

Оригинальная статья / Original article

УДК 621

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-44-53>

Морфологии и гранулометрический состав экспериментального безвольфрамового твердосплавного порошкового материала

Е.В. Агеев^{1✉}, Б.Н. Сабельников¹, А.П. Башкирев², Е.Е. Сивак²

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

² Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова
ул. К. Маркса, д. 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Анализ морфологических особенностей и гранулометрического состава новых порошковых материалов, синтезированных на основе безвольфрамовых твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования в среде, обогащенной углеродом.

Методы. Для получения порошков из отходов безвольфрамовых сплавов была задействована экспериментальная лабораторная установка электроэрозионного диспергирования. Исследование морфологии и распределения частиц по размерам выполнялось с использованием сканирующего электронного микроскопа QUANTA 600 FEG и лазерного анализатора размера частиц Analysette 22 NanoTec.

Результаты проведенных исследований демонстрируют, что частицы порошка характеризуются правильной сферической и эллиптической формой, а их размерный диапазон составляет от 0,320 мкм до 67 мкм.

Заключение. Проведенные исследования опытного порошка безвольфрамового твердого сплава, полученного методом электроэрозионного диспергирования в спирте метиловом, позволили установить, что частицы порошка характеризуются правильной сферической и эллиптической формой. Эта особенность обусловлена механизмом быстрой кристаллизации расплавленного материала в жидкой рабочей среде – спирте метиловом.

Форма частиц в виде сфер и эллипсоидов положительно влияет на способность порошкового материала к уплотнению, что является важным фактором для его последующего сплавления в новый безвольфрамовый твердый сплав с прогнозируемо низкими значениями пористости.

Представленные результаты исследования гранулометрического распределения дают основания утверждать, что синтез новых порошковых материалов из отходов безвольфрамовых твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования в углеродсодержащей среде позволяет получить продукт с оптимальным распределением частиц по размерам, что является ключевым для создания нового сплава с заданными свойствами.

Ключевые слова: безвольфрамовый твердый сплав; электроэрозионное диспергирование; морфология; гранулометрический состав; размер; порошковый материал; спирт метиловый.

Финансирование: 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.

Для цитирования: Морфологии и гранулометрический состав экспериментального безвольфрамового твердосплавного порошкового материала / Е.В. Агеев, Б.Н. Сабельников, А.П. Башкирев, Е.Е. Сивак // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 3. С. 44–53. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-44-53>.

Поступила в редакцию 20.08.2025

Подписана в печать 02.09.2025

Опубликована 30.09.2025

Morphology and granulometric composition of an experimental tungsten-free hard alloy powder material

Evgeny V. Ageev¹✉, Boris N. Sabelnikov¹, Anatoly P. Bashkirev², Elena E. Sivak²

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

² Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov
70 K. Marks Str., Kursk 305021, Russian Federation

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Study the morphology and granulometric distribution of new powder materials obtained on the basis of tungsten-free hard alloys by electroerosive dispersion in a carbon-containing medium.

Methods. To obtain new materials from tungsten-free hard alloy waste, an experimental laboratory setup for electroerosive dispersion was used. Morphological and particle size distribution studies were carried out using a QUANTA 600 FEG scanning electron microscope and an Analysette 22 NanoTec laser particle size analyzer.

Results. The results of studying the morphology and granulometric distribution of new electroerosive powder materials based on tungsten-free hard alloys obtained in a carbon-containing medium showed that the powder particles have a regular spherical and elliptical shapes, and the particle size ranges from 0,320 µm to 67 µm.

Conclusion. Based on experimental studies of the experimental tungsten-free hard alloy powder obtained by electroerosive dispersion in kerosene for lighting, it was found that the particles have a regular spherical and elliptical shape due to the process of rapid crystallization of the molten material in the liquid working medium of kerosene for lighting. In turn, the spherical and elliptical particles shapes have a beneficial effect on the compaction of the powder material for its further sintering into a new tungsten-free hard alloy with an obviously low porosity index.

The presented results of studying the granulometric distribution allow us to conclude that the production of new powder materials from tungsten-free hard alloys waste by electroerosive dispersion in a carbon-containing medium leads to the formation of the product with an optimal particle size for obtaining a new alloy with specified properties.

Keywords: tungsten-free hard alloy; electroerosive dispersion; morphology; granulometric distribution; size; powder material; methyl alcohol.

