

Оригинальная статья / Original article

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-3-30-39>

Получение и исследование порошка карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном

Е. В. Агеева¹✉, О. Г. Локтионова¹, Д. А. Улитин¹, А. Е. Агеева¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Получение и исследование состава, структуры и свойств порошка карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном.

Методы. Порошок карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА получали в следующей последовательности. Реактор заполняли рабочей средой – керосином авиационным марки ТС-1, отходы загрузили в реактор. Монтировали электроды из тех же отходов вольфрама марки ВА. Смонтированные электроды подключали к генератору импульсов. Устанавливали необходимые электрические параметры установки: ёмкость конденсаторов 42,0–43,5 мкФ; напряжение на электродах от 115–120 В; частота следования импульсов 50–55 Гц. Полученный вольфрамовый порошок исследовали с помощью: растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG; анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес; энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX; рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV.

Результаты. На основании проведенных экспериментальных исследований разработан новый способ получения порошка карбида вольфрама, отличающийся тем, что порошок получен путем электроэрозионного диспергирования металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном при ёмкости конденсаторов 42,0–43,5 мкФ, напряжении на электродах 115–120 В и частоте следования импульсов 50–55 Гц. Экспериментально установлено, что сферические и эллиптические частицы порошка карбида вольфрама W_2C имеют размеры от 2,26 мкм до 90,72 мкм со средним объемным диаметром 20,2 мкм и на поверхности содержат углерод.

Закключение. Получение карбида вольфрама, пригодного к промышленному применению, из металлоотходов при низких затратах электроэнергии показало высокую эффективность технологии электроэрозионного диспергирования.

Ключевые слова: металлоотходы вольфрама; электроэрозионное диспергирование; частицы порошка; карбид вольфрама; свойства.

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

Для цитирования: Получение и исследование порошка карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном / Е. В. Агеева, О. Г. Локтионова, Д. А. Улитин, А. Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 3. С. 30–39. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-3-30-39>

Поступила в редакцию 01.08.2024

Подписана в печать 30.08.2024

Опубликована 24.09.2024

© Агеева Е. В., Локтионова О. Г., Улитин Д. А., Агеева А. Е., 2024

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии /
Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies. 2024;14(3):30–39

Production and research of tungsten carbide powder from VA grade tungsten metal waste in aviation kerosene

Ekaterina V. Ageeva¹, Oksana G. Loktionova¹, Dmitry A. Ulitin¹, Anna E. Ageeva¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Obtaining and studying the composition, structure and properties of tungsten carbide powder from VA grade tungsten metal waste in aviation kerosene.

Methods. Tungsten carbide powder from tungsten metal waste of the VA brand was obtained in the following sequence. The reactor was filled with a working medium – aviation kerosene of the TS-1 brand, the waste was loaded into the reactor. Electrodes were mounted from the same waste tungsten of the VA brand. The mounted electrodes were connected to a pulse generator. The necessary electrical parameters of the installation were set: the capacitance of the condensers is 42.0–43.5 UF; the voltage on the electrodes is from 115–120 V; the pulse repetition rate is 50–55 Hz. The resulting tungsten powder was studied using: a scanning electron microscope QUANTA 600 FEG; a particle size analyzer Analysette 22 NanoTec; an energy-dispersed X-ray analyzer from the company EDAX; X-ray diffraction on a diffractometer Rigaku Ultima IV.

Results. Based on the conducted experimental studies, a new method for producing tungsten carbide powder has been developed, characterized in that the powder is obtained by electroerosive dispersion of tungsten metal waste of the VA brand in aviation kerosene at a capacitor capacity of 42.0–43.5 UF, an electrode voltage of 115–120 V and a pulse repetition frequency of 50–55 Hz. It has been experimentally established that spherical and elliptical particles of tungsten carbide powder W₂C have sizes from 2.26 microns to 90.72 microns with an average volumetric diameter of 20.2 microns and contain carbon on the surface.

