

## Оригинальная статья / Original article

УДК 961

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-26-36>

## Исследование заготовок нового сплава на основе порошков, полученных электроэрозионным диспергированием

**Е.В. Агеев<sup>1</sup> , Б.Н. Сабельников<sup>1</sup>**

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

 e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Резюме

**Цель работы.** Изучение микроструктуры экспериментальных заготовок новых безвольфрамовых твердых сплавов.

**Методы.** Экспериментальный твердросплавный порошковый материал (шихту) сплавляли методом синтеза материалов путем импульсного плазменного сплавления, позволяющего получать высококачественные компактные изделия из металлических порошков и композитов с минимальными потерями материала и энергии (SPS – Spark Plasma Sintering). Метод основан на воздействии электрического тока высокого напряжения и импульсивного характера на металлические частицы, находящиеся внутри пресс-формы. Этот процесс сопровождается образованием высокотемпературной плазмы, возникающей непосредственно вокруг каждой отдельной металлической частицы. Плазма вызывает быстрое локальное повышение температуры и давления, что способствует интенсивному диффузионному взаимодействию частиц и образованию плотных структурированных изделий. Микроструктура сплава была исследована на растровом электронном микроскопе QUANTA 600 FEG.

**Результаты.** Сплав имеет сложную микроструктуру, состоящую из различных фаз и включений. 1. Фаза карбida титана (TiC): крупные зерна, которые представляют собой карбид титана (TiC), имеют Кнеправильную форму и распределены равномерно по всему объему сплава; карбид титана является важной составляющей сплава, так как он обеспечивает высокую твердость и износостойкость. 2. Матрица сплава: между зернами карбида титана расположена матрица сплава, которая, состоит из никеля (Ni) и молибдена (Mo). Эта матрица обеспечивает пластичность и прочность сплава; матрица имеет зернистую морфологию, что указывает на наличие мелких зерен, которые являются результатом термообработки в процессе импульсного плазменного сплавления. 3. Дефекты и дислокации: имеются мелкие дефекты и дислокации, особенно вблизи границ раздела фаз. Эти дефекты могут способствовать формированию дополнительного резервуара прочности и устойчивости к усталостным разрушениям.

**Заключение.** Исследование микроструктуры нового безвольфрамового твердого сплава показало, что сплав имеет сложную двухфазную структуру, состоящую из карбида титана и матрицы, обогащенной никелем и молибденом. Такая структура обеспечивает сплаву высокую твердость, износостойкость и прочность. Наличие дефектов и дислокаций может способствовать улучшению механических свойств сплава. Эти результаты подтверждают перспективность разработки новых безвольфрамовых твердых сплавов, которые могут стать альтернативой традиционным материалам, содержащим дорогостоящий вольфрам.

**Ключевые слова:** безвольфрамовые твердые сплавы; электроэрозионное диспергирование; шихта; Spark Plasma Sintering; микроструктура; импульсное плазменное сплавление.

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

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

**Для цитирования:** Агеев Е.В., Сабельников В.Н. Исследование заготовок нового сплава на основе порошков, полученных электроэррозионным диспергированием // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(3): 26-36. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-26-36>.

Поступила в редакцию 23.05.2025

Подписана в печать 18.06.2025

Опубликована 30.09.2025

## Investigation of gas dynamic coatings based on electroerosive aluminum powders

Evgeny V. Ageev<sup>1</sup> , Boris N. Sabelnikov<sup>1</sup>

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

 e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** Study of the microstructure of experimental blanks of new tungsten-free hard alloys.

**Methods.** The experimental solid-alloy powder material (charge) was fused by the method of material synthesis by pulsed plasma fusion, which makes it possible to obtain high-quality compact products from metal powders and composites with minimal material and energy losses (SPS - Spark Plasma Sintering). The method is based on the effect of high voltage and impulsive electric current on metal particles inside the mold. This process is accompanied by the formation of a high-temperature plasma that occurs directly around each individual metal particle. Plasma causes a rapid local increase in temperature and pressure, which contributes to the intense diffusion interaction of particles and the formation of dense structured products. The microstructure of the alloy was studied using a QUANTA 600 FEG scanning electron microscope.