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

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

For citation: Ageev E.V., Sabelnikov B.N., Bashkirev A.P., Sivak E.E. Morphology and granulometric composition of an experimental tungsten-free hard alloy powder material. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2025;15(3):44–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-44-53>.

Received 20.08.2025

Accepted 02.09.2025

Published 30.09.2025

Введение

Спеченные твердые сплавы находят сегодня широкое применение в различных

отраслях промышленности, в особенности при производстве строительной техники и оборудования. Однако сохраняет свою ак-

туальность проблема экономии вольфрама как стратегически важного и дорогостоящего материала. В целях сокращения использования дефицитного вольфрама были разработаны безвольфрамовые твердые сплавы, основу которых составляют карбиды и карбонитриды переходных металлов, в первую очередь титана, производимые с применением никель-молибденовой связки. Получаемые на их основе материалы по своим ключевым характеристикам сопоставимы со стандартными сплавами системы Ti-Co.

Одним из наиболее радикальных подходов к решению указанной проблемы является переработка отходов твердых сплавов. Существующие в настоящее время методы переработки таких отходов отличаются высокой энергоемкостью, значительными масштабами производства и негативным воздействием на окружающую среду. Электроэрозионное диспергирование представляет собой перспективную технологию измельчения любых электропроводящих материалов, включая безвольфрамовые твердые сплавы, однако ее промышленное применение до сих пор ограничено.

В современной научно-технической литературе отсутствуют исчерпывающие сведения о составе, структуре и свойствах частиц безвольфрамовых твердых сплавов, полученных методом электроэрозионного диспергирования, а также о сплавах, производимых на их основе. В связи с этим возникает необходимость в проведении комплекса теоретических и экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы является изучение морфологии и гранулометрического распределения новых порошковых материалов, полученных путем переработки отходов безвольфрамового твердого сплава в углеродсодержащей среде с использованием установки для электроискрового диспергирования.

Материалы и методы

Новый экспериментальный порошковый материал на основе безвольфрамового твердого сплава был синтезирован методом электроэрозионного диспергирования с применением установки, схема которой представлена на рисунке 1.

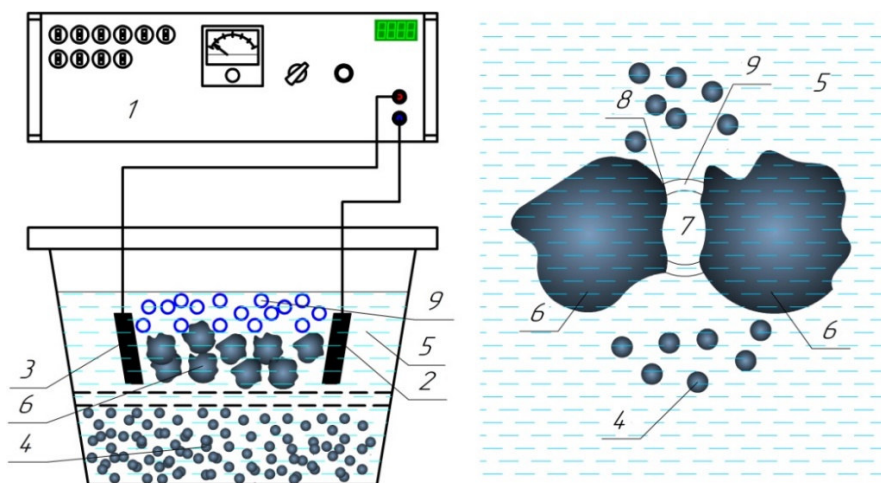


Рис. 1. Схема процесса электроэрозионного диспергирования: 1 – генератор импульсов; 2, 3 – электроды; 4 – капли расплавленного материала; 5 – рабочая жидкость (спирт метиловый); 6 – отходы твердого сплава; 7 – разрядный канал; 8 – точка разряда; 9 – газовый пузырь

Fig. 1. The diagram of the electroerosive dispersion process: 1 – pulse generator; 2, 3 – electrodes; 4 – drops of molten material; 5 – working fluid (kerosene lighting); 6 – waste of tungsten-free hard alloy; 7 – discharge channel; 8 – discharge point; 9 – gas bubble

Технологический процесс получения порошков из отходов безвольфрамовых твердых сплавов включает следующие основные этапы:

1. Сбор и сортировка. Отходы сортируются по химическому составу (маркам).
2. Очистка отходов. Удаляются посторонние примеси и продукты механической обработки.
3. Подготовка реактора. Отходы загружаются в реактор, подключаются электроды.
4. Заполнение реактора. Реактор наполняется спиртом метиловым.
5. Настройка параметров. Выбираются напряжение, емкость конденсаторов, частота импульсов.
6. Электроэрозионное диспергирование. Проводится процесс измельчения материала электрическими импульсами.
7. Отстаивание и слив жидкости. Рабочая жидкость отстаивается и удаляется.
8. Центрифугирование. Отделяется наноразмерная фракция порошка.
9. Химическая обработка (если требуется). Порошок обрабатывается химически при необходимости.
10. Прокаливание. Порошок прокаливается при температуре 150–200°C в течение 20–30 мин.
11. Контроль качества полученного продукта. Импульсное напряжение от ге-

нератора импульсов (1) подается на электроды (2, 3) и, соответственно, на обрабатываемые отходы безвольфрамового твердого сплава (6) – пластины из данного сплава также могут использоваться в качестве электродов. При достижении напряжения происходит электрический пробой рабочей жидкости (5) в межэлектродном промежутке, сопровождающийся формированием разрядного канала (7).

Благодаря высокой концентрации тепловой энергии в точке разряда (8) происходит плавление и испарение материала, одновременно с этим рабочая жидкость испаряется, образуя вокруг разрядного канала оболочку из газообразных продуктов разложения (9) – так называемый газовый пузырь. В результате воздействия значительных динамических сил, возникающих в разрядном канале и газовом пузыре, капли расплавленного материала (4) выбрасываются за пределы зоны разряда в окружающую электроды рабочую жидкость, где происходит их быстрое затвердевание с образованием сферических или эллиптических частиц нового порошка безвольфрамового твердого сплава.

Исследование морфологии выполняли с использованием сканирующего электронного микроскопа QUANTA 600 FEG, представленного на рисунке 2.

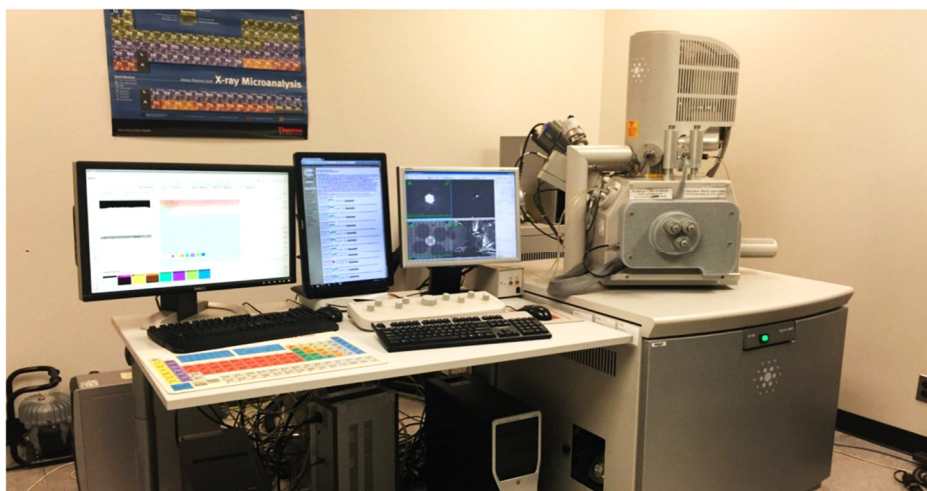


Рис. 2. Сканирующий электронный микроскоп Quanta 600 FEG

Fig. 2. A scanning Quanta 600 FEG electron microscope

Исследование гранулометрического состава проводилось с применением лазерного анализатора размеров частиц

Analysette 22 NanoTec, представленного на рисунке 3.



Рис. 3. Лазерный анализатор размеров частиц Analysette 22 NanoTec

Fig. 3. Analysette 22 NanoTec Laser Particle Size Analyzer

Результаты и их обсуждение

На рисунке 4 представлены результаты морфологического анализа нового

электроэрозионного порошкового материала, полученного путем диспергирования отходов карбонитридного безвольфрамового сплава.

