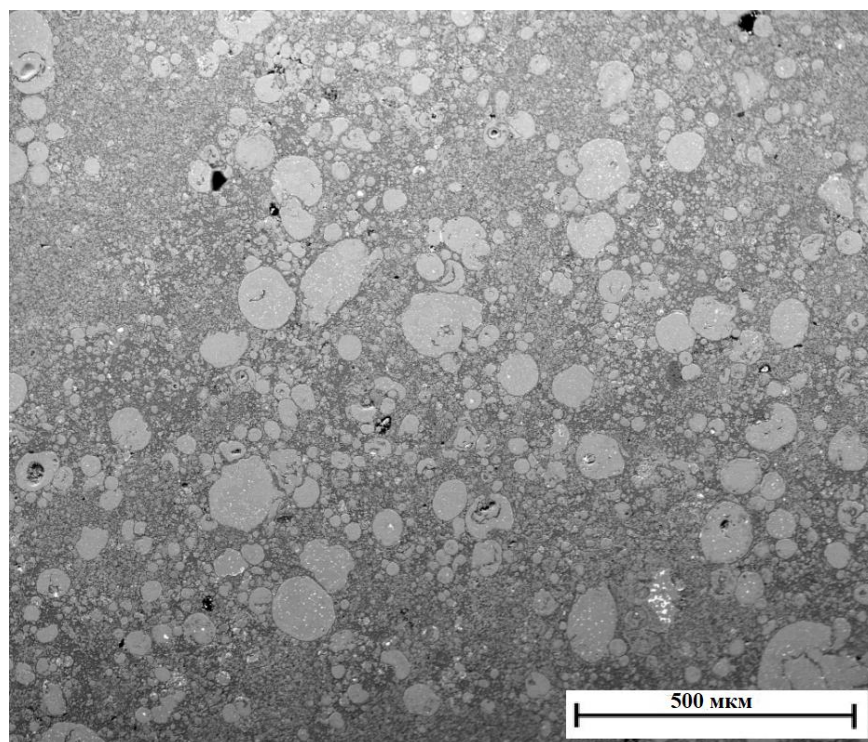


Рис. 1. Микроструктура поперечного шлифа образца

Fig. 1. Microstructure of a transverse section of a sample

Результаты исследования пористости образца металлографическим методом приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Результаты исследования микротвердости образца представлены в таблице 2.

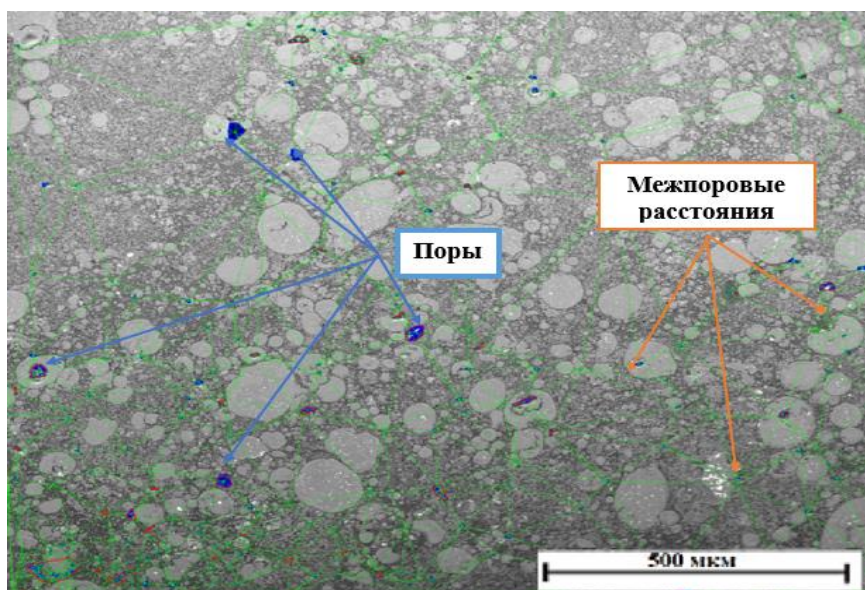


Рис. 2. Количественный анализ изображения программного обеспечения «SIAMS Photolab»

Fig. 2. Quantitative image analysis using «SIAMS Photolab» software

Таблица 1. Пористость образца (металлографический метод)

Table 1. Sample porosity (metallographic method)

Наименование параметра	Значение
Проанализированная площадь, мкм ²	13157317
Поры, количество частиц	2331
Поры площадь, мкм ²	83413
Поры (доля), %	0,63
Поры (ср. расстояние м/у соседями), мкм	93,8

Таблица 2. Микротвердость по Виккерсу

Table 2. Vickers microhardness

Номер отпечатка	Значение микротвердости, HV0.2
1	187
2	176
3	200
4	185
5	176
6	118
7	172
8	125
9	139
10	159
Среднее значение	164

Микроструктура медных сплавов является важным фактором, который влияет на прочность латуни.