**Results.** The alloy has a complex microstructure consisting of various phases and inclusions. 1. Titanium Carbide (TiC) phase: large grains, which are titanium carbide (TiC), have a straight shape and are evenly distributed throughout the entire volume of the alloy; Titanium carbide is an important component of the alloy, as it provides high hardness and wear resistance. 2. Alloy matrix: an alloy matrix is located between the grains of titanium carbide, which consists of nickel (Ni) and molybdenum (Mo). This matrix ensures the ductility and strength of the alloy; The matrix has a granular morphology, which indicates the presence of small grains, which are the result of heat treatment during pulsed plasma fusion. 3. Defects and dislocations: There are minor defects and dislocations, especially near the interface. These defects can contribute to the formation of an additional reservoir of strength and resistance to fatigue damage.

**Conclusion.** A study of the microstructure of a new tungsten-free hard alloy has shown that the alloy has a complex two-phase structure consisting of titanium carbide and a matrix enriched in nickel and molybdenum. This structure provides the alloy with high hardness, wear resistance and durability. The presence of defects and dislocations can help improve the mechanical properties of the alloy. These results confirm the prospects of developing new tungsten-free hard alloys that can become an alternative to traditional materials containing expensive tungsten.

**Keywords:** tungsten-free hard alloys; electroerosion dispersion; charge; Spark Plasma Sintering; microstructure; pulsed plasma fusion.

**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 South-Western State University under the «Priority 2030» project.

**For citation.** Ageev E. V., Sabelnikov B. N. Investigation of gas dynamic coatings based on electroerosive aluminum powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(3): 26-36 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-26-36>.

Received 23.05.2025

Accepted 18.06.2025

Published 30.09.2025

\*\*\*

## Введение

Твёрдые сплавы представляют собой группу материалов, отличающихся повышенной твердостью, износостойкостью и прочностью. Они состоят преимущественно из карбидов вольфрама WC, карбидов (карбонитридов) титана TiC (TiCN) и кобальта Со либо никеля Ni, молибдена Mo и хрома Cr, соединённых методом порошковой металлургии.

Основные свойства твёрдых сплавов:

- высокая прочность и устойчивость к истиранию;
- способность выдерживать высокие температуры и механические нагрузки;
- хорошее сопротивление коррозии и химическому воздействию агрессивных сред.

Благодаря этим свойствам область применения твёрдых сплавов достаточно обширна. Твердые сплавы нашли широкое применение в строительных технологиях благодаря своим уникальным свойствам. Вот некоторые области их использования:

### 1. Инструментальная оснастка.

– **Фрезы:** Твердый сплав используется для изготовления фрез, применяемых при обработке древесины, бетона и камня. Это позволяет увеличить срок

службы инструмента и повысить качество обработки поверхности.

– **Долото и буровые коронки:** Карбидные вставки применяются в долоте и коронках для пробивания скважин, тоннелей и глубоких шахт. Их высокая твёрдость обеспечивает высокую производительность и долговечность оборудования.

– **Строгальные ножи:** Ножи из твёрдых сплавов используются для строгания древесины и металла, обеспечивая гладкую поверхность и долгий срок эксплуатации.

### 2. Абразивные инструменты.

Абразивы на основе карбидов применяют в шлифовании поверхностей различных материалов. Например, в камнеобработке и изготовлении деталей высокой точности.

### 3. Металлоконструкции.

Твердосплавные покрытия наносятся на металлоконструкции, работающие в условиях повышенных нагрузок и температур. Это увеличивает стойкость к износу и повышает общую надежность конструкций.

4. Направляющие рельсы и колеса эскалаторов.

