

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-33-43>



Разработка, получение и исследование шихты для производства твердых сплавов на основе карбидов вольфрама в связке с кобальтом

Е. В. Агеев^{1✉}, Д. А. Улитин¹, О. В. Кругляков¹, А. Е. Андреева¹

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

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Резюме

Цель. Разработка, получение и исследование шихты для производства твердых сплавов системы W–Co с использованием порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования вторичного сырья вольфрама и кобальта в углеродсодержащей рабочей среде.

Методы. Компоненты электроэрозионной шихты твердого сплава получали методом электроэрозионного диспергирования в углеродсодержащей среде керосина авиационного ТС-1.

Исследование микроструктуры полученных порошковых частиц проводилось с использованием растровой электронной микроскопии. Гранулометрические характеристики шихты определялись при помощи анализатора размеров частиц. Состав элементов в порошке анализировали методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на базе растрового электронного микроскопа, а фазовый состав устанавливался с помощью рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра.

Результаты. Представлены результаты разработки, получения и комплексного исследования порошковой шихты для производства твердых сплавов системы W–Co, предназначенных для применения в машиностроении и инструментальном производстве. Приведены результаты исследований морфологии, гранулометрического состава и фазового состояния порошков. Экспериментально установлено, что частицы порошков сферические и эллиптические. Частицы порошка карбида вольфрама W₂C имеют размеры от 2,26 мкм до 90,72 мкм со средним объемным диаметром 20,2 мкм и на поверхности содержат углерод, при этом размеры частиц кобальтового порошка распределены в диапазоне от 0,9 до 63,77 мкм, при этом средний объемный диаметр составляет 12,06 мкм.

Заключение. Полученные экспериментальные данные создают научно-практическую основу для разработки принципиально новых твердых сплавов, в состав которых входят порошковые карбид вольфрама и кобальт, полученные из металлоотходов методом электроэрозионного диспергирования. Разработанная шихта характеризуется высокой степенью однородности и может быть использована для последующего прессования и спекания твердых сплавов инструментального назначения. Представленные результаты открывают перспективу дальнейшего совершенствования состава и регулирования структуры вновь формируемых сплавов.

Ключевые слова: металлоотходы; вольфрам; кобальт; электроэрозионное диспергирование; частицы порошка; карбид вольфрама; твердый сплав.

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

Для цитирования: Разработка, получение и исследование шихты для производства твердых сплавов на основе карбидов вольфрама в связке с кобальтом / Е. В. Агеев, Д. А. Улитин, О. В. Кругляков, А. Е. Андреева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2026. Т. 16, № 1. С. 33–43. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-33-43>.

Поступила в редакцию 02.02.2026

Подписана в печать 24.02.2026

Опубликована 25.03.2026

© Агеев Е. В., Улитин Д. А., Кругляков О. В., Андреева А. Е., 2026

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии /
Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies. 2026;16(1):33-43

Development, production, and research of a charge for the production of hard alloys based on Tungsten carbides bonded with Cobalt

Evgeny V. Ageev^{1✉}, Dmitry A. Ulitin¹, Oleg V. Kruglyakov¹, Anna E. Andreeva¹

¹ Southwest State University

50 let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Abstract

Purpose. Development, preparation and research of a charge for the production of hard alloys of the W-Co system using powders obtained by electroerosion dispersion of secondary raw materials of tungsten and cobalt in a carbon-containing working medium.

Methods. The components of the electroerosion charge of a hard alloy were obtained by the method of electroerosion dispersion in a Carbon-containing medium of aviation kerosene TS-1.

The microstructure of the obtained powder particles was studied using scanning electron microscopy. The granulometric characteristics of the charge were determined using a particle size analyzer. The composition of the elements in the powder was analyzed by energy dispersive X-ray spectroscopy based on a scanning electron microscope, and the phase composition was determined using X-ray diffraction using a diffractometer.