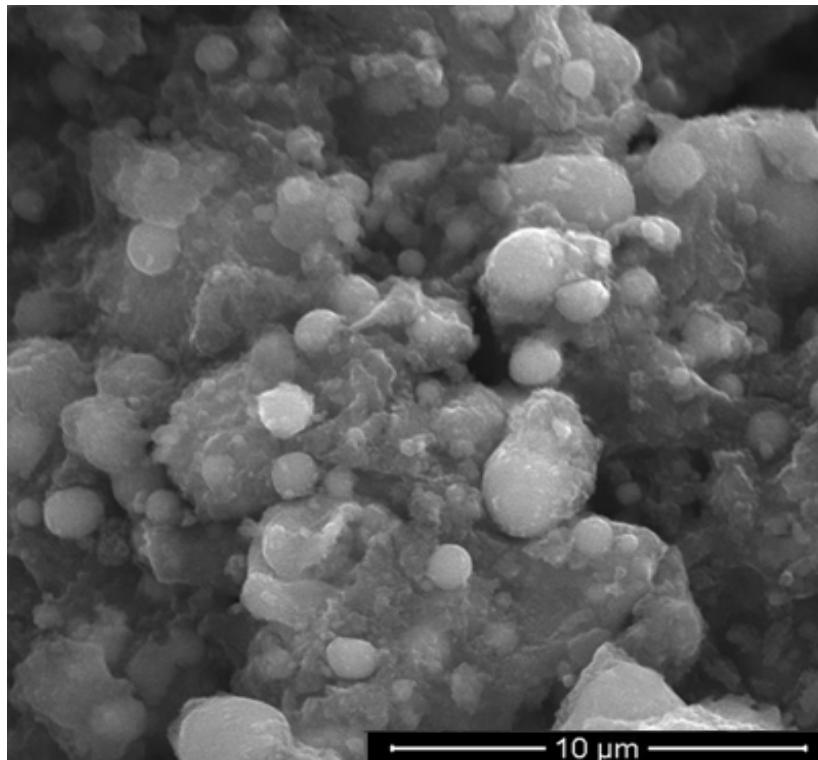


Рис. 4. Результаты исследования морфологии нового электроэрозионного порошкового материала

Fig. 4. Results of a study of the morphology of a new electro-erosion powder material

Анализ морфологических характеристик позволяет заключить, что частицы порошка обладают правильной сферической и эллиптической формой. Данная особенность морфологии оказывает благоприятное влияние на уплотняемость порошкового материала при его последующем сплавлении, что предполагает получение нового безвольфрамового твердого

сплава с ожидаемо низким показателем пористости.

На рисунке 5 отображены результаты исследования гранулометрического распределения нового электроэрозионного порошкового материала на основе безвольфрамового карбидного сплава.

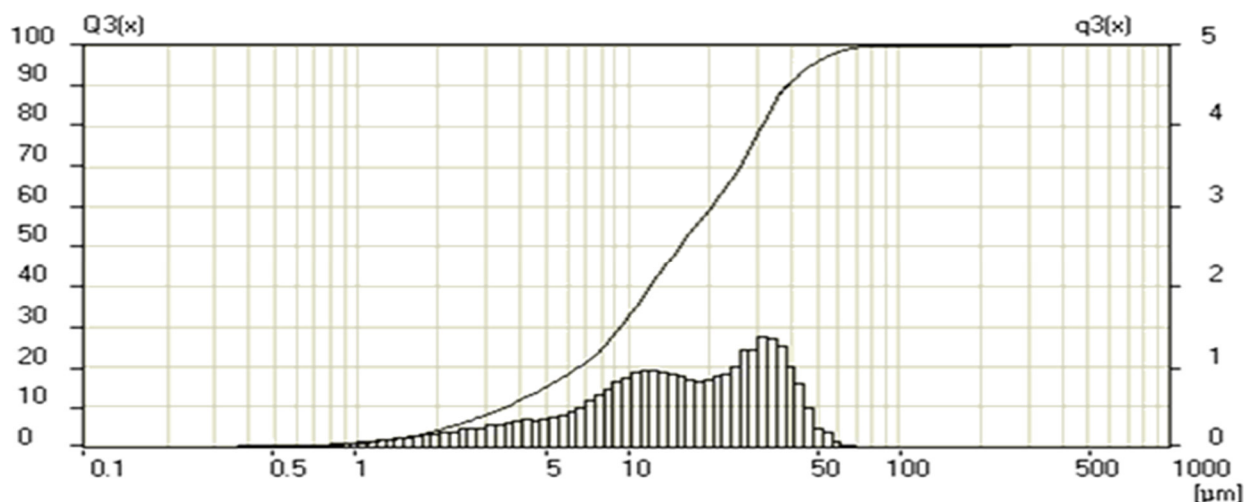


Рис.5. Результаты исследования гранулометрического состава нового электроэрозионного порошкового материала