Conclusion. The production of tungsten carbide suitable for industrial use at low energy costs from metal waste has shown high efficiency of the technology of electroerosion dispersion.

Keywords: tungsten metal waste; electroerosive dispersion; powder particles; tungsten carbide; properties.

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., Loktionova O.G., Ulitin D.A., Ageeva A.E. Production and research of tungsten carbide powder from VA grade tungsten metal waste in aviation kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2024;14(3):30–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-3-30-39>

Received 01.08.2024

Accepted 30.08.2024

Published 24.09.2024

Введение

В настоящее время большой научный и практический интерес вызывают разработки в области получения дисперсных вольфрамсодержащих порошков [1] и твердых сплавов [2] на их основе [3]. Данные материалы применяются во многих областях промышленности [4]. При этом особый интерес представляют технологии рециклинга [5] вторичных ресурсов [6], обеспечивающих возвращение ценных

компонентов в технологическую цепочку [7] и получение новой продукции [8], содержащей дорогостоящий вольфрам [9].

Одним из эффективных и перспективных направлений в технологии переработки [10] металлических отходов [11] является способ электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [12]. В процессе ЭЭД происходит расплавление [13] кусков металлоотходов (Me) в микрообъеме с образованием каплеобразных частиц порошка

(Me') [14]. При этом рабочая жидкость (керосин – C_nH_m), в которую погружены металлоотходы, разлагается [15] и продукты ее разложения вступают в реакцию с элементами расплавленного металлоотхода или выходят на поверхность (H_2), т. е. $Me \leftrightarrow Me' + C_nH_m = MeC_n + m/2H_2 \uparrow$ [16].

Целью исследования являлось получение и исследование состава, структуры и свойств порошка карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном.

Материалы и методы

Порошок карбида вольфрама из металлоотходов вольфрама марки ВА получали в следующей последовательности.

На первом этапе производили сортировку из металлоотходов вольфрама марки ВА, их промывку, сушку, обезжиривание и взвешивание. Реактор заполняли рабочей средой – керосином авиационным марки ТС-1, отходы загружали в реактор. Монтировали электроды из тех же отходов вольфрама марки ВА. Смонтированные электроды подключали к генератору импульсов. Устанавливали необходимые электрические параметры установки:

- ёмкость 42,0...43,5 мкФ;
- напряжение 115...120 В;
- частота 50...55 Гц.

На втором этапе – этапе ЭЭД металлоотходов вольфрама марки ВА включали установку. Процесс ЭЭД металлоотходов вольфрама марки ВА представлен на рисунке 1.

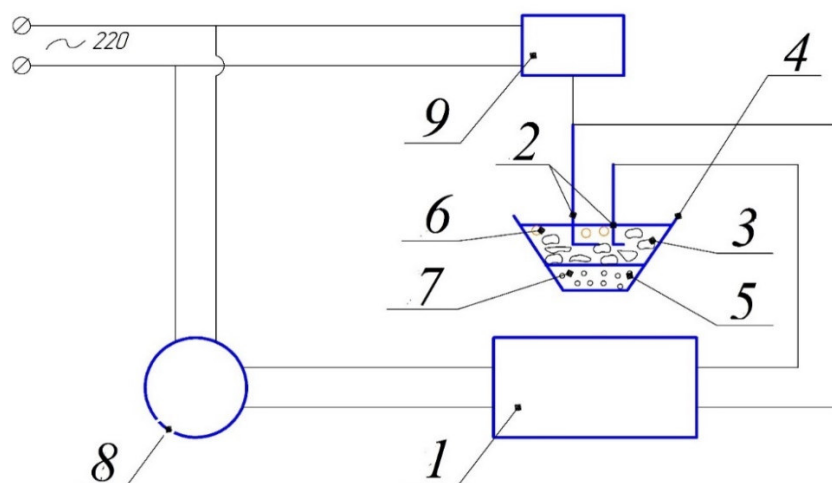


Рис. 1. Схема процесса ЭЭД металлоотходов вольфрама марки ВА

Fig. 1. Diagram of the process of EED of tungsten metal waste of the VA brand

От генератора 1 импульсное напряжение передается на электроды 2 и металлоотходам 3 вольфрама марки ВА, расположенным в реакторе 4. Электрический пробой рабочей жидкости 5 приводит к плавлению и испарению металлотохода с образованием газового пузыря 6. При этом происходит разложение рабочей жидкости, и продукты ее пиролиза вступают в химическое взаимодействие с продуктами