Results. The results of the development, production and complex investigation of a powder charge for the production of hard alloys of the W-Co system intended for use in machine-building and tool manufacturing are presented. The results of studies of the morphology, granulometric composition, and phase state of powders are presented. It has been experimentally established that powder particles are spherical and elliptical. The particles of tungsten carbide powder W₂C range in size from 2.26 microns to 90.72 microns with an average volume diameter of 20.2 microns and contain carbon on the surface, while the particle sizes of cobalt powder are distributed in the range from 0.9 to 63.77 microns, with an average volume diameter of 12.06 microns.

Conclusion. The experimental data obtained create a scientific and practical basis for the development of fundamentally new solid alloys, which include powdered tungsten carbide and cobalt obtained from metal waste by electroerosion dispersion. The developed charge is characterized by a high degree of uniformity and can be used for subsequent pressing and sintering of hard alloys for instrumental purposes. The presented results open up the prospect of further improvement of the composition and regulation of the structure of newly formed alloys.

Keywords: Tungsten metal waste; Cobalt; electroerosion dispersion; powder particles; Tungsten carbide; hard alloy.

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

For citation: Ageev E.V., Ulitin D.A., Kruglyakov O.V., Andreeva A.E. Development, production, and research of a charge for the production of hard alloys based on Tungsten carbides bonded with Cobalt. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2026;16(1):33-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-33-43>.

Received 02.02.2026

Accepted 24.02.2026

Published 25.03.2026

Введение

Твёрдые сплавы на основе карбидов вольфрама в кобальтовой связке являются

одним из наиболее востребованных классов инструментальных материалов, широко применяемых в машиностроении, горнодобывающей промышленности, ме-

таллообработке и других отраслях техники [1]. Их эксплуатационные преимущества обусловлены сочетанием высокой твёрдости карбидной фазы и пластичности металлической связки, что обеспечивает устойчивость к износу и динамическим нагрузкам [2].

В условиях роста стоимости первичного вольфрамового и кобальтового сырья всё большее внимание уделяется технологиям вторичной переработки металлоотходов [3] и вовлечению их в цикл порошковой металлургии [4]. Использование вторичных ресурсов позволяет существенно снизить себестоимость твёрдых сплавов и одновременно решить экологические задачи, связанные с утилизацией отходов [5].

Одним из перспективных методов переработки токопроводящих металлоотходов является электроэрозионное диспергирование (ЭЭД) [6]. Данный метод характеризуется локальным плавлением материала в зоне электрического разряда и последующим формированием порошковых частиц каплеобразной формы [7]. Особый интерес представляет возможность получения порошков карбида вольфрама при электроэрозионном разрушении вольфрамовых отходов в углеродсодержащей жидкой среде, а также металлического кобальта, сохраняющего фазовую чистоту [8].

Несмотря на наличие публикаций, посвящённых отдельным аспектам получения электроэрозионных порошков вольфрама и кобальта, вопросы формирования шихты для твёрдых сплавов WC–Co на их основе остаются недостаточно изученными [9]. В этой связи актуальной задачей является разработка и исследование порошковой шихты, включающей электроэрозионные порошки карбида вольфрама

и кобальта, с оценкой их морфологических и структурных характеристик [10].

Целью исследования является разработка, получение и исследование шихты для производства твёрдых сплавов системы W–Co с использованием порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования вторичного сырья вольфрама и кобальта в углеродсодержащей рабочей среде.

Материалы и методы

В качестве компонентов шихты использовались порошок карбида вольфрама и порошок металлического кобальта, полученные методом электроэрозионного диспергирования соответствующих металлоотходов в среде авиационного керосина марки ТС-1 в углеродсодержащей рабочей среде [11].

Порошок карбида вольфрама получали при электроэрозионном диспергировании отходов вольфрама марки ВА [12]. В процессе обработки реализовывались режимы, обеспечивающие локальное плавление материала и взаимодействие расплава с продуктами пиролиза углеводородной рабочей среды, что приводило к образованию карбидной фазы. Порошковый кобальт получали методом электроэрозионного диспергирования отходов кобальта марки K1Au в аналогичной рабочей среде [13]. В отличие от вольфрама кобальт в данных условиях не вступает в реакцию с углеродом, что обеспечивает сохранение металлической фазы без образования карбидных соединений. Схема процесса электроэрозионного диспергирования вольфрамовых отходов представлена на рисунке 1 [14].