Для повышения долговечности направляющих элементов эскалаторов ис-

пользуют напыление твердых сплавов на рабочие поверхности колес и рельсов. Это снижает износ и продлевает срок службы механизмов.

### 5. Конвейеры и транспортеры.

Покрытие конвейерных лент и роликов твёрдым сплавом уменьшает трение и предотвращает повреждения от абразивных частиц, увеличивая срок службы всей системы транспортировки грузов.

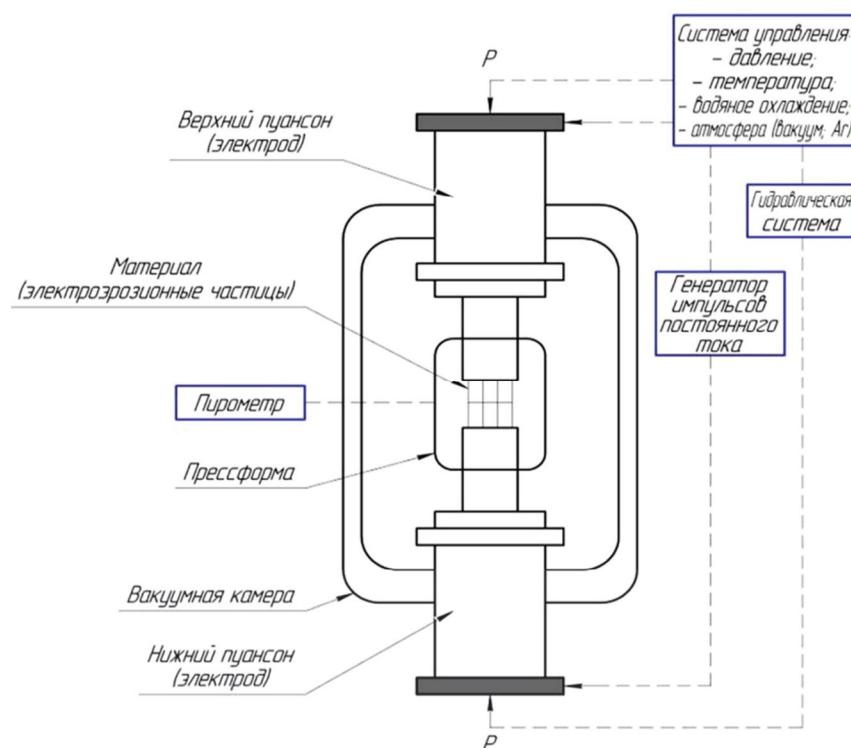
Таким образом, твердые сплавы играют важную роль в повышении эффективности и надежности технологий и инструментов, способствуя улучшению качества работ и снижению затрат на эксплуатацию и ремонт оборудования.

Целью исследования является изучение микроструктуры экспериментальных

заготовок новых безвольфрамовых твердых сплавов.

### Материалы и методы

Экспериментальный твердосплавный порошковый материал (шихту) сплавляли методом синтеза материалов путем импульсного плазменного сплавления, позволяющего получать высококачественные компактные изделия из металлических порошков и композитов с минимальными потерями материала и энергии (SPS – Spark Plasma Sintering). Схема сплавления экспериментального твердосплавного порошкового материала плазменно-искровым методом представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема сплавления электроэррозионного безвольфрамового твердосплавного порошкового материала плазменно-искровым методом

**Fig. 1.** Scheme of sintering of electroerosive tungsten-free carbide powder material by plasma-spark method

Метод основан на воздействии электрического тока высокого напряжения и импульсивного характера на металлические частицы, находящиеся внутри пресс-формы. Этот процесс сопровождается образованием высокотемпературной плазмы, возникающей непосредственно вокруг каждой отдельной металлической частицы. Плазма вызывает быстрое локальное повышение температуры и давления, что способствует интенсивному диффузионному взаимодействию частиц и образованию плотных структурированных изделий.

Основные этапы процесса SPS включают:

1. Подготовка порошка исходного состава.
2. Заполнение пресс-формы порошком.
3. Обжатие порошка приложением внешнего давления.