электроэрозионного диспергирования, образуя каплеобразные частицы порошка 7. Необходимые значения напряжения устанавливаются регулятором напряжения 8, а встряхиватель 9 обеспечивает непрерывное протекание процесса ЭЭД.

На третьем этапе проводится выгрузка рабочей жидкости с порошком из реактора.

На четвертом этапе происходит выпаривание раствора, его сушка, взвешивание, фасовка, упаковка порошка.

Исследование порошка карбида вольфрама проводили различными методами. Растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG использовали для проведения микроанализа частиц порошка карбида вольфрама. Анализатор размеров частиц Analysette 22 NanoТес использовали для определения распределения частиц порошка по размерам. Энергодисперсионный анализатор рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенный в растровый электронный микроскоп

QUANTA 600 FEG, использовали для проведения рентгеноспектрального микроанализа частиц порошка. Дифрактометр Rigaku Ultima IV использовали для анализа фазового состава частиц порошка.

Результаты и их обсуждение

Как показал микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG, порошок, полученный методом ЭЭД из отходов вольфрама марки ВА, в основном каплеобразной формы (рис. 2).

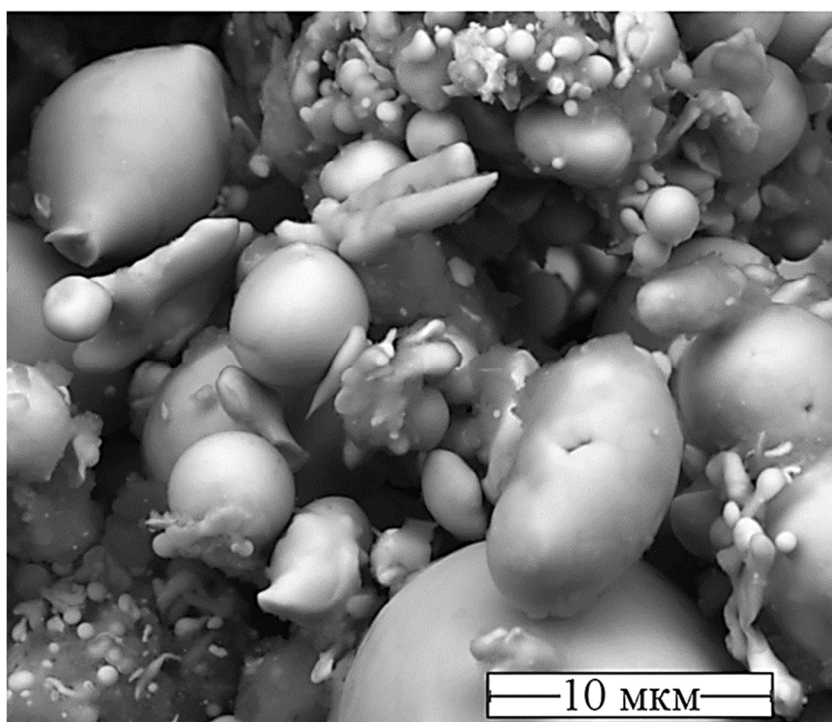


Рис. 2. Микрофотография частиц порошка

Fig. 2. Micrography of powder particles

Как показал анализ распределения по размерам частиц порошка, полученного с помощью анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес, частицы порошка имеют размеры от 2,26 мкм до 90,72 мкм со средним объемным диаметром 20,2 мкм (рис. 3).