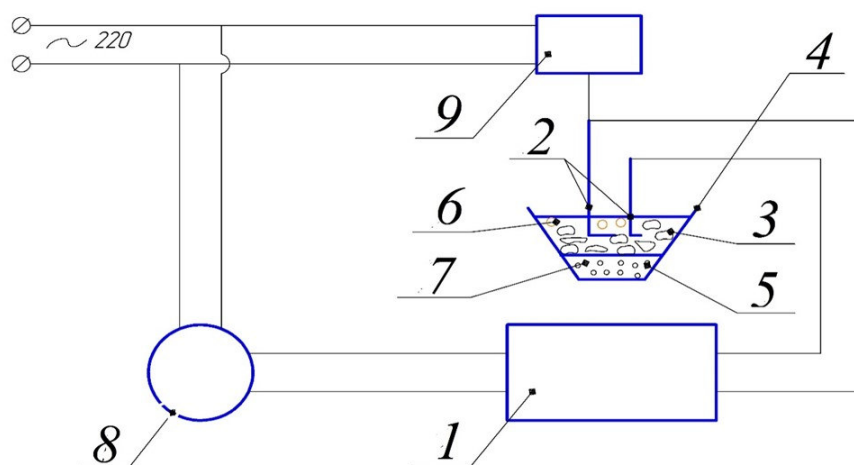


Рис. 1. Схема процесса ЭЭД металлоотходов вольфрама марки ВА

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

При включении установки импульсное напряжение от генератора 1 передавалось на электроды 2 и расположенные металлоотходы 3 в реакторе 4. Электрический пробой рабочей жидкости 5 инициировал локальное плавление и испарение металла, сопровождающееся образованием газовых пузырьков 6. В условиях высоких температур происходило термическое разложение керосина, и продукты пиролиза вступали в химическое взаимодействие с частицами металла, образуя каплеобразные агрегаты. Эти процессы приводили к формированию дисперсного порошка 7 с заданной морфологией и размером частиц. Контроль параметров импульсного напряжения и частоты обеспечивался регулятором 8, а встряхивающее устройство 9 обеспечивало динамическое перемешивание суспензии, предотвращая агрегацию частиц и способствуя равномерному протеканию процесса [15].

Для комплексного исследования характеристик порошковых компонентов применялась совокупность аналитических методов [16]. Морфологический и микроанализ частиц карбида вольфрама осуществляли с использованием растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG, что позволило детально изучить форму, размер и поверхностные особенности частиц [17]. Распределение порошка по размерам определяли при помощи лазерного анализатора частиц Analysette 22 NanoТес, обеспечивающего высокую точность измерений нанометрового диапазона [18]. Рентгеноспектральный микроанализ частиц проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D [19]. Для установления фазового состава и кристаллической структуры применяли рентгеновский дифрактометр Rigaku Ultima IV,

что обеспечивало идентификацию полиморфных форм и оценку степени кристалличности материала [20].

Формирование шихты осуществляли путём дозирования компонентов в заданных соотношениях с последующим механическим смешиванием до достижения однородного распределения фаз.

Результаты и обсуждение

Микроструктурный анализ порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов вольфрама марки ВА, показал, что частицы имеют преимущественно сферическую и эллипсоидную форму (рис. 2). Подобная морфология характерна для материалов, сформированных в условиях быстрого охлаждения расплавленных капель.