Fig. 5. Results of the granulometric composition study of a new electro-erosion powder material

Представлены интегральная кривая и гистограмма распределения. Интегральная кривая в координатах $Q3(x) = f(\text{мкм})$ (левая шкала): каждая точка на кривой соответствует процентной доле частиц в выборке, размер которых не превышает заданного значения. Гистограмма в координатах $q3(x) = f(\text{мкм})$ (правая шкала) отображает количественное содержание фракции частиц определенного размера.

Результаты анализа гранулометрического распределения новых электроэрозионных порошковых материалов на основе безвольфрамовых твердых сплавов, синтезированных в углеродсодержащей среде, показали, что размер частиц порошка варьируется в интервале от 0,32 мкм до 67 мкм, при этом их средний

размер составил приблизительно 43,77 мкм.

Выводы

Проведенные исследования экспериментального порошка безвольфрамового твердого сплава, полученного методом электроэрозионного диспергирования в спирте метиловом, позволили установить, что частицы порошка характеризуются правильной сферической и эллиптической формой. Эта особенность обусловлена механизмом быстрой кристаллизации расплавленного материала в жидкой рабочей среде – спирте метиловом.

Форма частиц в виде сфер и эллипсоидов положительно влияет на способность порошкового материала к уплотнению,

что является важным фактором для его последующего спекания в новый безвольфрамовый твердый сплав с прогнозируемо низкими значениями пористости.

Представленные результаты исследования гранулометрического распределения дают основания утверждать, что синтез новых порошковых материалов из от-

ходов безвольфрамовых твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования в углеродсодержащей среде позволяет получить продукт с оптимальным распределением частиц по размерам, что является ключевым для создания нового сплава с заданными свойствами.

Список литературы

1. Задорожний Р.Н., Кудряшова Е.Ю., Романов И.В. Исследование физико-механических свойств хромсодержащих порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования // Упрочняющие технологии и покрытия. 2024. Т. 20, № 11(239). С. 504-507. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-11-504-507>. EDN KNMEDU.
2. Зайцев Д.В., Задорожний Р.Н., Величко С.А. Получение порошковых материалов методом электроэрозионного диспергирования // Сельский механизатор. 2025. № 2. С. 31-34. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-31-32-33-34>. EDN DCNND.
3. Патрушев А.Ю., Фарафонов Д.П., Серов М.М. Безвольфрамовые твердые сплавы: методы получения, структура и свойства (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 11(105). С. 66-81.
4. Изменение структурно-фазового состояния и физико-химических свойств безвольфрамовых твердых сплавов TiC-TiNi после различных видов ионно-лучевой обработки / В.В. Акимов, А.М. Бадамшин, С.Н. Несов, С.Н. Поворознюк, А.А. Крутько, Я.А. Сидорова // Омский научный вестник. 2021. № 2(176). С. 5-9.
5. Влияние ионного облучения на морфологию, элементный и химический состав поверхностных слоев безвольфрамовых твердых сплавов / А.М. Бадамшин, С.Н. Несов, В.С. Ковивчак, С.Н. Поворознюк, В.В. Акимов // Письма в Журнал технической физики. 2021. Т. 47, № 15. С. 19-22.
6. Агеева Е.В., Сабельников Б.Н. Материальный баланс процесса электроэрозионного диспергирования отходов безвольфрамовых твердых сплавов марки КНТ16 в воде дистиллированной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 3. С. 8-19.
7. Агеева Е.В., Сабельников Б.Н. Рентгеноспектральный микроанализ электроэрозионного порошкового материала, полученного в среде этилового спирта из отходов безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16 // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. № 7 (242). С. 33-36.
8. Локтионова О.Г., Агеева Е.В., Сабельников Б.Н. Результаты рентгеновских исследований спеченных образцов, полученных из электроэрозионного порошкового материала сплава КНТ16 // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. С. 22-34.
9. Агеева Е.В., Сабельников Б.Н. Структура и свойства безвольфрамового твердого сплава на основе карбонитрида титана, спеченного из электроэрозионных порошков, полученных в углеродсодержащей среде // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. № 4. С. 158-162.
10. Агеева Е.В., Локтионова О.Г., Сабельников Б.Н. Оценка энергозатрат при получении шихты для производства безвольфрамового твердого сплава электродиспергированием // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 1. С. 21-35.
11. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water // Metallurgist. 2022. Vol. 66, no. 1-2. P. 146-154.