Как показал рентгеноспектральный микроанализ частиц порошка, проведен-

ный с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG, на поверхности частиц порошка, полученного методом ЭЭД из отходов вольфрама марки ВА, присутствует углерод (рис. 4).

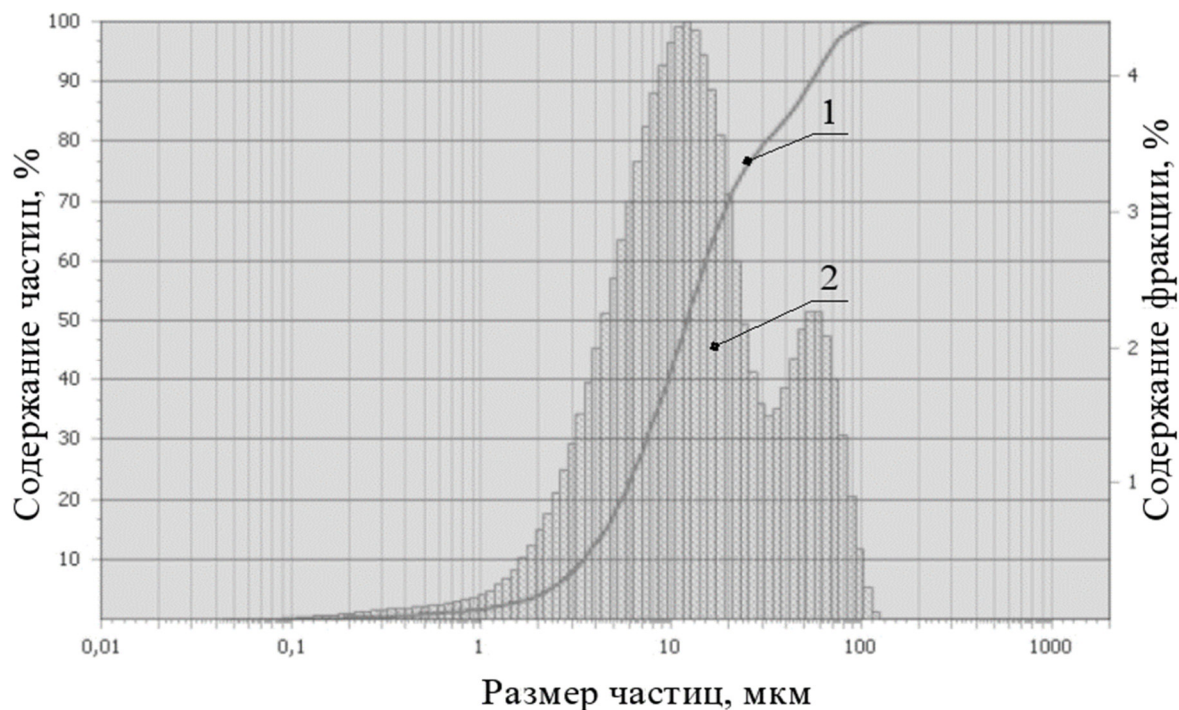


Рис. 3. Интегральная кривая (1) и гистограмма (2) распределения по размерам частиц порошка

Fig. 3. Integral curve (1) and histogram (2) of the size distribution of powder particles