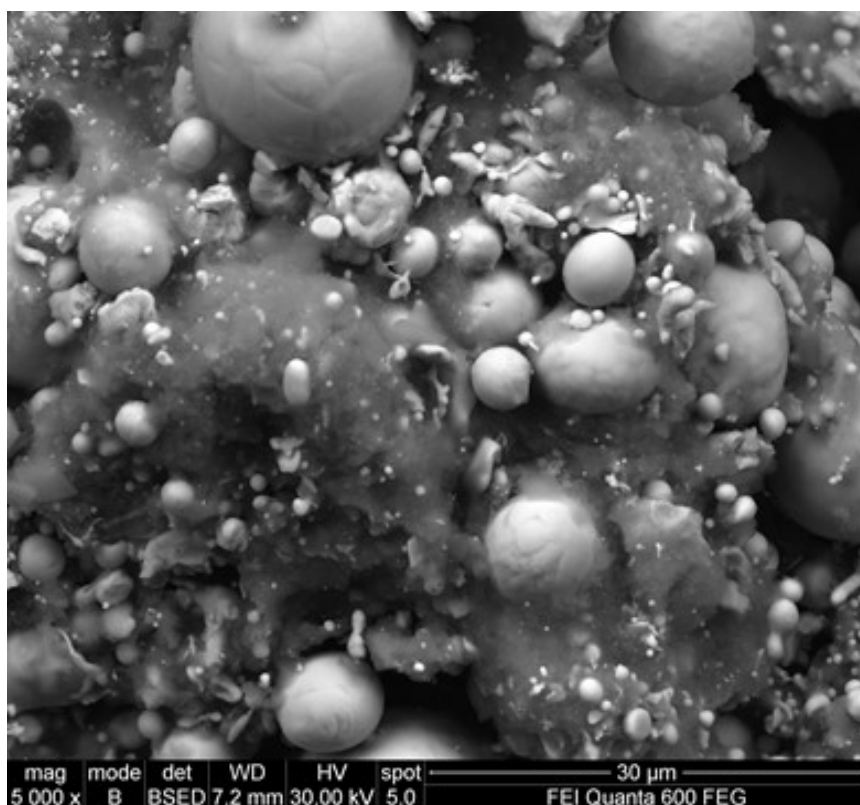


Рис. 2. Микрофотография частиц вольфрамового порошка

Fig. 2. Micrography of tungsten powder particles

Результаты гранулометрического анализа свидетельствуют о широком распределении частиц по размерам — от 2,26 мкм до 90,72 мкм при среднем объёмном диаметре порядка 20,2 мкм. Наличие частиц различных фракций способствует более плотной упаковке порошка при формировании заготовок.

Рентгеноспектральный микроанализ выявил присутствие углерода на поверхности частиц, что связано с разложением авиационного керосина в зоне электрического разряда. Рентгеноструктурный анализ подтвердил формирование карбидной фазы W_2C (рис. 3), пригодной для использования в составе твёрдых сплавов.