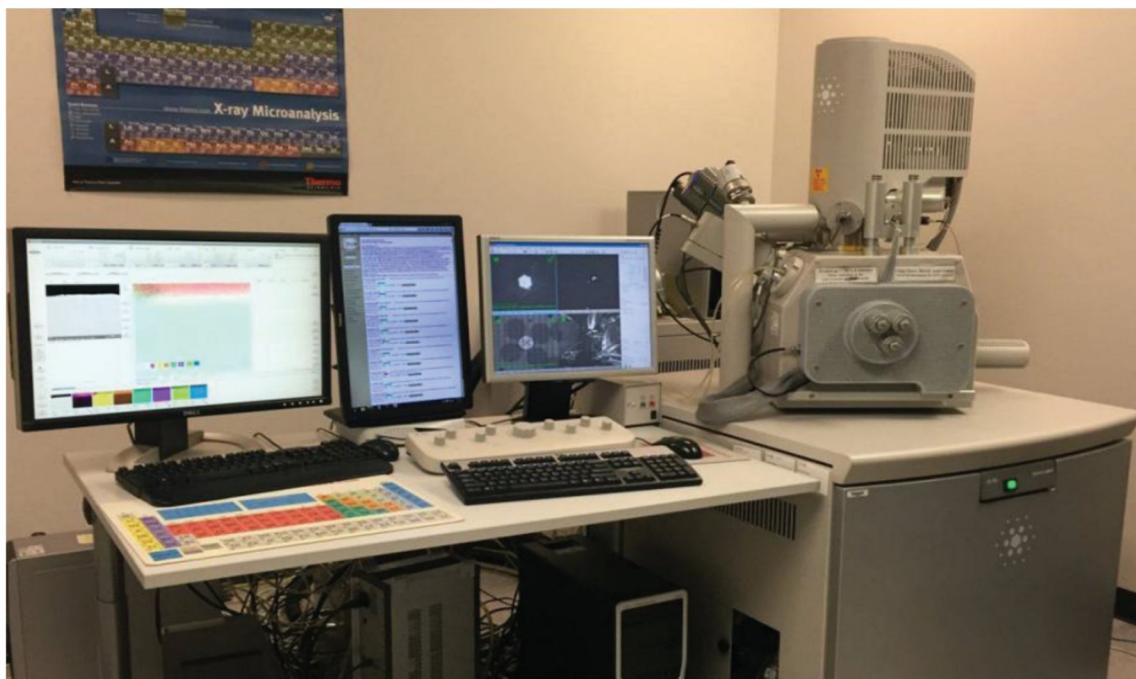
4. Импульсное воздействие электрическим током.

5. Охлаждение полученного образца.

Благодаря своей универсальности и высоким эксплуатационным характеристикам, SPS синтез становится всё более востребованным в промышленности и научных исследованиях.

Микроструктура сплава была исследована на растровом электронном микроскопе QUANTA 600 FEG (рис. 2).

Растровый электронный микроскоп (РЭМ) QUANTA 600 FEG представляет собой современное устройство, предназначенное для исследования микроструктуры и элементного анализа образцов различной природы. Этот прибор сочетает высокую разрешающую способность с возможностью детального изучения химического состава исследуемых объектов.



**Рис. 2.** Электронный сканирующий микроскоп Quanta 600 FEG

**Fig. 2.** A scanning Quanta 600 FEG electron microscope

QUANTA 600 FEG оснащен полевым эмиссионным катодом (Field Emission Gun – FEG), обеспечивающим чрезвычайно стабильный поток электронов с низким уровнем шума и высокой степенью фокусировки пучка. Благодаря этому достигается высокое разрешение изображений вплоть до уровня атомарного масштаба.