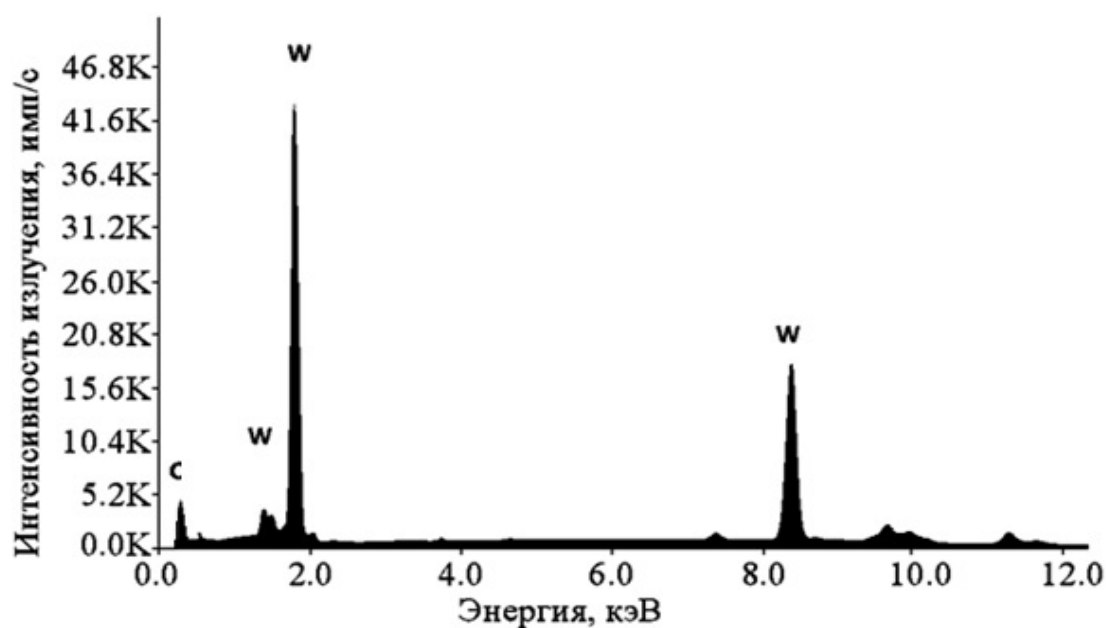


Рис. 4. Спектрограмма элементного состава частиц порошка

Fig. 4. Spectrogram of the elemental composition of powder particles

Как показал анализ фазового состава частиц порошка, проведенный с помощью рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV, наличие в рабо-

чей жидкости углерода приводит к образованию фаз карбида вольфрама W_2C (рис. 5).