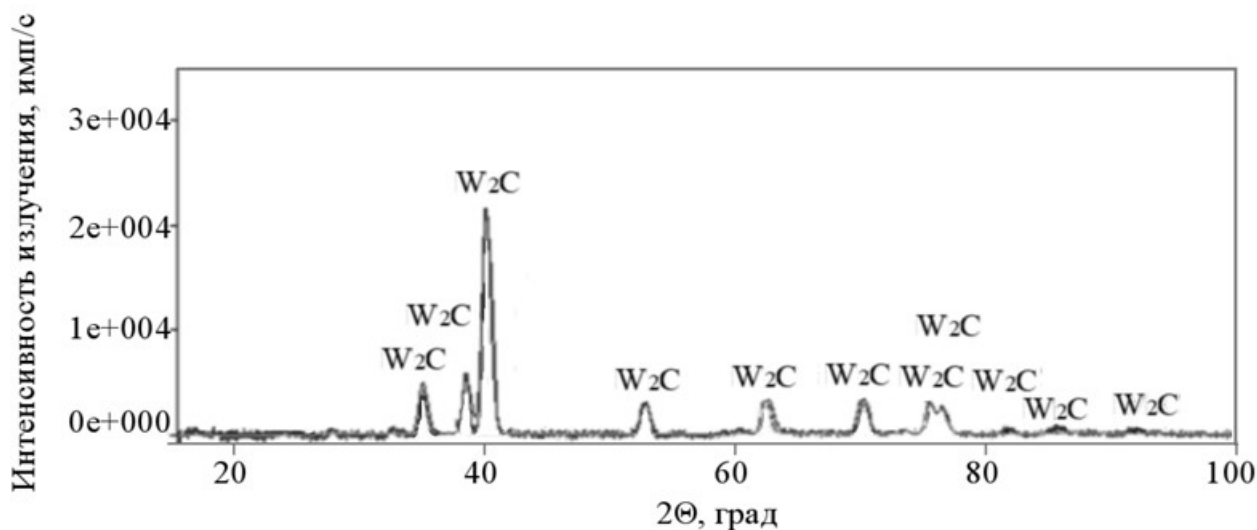


Рис. 3. Дифрактограмма фазового состава вольфрамового порошка

Fig. 3. Diffractogram of the phase composition of tungsten powder

Порошковый кобальт, полученный методом электроэрозионного диспергирования отходов марки К1Ау в среде авиационного керосина ТС-1, характеризуется высокой степенью фазовой чистоты и однородностью морфологии частиц. Микроструктурный анализ показал, что основ-

ную долю порошка составляют частицы сферической и эллипсоидной формы, а также их слабо выраженные агломераты, что является характерным признаком материалов, сформированных в условиях быстрого охлаждения расплавленных микрокапель (рис. 4).

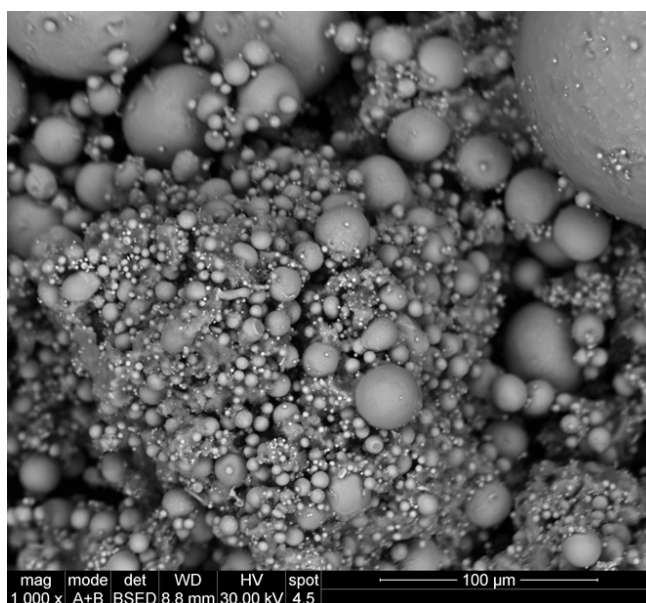


Рис. 4. Микрофотография частиц порошка кобальта

Fig. 4. Micrography of cobalt powder particles

Отсутствие угловатых и пластинчатых частиц свидетельствует о равномерности протекания электроэрозионного процесса и стабильности режимов диспергирования. Такая форма частиц способствует повышению текучести порошка и улучшению условий его уплотнения при формировании заготовок твёрдых сплавов.

Рентгеноспектральный микроанализ, выполненный в различных зонах исследуемых образцов, подтвердил отсутствие углерода и посторонних примесей в составе порошка. Это указывает на то, что в условиях электроэрозионного диспергирования в углеродсодержащей среде кобальт

сохраняет металлическое состояние и не склонен к образованию карбидных соединений.

Рентгенодифракционный анализ показал наличие исключительно кристаллической фазы металлического кобальта с кубической решёткой, без признаков формирования вторичных фаз (рис. 5). Полученные дифрактограммы характеризуются чётко выраженными дифракционными максимумами, что свидетельствует о высокой степени кристалличности порошкового материала.