Принцип работы прибора заключается в следующем:

1. Образец помещается внутрь вакуумной камеры микроскопа.
2. Электронный луч направляется на образец и сканирует его поверхность, формируя двумерное изображение.
3. Вторичные электроны, возникающие вследствие взаимодействия первичного электронного потока с поверхностью образца, регистрируются специальными датчиками.

4. Изображение строится путём измерения интенсивности вторичных электронов в каждом пикселе кадра.

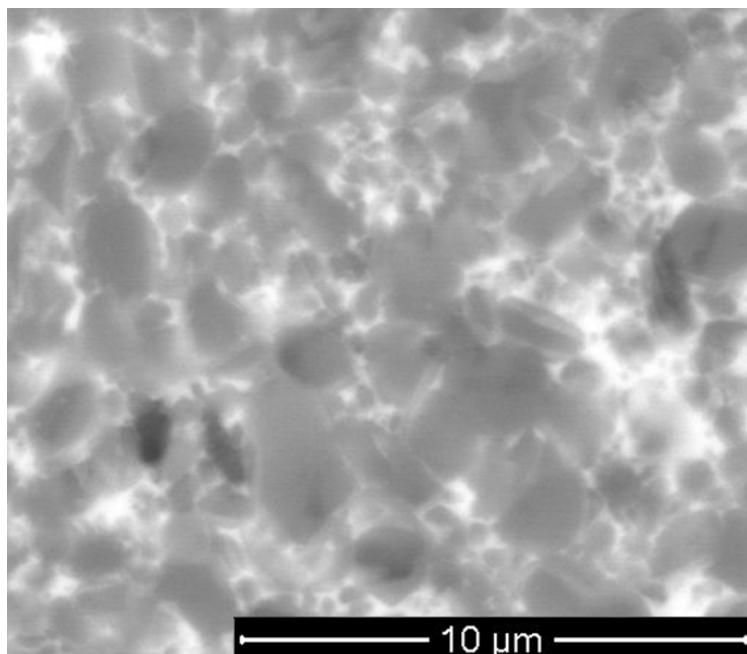
Дополнительные возможности РЭМ QUANTA 600 FEG позволяют проводить энергетический дисперсионный спектральный анализ (EDS), рентгеновский микроанализ (WDS), фазовый контраст и трехмерную визуализацию структуры образцов.

Элементный состав сплава был исследован на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX (рис. 2).

### Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены результаты исследования микроструктуры образца.

На изображении видно, что сплав имеет сложную микроструктуру, состоящую из различных фаз и включений.



**Рис. 3.** Микроструктура нового безвольфрамового экспериментального твердого сплава

**Fig. 3.** Microstructure of a new experimental tungsten-free hard alloy

**1. Фаза карбида титана (TiC):**

- На изображении видны крупные зерна, которые, представляют собой карбид титана (TiC). Эти зерна имеют неправильную форму и распределены равномерно по всему объему сплава.
- Карбид титана является важной составляющей сплава, так как он обеспечивает высокую твердость и износостойкость.

**2. Матрица сплава:**

- Между зернами карбида титана расположена матрица сплава, которая, состоит из никеля (Ni) и молибдена (Mo). Эта матрица обеспечивает пластичность и прочность сплава.
- Матрица имеет зернистую морфологию, что указывает на наличие мелких зерен, которые являются результатом термообработки в процессе импульсного плазменного сплавления.

**3. Дефекты и дислокации:**

- На изображении также видны мелкие дефекты и дислокации, особенно вбли-

зи границ раздела фаз. Эти дефекты могут способствовать формированию дополнительного резервуара прочности и устойчивости к усталостным разрушениям.

**Выводы**

Исследование микроструктуры нового бевольфрамового твердого сплава показало, что сплав имеет сложную двухфазную структуру, состоящую из карбида титана и матрицы, обогащенной никелем и молибденом. Такая структура обеспечивает сплаву высокую твердость, износостойкость и прочность. Наличие дефектов и дислокаций может способствовать улучшению механических свойств сплава. Эти результаты подтверждают перспективность разработки новых бевольфрамовых твердых сплавов, которые могут стать альтернативой традиционным материалам, содержащим дорогостоящий вольфрам.