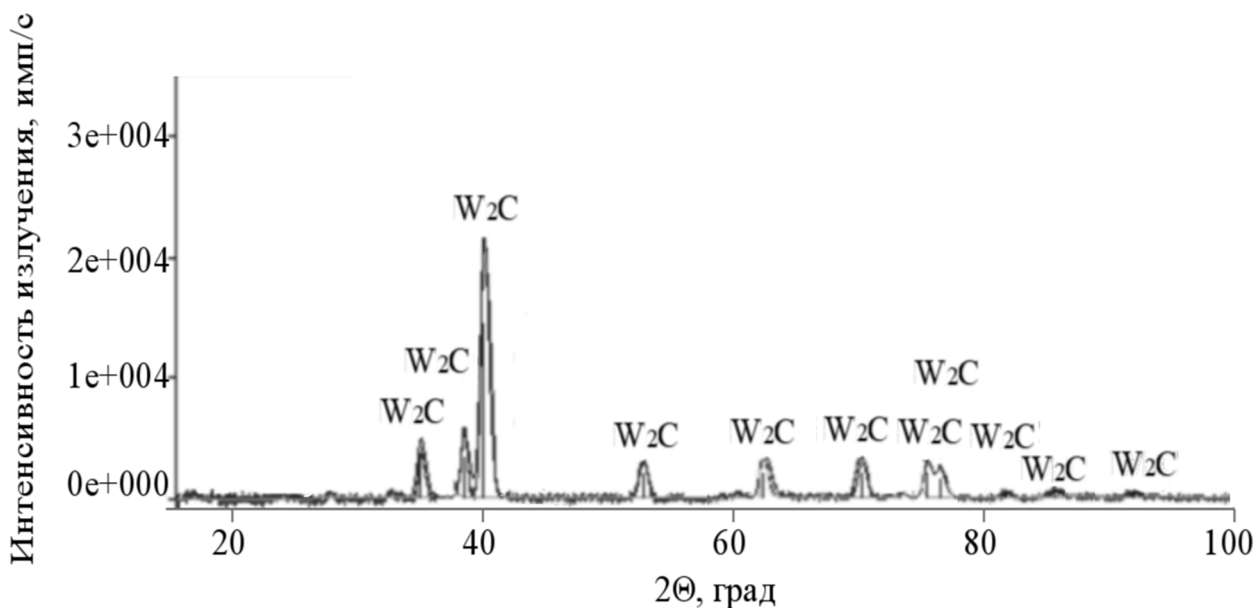


Рис. 5. Дифрактограмма фазового состава частиц порошка

Fig. 5. Diffractogram of the phase composition of the powder particles

Проведенные исследования показали, что способ ЭЭД металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном марки ТС-1 позволяет получить мелкодисперсный порошок карбида вольфрама, пригодный для промышленного применения.

Полученные результаты могут найти применение при разработке экологически чистых [17], малоэнергоемких [18], безотходных [19] и ресурсосберегающих технологий [20].

Выводы

1. На основании проведенных экспериментальных исследований разработан новый способ получения порошка карбида вольфрама, отличающийся тем, что

порошок получен путем электроэрозионного диспергирования металлоотходов вольфрама марки ВА в керосине авиационном при ёмкости конденсаторов 42,0–43,5 мкФ, напряжении на электродах 115–120 В и частоте следования импульсов 50–55 Гц.

2. Экспериментально установлено, что сферические частицы карбида вольфрама W_2C имеют размеры от 2,26 мкм до 90,72 мкм со средним объемным диаметром 20,2 мкм и на поверхности содержат углерод.

3. Получение карбида вольфрама, пригодного к промышленному применению, при низких затратах электроэнергии из металлоотходов показало высокую эффективность технологии электроэрозионного диспергирования.

Список литературы

1. Каюмов Б. Б. Синтез отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов // Интернаука. 2021. № 46-2(222). С. 53–54. EDN MYFQFY
2. Каюмов Б. Б. Получение продукции с улучшенными механическими свойствами путем синтеза отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов // Интернаука. 2021. № 47-2(223). С. 52–54. EDN YWCCIZ

3. Анализ вторичного вольфрамсодержащего сырья для производства твердых сплавов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой / А. В. Вячеславов, В. Б. Бичаев, А. Д. Титова, Д. С. Рыбин, Т. Н. Ермолаева // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83, № 11. С. 21–25. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2017-83-11-21-25>, EDN ZQZYNV
4. Повышение эффективности формирования легированного слоя при упрочнении вольфрамсодержащих твердых сплавов комбинированными методами / А. Д. Верхотуров, Я. А. Востриков, А. А. Рыбалкин, А. О. Гнатик // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2016. Т. 1, № 4(28). С. 78–87. EDN XEBNKD
5. Востриков Я. А. Влияние сплава $ZrSiO_4$ на формирование защитного покрытия при электроискровом легировании вольфрамсодержащего твердого сплава ВК8 // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2017. Т. 1. С. 8–13. EDN ZBGUOX
6. Панов В. С., Авдеев Е. Н. Аналитический обзор материаловедческих характеристик твердых сплавов и областей их применения // Материаловедение. 2021. № 6. С. 27–33. EDN JPTOLJ
7. Жадяев А. А., Захаров Д. А. Об опыте применения твердых сплавов в производстве буровых шарошечных долот в АО «Волгабурмаш» // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2022. Т. 16, № 3. С. 78–87. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2022-3-78-87>, EDN WEVNJU
8. Толстяков А. Н., Буглаев А. М. Применение отечественных марок твердых сплавов для изготовления режущих инструментов // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2017. № 25. С. 69–72. EDN YNCHXP
9. Зубарев Ю. М., Круглов А. И., Алейникова М. А. Современные твердые сплавы и области их рационального применения // Справочник. Инженерный журнал. 2017. № S9. С. 1–20. <https://doi.org/10.14489/hb.suppl.2017.09.pp.001-20>, EDN ZDMFXB
10. Шемберев И. А., Кудряшова Е. Ю. Использование электроэрозионного диспергирования для переработки вольфрамсодержащих отходов в порошки с последующим их нанесением ТВЧ-наплавкой // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. № 11. С. 30–36. EDN WYXPOW
11. Троценко И. Г., Герасименко Т. Е., Мешков Е. И. Совершенствование технологии переработки отходов твердых сплавов. Часть I. Анализ современного состояния технологий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2019. Т. 17, № 4. С. 25–33. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-4-25-33>, EDN HEYYSX
12. 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. Хардинов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1(64). С. 26–31. EDN VXDVNX
13. Агеева Е. В., Агеев Е. В., Воробьев Е. А. Анализ формы и морфологии частиц порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов электроэрозионным диспергированием в керосине // Вестник машиностроения. 2015. № 7. С. 72–73. EDN WFAOUD
14. Агеев Е. В., Серебровский В. И. Разработка и исследование технологии восстановления и упрочнения изношенных деталей машин композиционными гальваническими покрытиями с применением в качестве упрочняющей фазы вольфрамсодержащих электроэрозионных порошков микро- и нанодисперсий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 2. С. 42–66. EDN CFPBWG
15. Сравнительный анализ износостойкости плазменных покрытий на основе вольфрамсодержащих электроэрозионных порошков / Е. В. Агеева, А. Ю. Алтухов, С. С. Гулидин, А. С. Осьмина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 8, № 3(28). С. 6–16. EDN YPHXEL