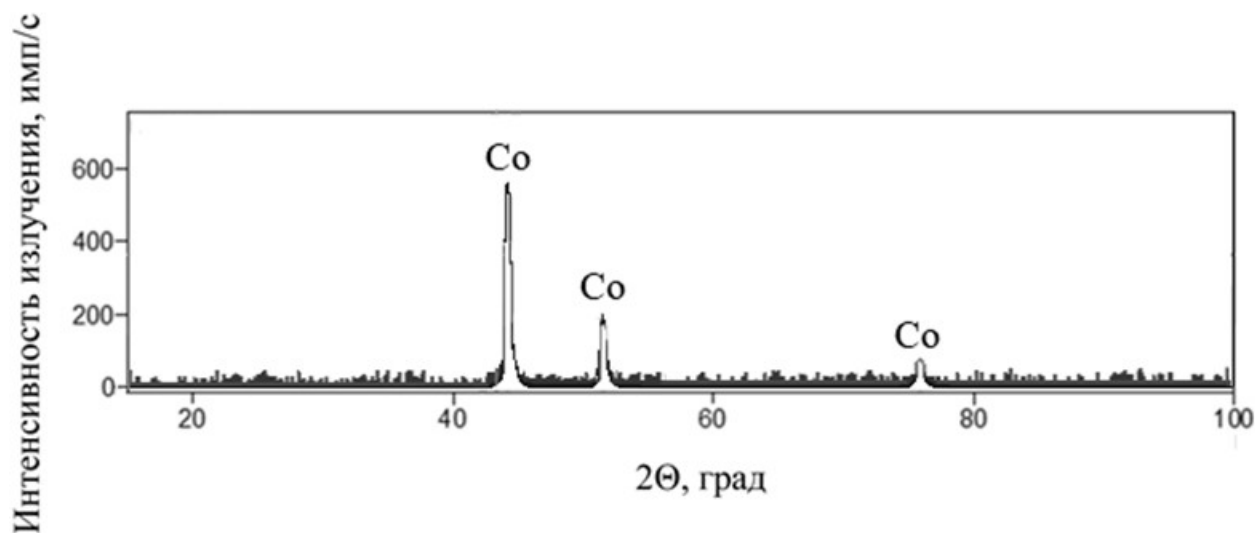


Рис. 5. Дифрактограмма фазового состава порошка кобальта

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

По данным гранулометрического анализа установлено, что размеры частиц кобальтового порошка распределены в диапазоне от 0,9 до 63,77 мкм, при этом медианный диаметр D50 составляет 12,06 мкм. Указанный размерный диапазон является оптимальным для использования кобальта в качестве связующей фазы в твёрдых сплавах системы W–Co, поскольку обеспечивает эффективное заполнение межзернового пространства между частицами карбида вольфрама и способствует формированию плотной и однородной структуры материала после спекания.

Сформированная порошковая шихта W–Co характеризуется высокой степенью однородности распределения компонентов. Сочетание более крупной карбидной фазы и мелкодисперсной кобальтовой связки создаёт благоприятные условия для формирования плотной структуры при прессовании и спекании.

Морфологические особенности электроэрозионных порошков способствуют активации диффузионных процессов на стадии спекания, что позволяет ожидать снижение температуры уплотнения и повышение эксплуатационных характеристик твёрдых сплавов.

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о механизмах формирования структуры твёрдых сплавов системы WC–Co и подтверждают целесообразность использования электроэрозионных порошков вторичного происхождения в составе твёрдосплавных шихт.

Выводы

1. На основании проведенных исследований, направленных на разработку, получение и исследование шихты для производства твёрдых сплавов системы W–Co с использованием порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования вторичного сырья вольфрама и кобальта в углеродсодержащей рабочей среде, установлено следующее:

- частицы порошка обоих металлоотходов в основном имеют сферическую и эллиптическую форму;
- фазовый состав представлен фазами W_2C и Co.

2. Применение вторичного сырья и электроэрозионного диспергирования позволяет реализовать ресурсосберегающий и экологически ориентированный подход к производству твёрдых сплавов. Разработанная шихта может быть рекомендована для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию режимов прессования и спекания, а также на получение твёрдых сплавов с заданным комплексом эксплуатационных свойств, соответствующих требованиям современного инструментального производства.

3. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих технологий производства твёрдых сплавов инструментального назначения с применением вторичного вольфрам- и кобальтсодержащего сырья. Разработанная шихта перспективна для внедрения в технологии порошковой металлургии при изготовлении режущего и износостойкого инструмента.