В результате проведения экспериментов установлено, что микротвердость полученных образцов значительно превосходит микротвердость промышленно применяемых аналогов. Данное явление объясняется образованием в процессе диспергирования высокотвердых частиц порошка в результате закалки паров металла в рабочей жидкости. Также консолидация частиц порошка методом искрового плазменного спекания способствует увеличению плотности и закономерному снижению пористости заготовок, что в конечном итоге оказывает влияние на характеристику твердости исследуемого образца.

Согласно полученным результатам образец имеет пористость менее 1%, что достигается благодаря технологии искрового плазменного спекания порошка. Когда частицы порошка подвергают спеканию под высоким давлением, они уплотняются. Это способствует снижению размера пор между частицами порошкового материала.

Выводы

Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование технологии электроэрозионного диспергирования для получения металлопорошков латуни ЛС58-3 и дальнейшее их спекание электроискровым методом является актуальным. Частицы получаемой шихты обладают заданным комплексом свойств и оказывают влияние на структуру и свойства полученных из них заготовок сплавов.

2. Использование технологии искрового плазменного спекания позволяет получить заготовки новых сплавов с практически беспористой структурой, что приводит к увеличению твердости полученных заготовок.

3. Полученные результаты экспериментальных исследований способствуют дальнейшему развитию технологий порошковой металлургии и разработке рекомендаций по практическому применению электроэрозионного порошка латуни ЛС58-3 в качестве исходного сырья для получения заготовок сплавов, что, в свою очередь, будет способствовать расширению области их применения.

4. Экономическая эффективность от использования технологий электроэрозионного диспергирования и искрового плазменного спекания обусловлена повторным применением металлоотходов, малой энергоемкостью процессов получения порошка и его консолидации.

Список литературы

1. Исследование свойств порошков на медной и никелевой основе для получения градиентных материалов методом селективного лазерного плавления / А. А. Вознесенская, Д. А. Кочуев, А. С. Разносчиков, А. В. Киреев, К. С. Хорьков // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84, № 3. С. 439–442. <https://doi.org/10.31857/S0367676520030291>. EDN LBBPON
2. Севостьянов Н. В., Бурковская Н. П., Бузник В. М. Антифрикционный композиционный материал на медной основе с графитом, изготовленный SPS-методом // Конструкции из композиционных материалов. 2019. № 2(154). С. 37–44. EDN ZIMXBR
3. Математическое моделирование технологических параметров процесса получения антифрикционных сплавов на основе шихты электроэрозионной свинцовой бронзы / Е. В. Агеева,

А. С. Переверзев, П. А. Макаренко М. Г. Манаенков, М. Ю. Степанов, А. Е. Ефимов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 1. С. 54–69. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-1-54-69>. EDN EHXSXZ

4. Левин Д. О., Сулицин А. В., Брусницын С. В. Исследование влияния содержания меди на структуру и свойства литой латуни // Литейное производство. 2023. № 8. С. 20–23. EDN EOWOIH

5. Микроструктура и механические свойства латуни Л63 после фрикционной перемешивающей обработки / А. В. Сударинов, А. В. Чумаевский, А. М. Черемнов, А. П. Зыкова, Е. А. Колубаев // Известия Алтайского государственного университета. 2022. № 4(126). С. 67–73. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2022\)4-10](https://doi.org/10.14258/izvasu(2022)4-10) EDN ZXVMRR

6. Разработка технологии изготовления биметаллических направляющих скольжения (латунь-сталь) / И. Н. Старков, К. А. Рожков, А. Н. Лялин, Т. В. Ольшанская, Д. Н. Трушников // Сварочное производство. 2022. № 1. С. 44–49. EDN QAYIKX

7. Николайчук П. А., Колпакова А. С., Тюрин А. Г. Термодинамическая оценка коррозионно-электрохимического поведения свинцовой латуни ЛС74-3 // Российский химический журнал. 2019. Т. 63, № 2. С. 62–78. <https://doi.org/10.6060/rcj.2019632.10> EDN PFIFTK