16. Получение и исследование порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов электроэрозионным диспергированием / Е. В. Агеев, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева, А. А. Давыдов. Курск: ИП Горохов А. А., 2013. 200 с. EDN RZROAL

17. Совершенствование технологии переработки отходов твердых сплавов. Часть 2. Определение оптимальных условий реализации технологии / И. Г. Троценко, Т. Е. Герасименко, В. М. Алкацев, С. И. Евдокимов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2020. Т. 18, № 1. С. 31–39. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-31-39>, EDN OJTMFL

18. Parmanov S., Hakimov F. Hard alloy applications (literature review) // Universum: технические науки. 2023. No. 8-4(113). P. 4–7. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.113.8.15860>, EDN FPBPGT

19. Козик Е. С., Свиденко Е. В. Влияние термической обработки с применением высокоэнергетических источников на эксплуатационные свойства твердого сплава Т15К6 // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 4(179). С. 165–171. EDN UHINPL

20. Липатов А. А. Применение титанотанталовых твердых сплавов при точении труднообрабатываемых сталей // Главный механик. 2015. № 7. С. 28–31. EDN UARDEZ

Reference

1. Kayumov B.B. Synthesis of waste of tungsten-containing solid alloys. *Internauka*. 2021;(46-2):53–54. (In Russ.) EDN MYFQFY

2. Kayumov B.B. Obtaining products with improved mechanical properties by synthesizing waste of tungsten-containing hard alloys. *Internauka*. 2021;(47-2):52–54. (In Russ.) EDN YWCCIZ

3. Vyacheslavov A.V., Bichaev V.B., Titova A.D., Rybin D.S., Ermolaeva T.N. Analysis of secondary tungsten-containing raw materials for the production of hard alloys by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Factory Laboratory. Diagnostics of materials*. 2017;83(11):21–25. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2017-83-11-21-25>, EDN ZQZYNV

4. Verkhoturov A.D., Vostrikov Ya.A., Rybalkin A.A., Gnatik A.O. Increasing the efficiency of the formation of an alloyed layer during the hardening of tungsten-containing hard alloys with combined methods. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016;1(4):78–87. EDN XEBNKD

5. Vostrikov Ya.A. The influence of the ZrSiO₄ alloy on the formation of a protective coating during electric spark alloying of a tungsten-containing hard alloy VK8. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke = Scientific, technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century*. 2017;1:8–13. EDN ZBGUOX

6. Panov V.S., Avdeenko E.N. Analytical review of the materials science characteristics of hard alloys and their applications. *Materialovedenie = Materials Science*. 2021;(6):27–33. EDN JPTOLJ