12. Агеев Е.В., Агеева А. Е. Структура и свойства порошков, полученных в условиях электроэрозионной металлургии отходов твердого сплава Т5К10 в кислород- и углеродсодержащих средах // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. № 9 (213). С. 387-392.
13. Параметрические показатели формы частиц электрокорунда, полученного электродиспергированием отходов электротехнического алюминия марки АД0Е / Е.В. Агеев, А.И. Пыхтин, Е.П. Новиков, А.Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 4. С. 40-53. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-440-53>.
14. Исследование влияния среды диспергирования на свойства жаропрочных порошков, полученных из отходов сплава ЖСУ6 / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, В.О. Поданов, А.Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 39-56. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-39-56>.
15. Математический размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием жаропрочного никелевого сплава ЖС6У в воде / Е.В. Агеев, А.Е. Гвоздев, Е.А. Протопопов, В.О. Поданов, А.Е. Агеева // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23, № 1. С. 197-208. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-1-197-208>.
16. Математическая оптимизация среднего размера частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием жаропрочного никелевого сплава ЖС6У / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, А.Е. Гвоздев, Е.А. Протопопов, В.О. Поданов // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23, № 3. С. 178-193. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-3-178-193>.
17. Численная оптимизация процесса получения шихты электродиспергированием отходов сплава Т5К10 / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, А.Е. Гвоздев, А.А. Калинин // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23, № 1. С. 183-196. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-1-183-196>.
18. Агеева Е.В., Новиков Е.П., Осьминина А.С. Исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом газодинамического напыления // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 21-29. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-21-29>. EDN YZQTPV.
19. Агеев Е.В., Кругляков О.В., Поданов В.О. Размерные характеристики порошков, полученных электродиспергированием сплава ЖС6У в керосине // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Металлургия. 2022. №7 (266). С. 62-66.
20. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes / R.A. Latypov, G.R. Latypova, E.V. Ageev, A.Y. Altukhov, E.V. Ageeva // Russian metallurgy (Metally). 2018. Vol. 2018, no. 6. P. 573–575.

Reference

1. Zadorozhny R.N., Kudryashova E.Y., Romanov I.V. Investigation of the physico-mechanical properties of chromium-containing powders obtained by electroerosion dispersion. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2024;20(11):504-507. (In Russ.) <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-11-504-507>. EDN KNMEDU.
2. Zaitsev D.V., Zadorozhny R.N., Velichko S.A. Production of powder materials by electroerosive dispersion. *Sel'skii mekhanizator = Rural mechanic*. 2025;(2):31-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-31-32-33-34>. EDN DCNND.
3. Patrushev A.Yu., Farafonov D.P., Serov M.M. Tungsten-free hard alloys: methods of preparation, structure and properties (review). *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*. 2021;(11):66-81. (In Russ.)
4. Akimov V.V., Badamshin A.M., Nesov S.N., Povoroznyuk S.N., Krutko A.A., Sidorova Ya.A. Changes in the structural and phase state and physico-chemical properties of tungsten-free hard alloys

TiC-TiNi after various types of ion beam treatment. *Omskii nauchnyi vestnik = Omsk Scientific Bulletin*. 2021;(2):5-9. (In Russ.)

5. Badamshin A.M., Nesov S.N., Kovivchak V.S., Povoroznyuk S.N., Akimov V.V. The effect of ion irradiation on the morphology, elemental and chemical composition of the surface layers of tungsten-free hard alloys. *Pis'ma v Zhurnal tekhnicheskoi fiziki = Letters to the Journal of Technical Physics*. 2021;47(15):19-22. (In Russ.)