8. 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>

9. Вира Д. Ю. Оценка соотношения отечественных и импортных технологий в медной промышленности на основе финансовых показателей // Russian Economic Bulletin. 2024. Т. 7, № 1. С. 86–96. EDN VSLAZN

10. Агеев Е. В., Переверзев А. С. Оптимизация процесса получения электроэрозионной шихты бронзы БрС30 для производства спеченных бронзовых сплавов на её основе // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 2. С. 26–41. EDN RTDGBG

11. Процесс окисления в текстурованных тонких лентах из бинарных сплавов на медной основе / Т. Р. Суаридзе, Ю. В. Хлебникова, Д. П. Родионов, Л. Ю. Егорова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2019. № 4(50). С. 65–72. <https://doi.org/10.18323/2073-5073-2019-4-65-72>. EDN EHLJJS

12. Влияние промежуточного слоя на адгезию и трение азотированных покрытий на основе титана на медной подложке / О. В. Сизова, Н. В. Терюкалова, А. А. Леонов, Ю. А. Денисова, О. С. Новицкая, А. В. Колубаев // Известия вузов. Физика. 2022. Т. 65, № 7(776). С. 55–61. <https://doi.org/10.17223/00213411/65/7/55>. EDNDBFQIJ

13. Пропитка сплавами на медной основе прессованных заготовок из металлокерамики с использованием индукционного нагрева / Э. Н. Беспалов, О. Ю. Бутин, С. А. Ермаков, А. В. Калмыков // Металлургия машиностроения. 2019. № 4. С. 33–36. EDN ZPUKRP

14. Грешников Э. А., Король Г. Г. О сплавах на медной основе в металлообработке регионов Центральной Азии VI–XIII вв. (по материалам исследований химического состава археологических и музейных предметов) // Проблемы истории, филологии, культуры. 2019. № 2(64). С. 245–261. <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2019-2-64-245-261>. EDN DMMKES

15. Семенов К. Г. Низколегированные сплавы на основе меди // Литейщик России. 2020. № 3. С. 40–44. EDN QYOWZR

16. Структура и свойства покрытий на основе вольфрама, золота и азота, полученных на медной подложке комплексным электрофизическим методом / В. В. Почетуха, Д. А. Романов, Е. С. Ващук, А. Д. Филяков, Ю. Ф. Иванов, А. Н. Гостевская // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2023. Т. 21, № 2. С. 85–101. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-85-101>. EDN ZYBGRQ

17. Билецкая А. В. Особенностиковки изделий повышенной сложности из цветных металлов (медь, латунь) на примере изготовления цельнокованой обвальной лопатки и других изделий. Патинирование цветных металлов // Научный аспект. 2022. Т. 1, № 3. С. 104–118. EDN FDHEXC
18. Агеев Е. В., Селютин В. Л., Сабельников Б. Н. Фракционный состав электроэрозионных порошков, полученных из отходов сплава ВНЖ в керосине // Будущее науки – 2020: сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции. Курск: Университетская книга, 2020. С. 51–53.
19. Стерхов А. В. Сантехническая латунь // Арматуростроение. 2021. № 6(135). С. 42–45. EDN ATYYXC
20. Патент № 2810417 Российская Федерация, МПК В22F 3/14, С22С 1/04. Способ получения сплава из порошка свинцовой латуни ЛС58-3 / Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, Л. С. Аболмасова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». № 2023108831: заявл. 07.04.2023: опубл. 27.12.2023. EDN HXILCM

Reference

1. Voznesenskaya A.A., Kochuev D.A., Raznoschikov A.S., Kireev A.V., Hor'kov K.S. Investigation of the properties of copper and nickel-based powders for the production of gradient materials by selective laser melting. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics.* 2020;84(3):439–442. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0367676520030291> EDN LBBPON
2. Sevostyanov N.V., Burkovskaya N.P., Buznik V.M. Antifriction composite material on a copper base with graphite, manufactured by the SPS method. *Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov = Constructions from composite materials.* 2019; (2):37–44. (In Russ.) EDN ZIMXBR
3. Ageeva E.V., Pereverzev A.S., Makarenko P.A., Manaenkov M.G., Stepanov M.Y., Efimov A.E. Mathematical modeling of technological parameters of the process of obtaining antifriction alloys based on a charge of electroerosive lead bronze. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2022;12(1):54–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-1-54-69> EDN EHXSXZ
4. Levin D.O., Sulitsin A.V., Brusnitsyn S.V. Investigation of the influence of copper content on the structure and properties of cast brass. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production.* 2023;(8):20–23. EDN EOWOIH
5. Sudarikov A.V., Chumaevsky A.V., Cheremnov A.M., Zykova A.P., Kolubaev E.A. Microstructure and mechanical properties of brass L63 after friction mixing treatment. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Altai State University.* 2022;(4):67–73. (In Russ.) [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2022\)4-10](https://doi.org/10.14258/izvasu(2022)4-10) EDN ZXVMRR
6. Starkov I.N., Rozhkov K.A., Lyalin A.N., Ol'shanskaya T.V., Trushnikov D.N. Development of technology for manufacturing bimetallic sliding guides (brass-steel). *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production.* 2022;(1):44–49. (In Russ.) EDN QAYIKX
7. Nikolaichuk P.A., Kolpakova A.S., Tyurin A.G. Thermodynamic assessment of the corrosion-electrochemical behavior of lead brass LS74-3. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal = Russian Chemical Journal.* 2019;63(2):62–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.6060/rcj.2019632.10> EDN PFIFTK
8. 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;35:1664–1670. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ja/d0ja00171f>