7. Zhadyaev A.A., Zakharov D.A. On the experience of using hard alloys in the production of drilling ball bits in Volgaburmash JSC. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings*. 2022;16(3):78–87. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2022-3-78-87>, EDN WEVNJU

8. Tolstyakov A.N., Buglaev A.M. The use of domestic grades of hard alloys for the manufacture of cutting tools. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii = New Materials and Technologies in Mechanical Engineering*. 2017;25:69–72. EDN YNCHXP

9. Zubarev Yu.M., Kruglov A.I., Aleynikova M.A. Modern hard alloys and areas of their rational application. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal = Handbook. Engineering Journal*. 2017;(S9):1–20. <https://doi.org/10.14489/hb.suppl.2017.09.pp.001-20>, EDN ZDMFXB

10. Shemberev I.A., Kudryashova E.Y. The use of electroerosive dispersion for processing tungsten-containing waste into powders with subsequent application of HDPE surfacing. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont = Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2019;(11):30–36. EDN WYXPOW.
11. Trotsenko I.G., Gerasimenko T.E., Meshkov E.I. Improving the technology of processing solid alloy waste. Part I. analysis of the current state of technology. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*. 2019;17(4):25–33. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-4-25-33>, EDN HEYYSX
12. Ageev E.V., Gorokhov A.A., Altukhov A.Yu., Shcherbakov A.V., Khardikov S.V. X-ray spectral microanalysis of nichrome powder obtained by the method of electroerosive dispersion in a kerosene medium. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2016;1(64):26–31. EDN VXDVNX
13. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorobyov E.A. Analysis of the shape and morphology of powder particles obtained from tungsten-containing waste by electroerosive dispersion in kerosene. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of mechanical Engineering*. 2015;(7):72–73. EDN WFAOUD
14. Ageev E.V., Serebrovsky V.I. Development and research of technology for the restoration and hardening of worn machine parts with composite electroplating coatings using tungsten-containing electroerosive powders of micro- and nanofractions as a hardening phase. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2021;11(2):42–66. EDN CFPBWG
15. Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Gulidin S.S., Osminina A.S. Comparative analysis of the wear resistance of plasma coatings based on tungsten-containing electroerosion powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2018;8(3):6–16. EDN YPHXEL
16. Ageev E.V., Latypov R.A., Ageeva E.V., Davydov A.A. Preparation and research of powders from waste of tungsten-containing hard alloys by electroerosive dispersion. Kursk: IP Gorokhov A. A., 2013. 200 p. EDN RZROAL
17. Trotsenko I.G., Gerasimenko T.E., Alkatsev V.M., Evdokimov S.I. Improvement of solid alloy waste recycling technology. Part 2. Determination of optimal conditions for the implementation of technology. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*. 2020;18(1):31–39. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-31-39>, EDN OJTMFL
18. Parmanov S., Hakimov F. Hard alloy applications (literature review). *Universum: technical sciences*. 2023;(8-4):4–7. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.113.8.15860>, EDN FPBPGT
19. Kozik E.S., Svidenko E.V. The effect of heat treatment using high-energy sources on the performance properties of T15K6 hard alloy. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University*. 2015;4(179):165–171. EDN UHINPL
20. Lipatov A.A. The use of Titanium–Tantalum hard alloys in turning hard-to-work steels. *Glavnyi mekhanik = Chief mechanic*. 2015;(7):28–31. EDN UARDEZ

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, SPIN-код: 2561-0708

Ekaterina V. Ageeva, Doctor of Sciences (Engineering), Associate 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, SPIN-код: 2561-0708

Локтионова Оксана Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: log7.9@mail.ru

Oksana G. Loktionova, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: log7.9@mail.ru

Улитин Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ulitdmitr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033

Dmitry A. Ulitin, Post-Graduate Student of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ulitdmitr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033

Агеева Анна Евгеньевна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804

Anna E. Ageeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804