**Список литературы**

1. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэррозионным диспергированием твердого сплава // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агронженерный университет имени В.П. Горячкина". 2011. № 1 (46). С. 78-80.
2. Разработка и исследование твердосплавных изделий из порошков, полученных электроэррозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Р.А. Латыпов, Г.Р. Латыпова, Е.В. Агеев, А.А. Давыдов // Международный научный журнал. 2013. № 2. С. 107-112.
3. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэррозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2-6.

4. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование формы и морфологии электроэрозионных медных порошков, полученных из отходов // Вестник машиностроения. 2014. № 8. С. 73-75.

5. 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. Т. 2018, № 6. С. 573-575.

6. Исследование гранулометрического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава и используемых при восстановлении и упрочнении деталей автотракторной техники / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Ю.П. Гнездилова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 76-79.

7. Новиков Е.П., Агеева Е.В., Чумак-Жунь Д.А. Изучение формы и морфологии порошка, полученного из отходов алюминия методом электроэрозионного диспергирования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 4 (17). С. 13-17.

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. X-ray analysis of the powder of micro- and nanometer fractions, obtained from wastes of alloy T15K6 in aqueous medium / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, S.V. Pikalov, E.A. Vorobiev, A.N. Novikov // Журнал нано- и электронной физики. 2015. Т. 7, № 4. С. 04058.

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. Исследование алюминиевого порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде / Р.А. Латыпов, Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Е.П. Новиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 4. С. 19-22.

12. Хорьякова Н.М., Агеев Е.В., Агеева Е.В. Электроэрозионные медные порошки для гальванических покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 18-20.

13. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Воробьев Е.А. Гранулометрический и фазовый составы порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов инструментальных материалов электроэрозионным диспергированием в керосине // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 11-14.

14. Оценка износостойкости электроискровых покрытий, полученных с использованием электроэрозионных порошков быстрорежущей стали / Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, В.Ю. Карпенко // Известия высших учебных заведений. Порошковая металургия и функциональные покрытия. 2015. № 1. С. 71-76.

15. Быстрорежущая сталь, диспергированная в керосине / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев, М.А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 5 (56). С. 21-25.
16. Агеева Е.В., Королев М.С. Получение порошкового материала из свинцово-сурьмянистой пластины кислотного аккумулятора // Современные материалы, техника и технологии. 2021. № 1 (34). С. 4-12.
17. Агеева Е.В., Игнатенко Н.М., Хардиков С.В. Исследование производительности процесса ээд при получении порошкового материала из отходов стали X13 // Современные материалы, техника и технологии. 2021. № 3 (36). С. 4-9.
18. Агеева Е.В., Хардиков С.В., Агеева А.Е. Структура и свойства спеченных образцов из электроэррозионных хромсодержащих порошков, полученных в бутиловом спирте // Современные материалы, техника и технологии. 2021. № 6 (39). С. 4-11.
19. Хардиков С.В., Агеева Е.В., Агеева А.Е. Анализ характеристик износостойкости спеченных изделий из электроэррозионного порошка стали X13, полученного в бутиловом спирте // Современные материалы, техника и технологии. 2021. № 6 (39). С. 58-64.
20. Порошковая шарикоподшипниковая сталь, полученная диспергированием в керосине / Е.В. Агеева, А.Г. Ивахненко, В.В. Куц, С.В. Хардиков // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 5 (13). С. 10-15.

### References

1. Ageev E.V., Semenikhin B.A., Latypov R.A. Investigation of the microhardness of powders obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V.P. Goryachkina" = Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Goryachkin Moscow State Agroengineering University".* 2011; (1): 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 electroerosion dispersion of tungsten-containing waste. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal = International Scientific Journal.* 2013; (2): 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 electroerosion dispersion. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik = All materials. An encyclopedic reference book.* 2010; (7): 2-6. (In Russ.).
4. Ageeva E.V., Khoryakova N.M., Ageev E.V. Investigation of the shape and morphology of electroerosive copper powders obtained from waste. *Vestnik mashino-stroeniya = Bulletin of Mechanical Engineering.* 2014; (8): 73-75. (In Russ.).