9. Vira D.Y. Assessment of the ratio of domestic and imported technologies in the copper industry based on financial indicators. *Russian Economic Bulletin*. 2024;7(1):86–96. (In Russ.) EDN VSLAZN
10. Ageev E.V., Pereverzev A.S. Optimization of the process of obtaining an electroerosion charge of BrS30 bronze for the production of sintered bronze alloys based on it. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2021;11(2):26–41. (In Russ.) EDN RTDGBG
11. Suaridze T.R., Khlebnikova Y.V., Rodionov D.P., Egorova L.Y. The oxidation process in textured thin tapes made of binary copper-based alloys. *Vector of Science of Tolyatti State University*. 2019;4(50):65–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.18323/2073-5073-2019-4-65-72> EDN EHLJJS
12. Sizova O.V., Teryukalova N.V., Leonov A.A., Denisova Y.A., Novickaya O.S., Kolu-baev A.V. The effect of the intermediate layer on the adhesion and friction of nitrided titanium-based coatings on a copper substrate. *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2022;65(7):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/00213411/65/7/55> EDN DBFQIJ
13. Bespalov E.N., Butin O.Y., Ermakov S.A., Kalmykov A.V. Impregnation of pressed cermet blanks with copper-based alloys using induction heating. *Metallurgiya mashinostroeniya = Metallurgy of mechanical engineering*. 2019;(4):33–36. (In Russ.) EDN ZPUKRP
14. Greshnikov E.A., Korol G.G. On copper-based alloys in metalworking in the regions of Central Asia of the VI–XIII centuries (based on the materials of studies of the chemical composition of archaeological and museum objects). *Problemy istorii, filologii, kul'tury = Problems of history, philology, culture*. 2019;(2):245–261. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2019-2-64-245-261> EDN DMMKES
15. Semenov K.G. Low-alloy alloys based on copper. *Liteyshchik Rossii = Foundry of Russia*. 2020;(3):40–44. (In Russ.) EDN QYOWZR
16. Pochetukha V.V., Romanov D.A., Vashchuk E.S., Filyakov A.D., Ivanov Y.F., Gostevskaya A.N. Structure and properties of coatings based on tungsten, gold and nitrogen obtained on a copper substrate by a complex electrophysical method. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov*. 2023;21(2):85–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-85-101> EDN ZYBGRQ
17. Biletskaya A.V. Features of forging products of increased complexity from non-ferrous metal (copper, brass) on the example of the manufacture of a solid-forged shoe blade and others from deli. Patination of non-ferrous metals. *Nauchnyi aspekt = Scientific aspect*. 2022;1(3):104–118. (In Russ.) EDN FDHEXC
18. Ageev E.V., Selyutin V.L., Sabelnikov B.N. Fractional composition of electroerosive powders obtained from waste alloy of residence permit in kerosene. In: *Budushchee nauki – 2020: sbornik nauchnykh statej 8-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii = Future of Science – 2020: collection of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference*. Kursk: Universitetskaya kniga; 2020. P. 51–53. (In Russ.)
19. Sterkhov A.V. Sanitary brass. *Armaturestroenie = Armature engineering*. 2021;(6):42–45. (In Russ.) EDN ATYYXC
20. Ageeva E.V., Ageev E.V., Abolmasova L.S. Method for obtaining an alloy from lead brass powder LS58-3. Patent 2810417 Russian Federation, 27 December 2023. (In Russ.) EDN HXILCM

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

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

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

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

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

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