Список литературы

1. Фальковский В. А., Панов В. С. Нано- и ультрадисперсные твердые сплавы // Цветные металлы. 2007. № 10. С. 85-91. EDN KUAMYX.
2. Термохимическое окисление твердых сплавов / А. Д. Верхотуров, Л. А. Коневцов, П. С. Гордиенко, Е. С. Панин // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. № 2(144). С. 93-97. EDN LATADL.
3. Масленков С. Б. Твердые сплавы // Все материалы. 2007. № 1. С. 18-21. EDN JWYGDP.
4. Дворник М. И., Михайленко Е. А. Анализ зависимостей твердости металлокерамических твердых сплавов, полученных жидкофазным и искровым плазменным спеканием наноструктурного и среднезернистого порошков // Упрочняющие технологии и покрытия. 2025. Т. 21, № 11(251). С. 510-516. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2025-21-11-510-516>. EDN LOLMFZ.
5. Агеев Е. В., Семенихин Б. А. Выбор метода получения порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: Актуальные проблемы машиностроения. 2009. Т. 2009. С. 12-14. EDN UDPDBR.
6. Ageev E. V., Ageeva A. E. Phase composition of Titanium powders obtained for additive machines by electrodispersion of OT4 alloy waste in alcohol // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2024. Vol. 53, no. 4. P. 379-385. <https://doi.org/10.1134/S1052618824700213>. EDN NQWOWQ.
7. Manufacture of Cobalt–Chromium powders by the electric discharge dispersion of wastes and their investigation / R. A. Latypov, E. V. Ageev, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // Russian Metallurgy (Metally). 2018. Vol. 2018, no. 12. P. 1177-1180. <https://doi.org/10.1134/S0036029518120108>. EDN MWHYYK.
8. Агеев Е. В., Новиков Е. П., Алтухов А. Ю. Технология переработки алюминиевых деталей автомобилей до микро- и нанодисперсий // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. Т. 2, № 1(2). С. 328-332. <https://doi.org/10.12737/14066>. EDN UQGRVT.

9. Агеев Е. В., Латыпов Р. А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. № 5. С. 50-53. EDN SQJAER.
10. Определение основных закономерностей процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, А. С. Чернов, Г. С. Маслов, Е. И. Паршина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1(46). С. 85-90. EDN PGMCAA.
11. 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. EDN TCUFQH.
12. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44. EDN NBXQRT.
13. 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. EDN QFQFMG.
14. Исследование гранулометрического состава частиц порошковой шарикоподшипниковой стали, полученной электроэрозионным диспергированием / Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, С. В. Харди-ков, П. В. Чаплыгин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 4. С. 23-28. EDN TOMRWZ.
15. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. Получение и исследование композиционных медных гальванических покрытий, модифицированных медными электроэрозионными порошками микро- и нанодисперсий. Курск : Университетская книга, 2016. 131 с. EDN VJFDSX.
16. Агеева Е. В., Агеев Е. В., Карпенко В. Ю. Размерный анализ частиц порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов электроэрозионным диспергированием в воде // Вестник машиностроения. 2015. № 3. С. 45-46. EDN UNRHTN.
17. Исследование гранулометрического состава частиц порошковой шарикоподшипниковой стали, полученной электроэрозионным диспергированием / Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, С. В. Харди-ков, П. В. Чаплыгин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 4. С. 23-28. EDN TOMRWZ.
18. 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. EDN SAMGBH.
19. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 2(74). С. 13-16. EDN LVQSGC.
20. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 2. С. 42-44. EDN NDINXT.

References

1. Fal'kovskii V.A., Panov V.S. Nano- and ultrafine hard alloys. *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. 2007;(10):85-91. (In Russ.) EDN KUAMYX.
2. Verkhovurov A.D., Konevtsov L.A., Gordienko P.S., Panin E.S. Thermochemical oxidation of hard alloys. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2009;(2):93-97. (In Russ.) EDN LATADL.
3. Maslennikov S.B. Hard alloys. *Vse materialy. All materials*. 2007;(1):18-21. (In Russ.) EDN JWYGDP.
4. Dvornik M.I., Mikhailenko E.A. Analysis of hardness dependences of metal-ceramic hard alloys obtained by liquid-phase and spark plasma sintering of nanostructured and medium-grained powders. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2025;21(11):510-516. (In Russ.) <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2025-21-11-510-516>. EDN LOLMFZ.