6. Ageeva E.V., Sabelnikov B.N. The material balance of the process of electroerosion dispersion of waste of tungsten-free hard alloys of the KST16 grade in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitet. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2020;10(3):8-19. (In Russ.)

7. Ageeva E.V., Sabelnikov B.N. X-ray spectral microanalysis of an electroerosive powder material obtained in an ethyl alcohol medium from the waste of a tungsten-free hard alloy of the KNT16 brand. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Izvestiya Volgograd State Technical University*. 2020;(7):33-36. (In Russ.)

8. Loktionova O.G., Ageeva E.V., Sabelnikov B.N. Results of X-ray studies of sintered samples obtained from electroerosive powder material of the KNT16 alloy. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2020;10(4):22-34. (In Russ.)

9. Ageeva E.V., Sabelnikov B.N. Structure and properties of a tungsten-free hard alloy based on titanium carbonitride sintered from electroerosion powders obtained in a carbon-containing medium. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2021;(4):158-162. (In Russ.)

10. Ageeva E.V., Loktionova O.G., Sabelnikov B.N. Evaluation of energy consumption in the preparation of a charge for the production of tungsten-free hard alloy by electrodispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2021;(1):21-35. (In Russ.)

11. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. *Metallurgist*. 2022;66(1-2):146-154.

12. Ageev E.V., Ageeva A. E. Structure and properties of powders obtained in the conditions of electroerosion metallurgy of T5K10 hard alloy waste in oxygen- and carbon-containing media. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2022;(9):387-392. (In Russ.)

13. Ageev E.V., Pykhtin A.I., Novikov E.P., Ageeva A.E. Parametric parameters of the shape of electrocorundum particles obtained by electrodispersing waste electrical aluminum grade AD0E. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2022;12(4):40-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-440-53>.

14. Ageev E.V., Serebrovsky V.I., Podanov V.O., Ageeva A.E. Investigation of the effect of the dispersion medium on the properties of heat-resistant powders obtained from waste alloy ZHSU6. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2022;12(3):39-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-39-56>.

15. Ageev E.V., Gvozdev A.E., Protopopov E.A., Podanov V.O., Ageeva A.E. Dimensional analysis of powders obtained by electroerosive dispersion of heat-resistant nickel alloy ZHS6U in water. *Chebyshevskii sbornik = Chebyshev collection*. 2022;23(1):197-207. (In Russ.)

16. Ageev E.V., Ageeva E.V., Gvozdev A.E., Protopopov E.A., Podanov V.O. Mathematical optimization of the average particle size of powders obtained by electroerosive dispersion of heat-resistant nickel alloy ZHS6U. *Chebyshevskii sbornik = Chebyshev collection*. 2022;23(3):178-193. (In Russ.)

17. 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 = Chebyshev collection*. 2022;23(1):183-195. (In Russ.)

18. Ageeva E.V., Novikov E.P., Osminina A.S. Research of the corrosion resistance of coatings obtained by gas-dynamic spraying. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2018;22(6):21-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-21-29>. EDN YZQTPV.

19. Ageev E.V., Kruglyakov O.V., Podanov V.O. Dimensional characteristics of powders obtained by electrodispersion of ZHS6U alloy in kerosene. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Metallurgiya = Izvestiya of Volgograd State Technical University. Series: Metallurgy*. 2022;(7):62-66. (In Russ.)

20. 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) = Russian metallurgy (Metally)*. 2018;2018(6):573-575.

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,
SPIN-код: 7007-6649

Evgeny V. Ageev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: ageev_ev@mail.ru,
ORCID: 0000-0002-3862-8624,
SPIN-код: 7007-6649

Сабельников Борис Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sabelnikovborisl@mail.ru,
ORCID: 0000-0001-8819-699X

Boris N. Sabelnikov, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department Industrial and Civil Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: sabelnikovborisl@mail.ru,
ORCID: 0000-0001-8819-699X

Башкирев Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор Курского государственного аграрного университета имени И.И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: tmv46@mail.ru

Anatoly P. Bashkirev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor, Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russian Federation,
e-mail: tmv46@mail.ru

Сивак Елена Евгеньевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор Курского государственного аграрного университета имени И.И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: elena.sivak.77@mail.ru

Elena E. Sivak, Doctor of Sciences (Agricultural), Associate Professor, Professor, Kursk State Agricultural University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russian Federation,
e-mail: elena.sivak.77@mail.ru