5. 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; 2018(6): 573-575. (In Russ.).
6. Ageev E.V., Gadalov V.N., Serebrovsky V.I., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnedilova Yu.P. Investigation of the granulometric composition of powders obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy and used in the restoration and hardening of parts of automotive equipment. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2010; (4): 76-79. (In Russ.).
7. Novikov E.P., Ageeva E.V., Chumak-Zhun D.A. Study of the shape and morphology of powder obtained from aluminum waste by electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2015; (4): 13-17. (In Russ.).
8. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu. Study of the shape and elemental composition of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosion dispersion in an aqueous medium. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2014; (4): 14-17. (In Russ.).
9. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pikalov S.V., Vorobiev E.A., Novikov A.N. X-ray analysis of the powder of micro- and nanometer fractions, obtained from wastes of alloy T15K6 in aqueous medium. *Zhurnal nano- i elektronnoi fiziki = Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2015; 7(4): 04058. (In Russ.).
10. Ageeva E.V., Khoryakova N.M., Ageev E.V. Morphology and elemental composition of copper electroerosion powders suitable for sintering. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of Mechanical Engineering*. 2014; (10): 66-68. (In Russ.).
11. Latypov R.A., Ageev E.V., Ageeva E.V., Novikov E.P. Investigation of aluminum powder obtained by electroerosion dispersion in distilled water. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik = All materials. An encyclopedic reference book*. 2016; (4): 19-22. (In Russ.).
12. Khoryakova N.M., Ageev E.V., Ageeva E.V. Electroerosive copper powders for electroplating. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2014; (4): 18-20. (In Russ.).
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Vorobyev E.A. Granulometric and phase compositions of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosion dispersion in kerosene. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2014; (4): 11-14. (In Russ.).
14. Ageeva E.V., Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Karpenko V.Yu. Assessment of the wear resistance of electric spark coatings obtained using electroerosive powders of high-speed steel. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Powder metallurgy and functional coatings*. 2015; (1): 71-76. (In Russ.).

15. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorobyov E.A., Zubarev M.A. High-speed steel dispersed in kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2014; (5): 21-25. (In Russ.).
16. Ageeva E.V., Korolev M.S. Obtaining powder material from a lead-antimony plate of an acid battery. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*. 2021; (1): 4-12. (In Russ.).
17. Ageeva E.V., Ignatenko N.M., Hardikov S.V. Investigation of the performance of the EDM process in the production of powder material from waste steel X13. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*. 2021; (3): 4-9. (In Russ.).
18. Ageeva E.V., Hardikov S.V., Ageeva A.E. Structure and properties of sintered samples from electroerosive chromium-containing powders obtained in butyl alcohol. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*, 2021; (6): 4-11. (In Russ.).
19. Hardikov S.V., Ageeva E.V., Ageeva A.E. Analysis of wear resistance characteristics of sintered products made of electroerosion powder of steel X13 obtained in butyl alcohol. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*. 2021; (6): 58-64. (In Russ.).
20. Ageeva E.V., Ivakhnenko A.G., Kutz V.V., Hardikov S.V. Powdered ball bearing steel obtained by dispersion in kerosene. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*. 2017; (5): 10-15. (In Russ.).

---

### 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: <https://orcid.org/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: sabelnikovboris1@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-699X>, SPIN-код: 4016-6781

**Evgeny V. Ageev**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Materials Technology and Transport Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev\_ev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3862-8624>, SPIN-код: 7007-6649

**Boris N. Sabelnikov**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Industrial and Civil Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sabelnikovboris1@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-699X>, SPIN-code: 4016-6781