5. Ageev E.V., Semenikhin B.A. Selection of a method for obtaining powder materials from sintered hard alloy waste. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Spetsial'nyi vypusk: Aktual'nye problemy mashinostroeniya = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Special issue: Actual problems of mechanical engineering*. 2009;(2009):12-14. (In Russ.) EDN UDPDBR.
6. Ageev E.V., Ageeva A.E. Phase composition of Titanium powders obtained for additive machines by electrodispersion of OT4 alloy waste in alcohol. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2024;53(4):379-385. <https://doi.org/10.1134/S1052618824700213>. EDN NQWOWQ.
7. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Manufacture of Cobalt–Chromium powders by the electric discharge dispersion of wastes and their investigation. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2018;2018(12):1177-1180. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0036029518120108>. EDN MWHYYK.
8. Ageev E.V., Novikov E.P., Altukhov A.Yu. The technology of processing Aluminum car parts to micro- and nanofractions. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskome komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya = Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use*. 2015;2(1):328-332. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/14066>. EDN UQGRVT.
9. Ageev E.V., Latypov R.A. Preparation and investigation of hard alloy blanks from powders obtained by electroerosion dispersion of tungsten-containing waste. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2014;(5):50-53. (In Russ.) EDN SQJAER.
10. Ageev E.V., Ageeva E.V., Chernov A.S., Maslov G.S., Parshina E.I. Determination of the main patterns of the powder production process by electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2013;(1):85-90. (In Russ.) EDN PGMCAA.
11. 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.) EDN TCUFQH.
12. Ageev E.V., Gadlov V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Production of wear-resistant powders from waste of hard alloys. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Procurement in mechanical engineering*. 2010;(12):39-44. (In Russ.) EDN NBXQRT.
13. Khor'yakova 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.) EDN QFQFMG.
14. Ageeva E.V., Ageev E.V., Khardikov S.V., Chaplygin P.V. Investigation of the granulometric composition of particles of powdered ball bearing steel obtained by electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2014;(4):23-28. (In Russ.) EDN TOMRWZ.
15. Ageeva E.V., Khor'yakova N.M., Ageev E.V. Preparation and investigation of composite Copper electroplating coatings modified with Copper electroerosion powders of micro- and nanofractions. Kursk : Universitetskaya kniga; 2016. 131 p. (In Russ.) EDN VJFDSX.
16. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu. Dimensional analysis of powder particles obtained from Tungsten-containing waste by electro-erosive dispersion in water. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of Mechanical Engineering*. 2015;(3):45-46. (In Russ.) EDN UNRHTN.
17. Ageeva E.V., Ageev E.V., Khardikov S.V., Chaplygin P.V. Investigation of the granulometric composition of particles of powdered ball bearing steel obtained by electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2014;(4):23-28. (In Russ.) EDN TOMRWZ.

18. Ageev E.V., Ageeva E.V., Vorob'ev 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.) EDN SAMGBH.

19. Ageev E.V., Gadalog V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. X-ray spectral micro-analysis of powder particles obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening Technologies and Coatings*. 2011;(2):13-16. (In Russ.) EDN LVQSGC.

20. Ageev E.V., Gadalog V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. X-ray diffraction analysis of powders obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Procurement products in mechanical engineering*. 2011;(2):42-44. (In Russ.) EDN NDINXT.

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: 0000-0002-8491-2829,
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: 0000-0002-8491-2829,
SPIN-код: 7007-6649

Улитин Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: ulitdmtr@gmail.com,
ORCID: 0009-0000-0444-298X,
SPIN-код: 6575-1033

Dmitry A. Ulitin, Postgraduate Student of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: ulitdmtr@gmail.com,
ORCID: 0009-0000-0444-298X,
SPIN-код: 6575-1033

Кругляков Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: o.kruglyakov@tmholding.ru

Oleg V. Kruglyakov, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: o.kruglyakov@tmholding.ru

Андреева Анна Евгеньевна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru,
ORCID: 0009-0001-1809-037X,
SPIN-код: 6687-3804

Anna E. Andreeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru,
ORCID: 0009-0001-1809-037X,
SPIN-код: 6687-3804