

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-8-18>



Структура и свойства мелкодисперсного кобальтового порошка из металлоотходов кобальта марки К1Ау

Е.В. Агеева^{1✉}, О.Г. Локтионова¹, Д.А. Улитин¹, И.В. Ворначева¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Исследование зависимостей между составом, структурой и свойствами исходных кобальтовых металлоотходов и порошка, полученного путем измельчения этих отходов электрической эрозией в жидких диэлектриках.

Методы. Мелкодисперсный порошок из металлоотходов кобальта марки К1Ау получали на оригинальной запатентованной установке в жидкой диэлектрической среде – воде дистиллированной путем электрической эрозии. Куски металлоотхода загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью, и через электроды, выполненные из того же металлоотхода, подавали импульсное напряжение от генератора импульсов. При достижении энергии, позволяющей пробить жидкий диэлектрик, присходили электрические разряды между кусками металлоотхода с образованием микрочастиц порошка, которые в дальнейшем исследовали различными методами с усилением их гранулометрического, химического и фазового составов на современном исследовательском оборудовании.

Результаты. Было установлено, что полученный электроэропионный кобальтовый порошок имеет размеры в пределах от 0,45 мкм до 38,72 мкм и на поверхности содержит кислород. Фазовый анализ показал наличие в частицах электроэропионного кобальтового порошка только одной фазы – фазы кобальта. Из анализа состояния формы и морфологии частиц установлено, что полученные частицы в большинстве имеют форму сферы со средним размером 8,6 мкм и комков агломератов, состоящих из мелкодисперсных частиц.

Заключение. Полученные результаты исследований могут применяться для разработки нового твердого сплава с использованием металлоотходов дорогостоящего сырья кобальта методом электроэропионного диспергирования с последующим совершенствованием и оптимизацией состава и структуры сплава.

Ключевые слова: кобальт; отходы; электрическая эрозия; вода; металлопорошок; структура; свойства.

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

Для цитирования: Структура и свойства мелкодисперсного кобальтового порошка из металлоотходов кобальта марки К1Ау / Е.В. Агеева, О.Г. Локтионова, Д.А. Улитин, И.В. Ворначева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 3. С. 8–18. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-8-18>.

Поступила в редакцию 19.08.2025

Подписана в печать 03.09.2025

Опубликована 30.09.2025

© Агеева Е.В., Локтионова О.Г., Улитин Д.А., Ворначева И.В., 2025

Structure and properties of finely dispersed Cobalt powder from Cobalt metal waste of the K1Au brand

**Ekaterina V. Ageeva^{1✉}, Oksana G. Loktionova¹, Dmitry A. Ulitin¹,
Irina V. Vornacheva¹**

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Investigation of the relationships between the composition, structure and properties of the initial Cobalt metal waste and the powder obtained by crushing these wastes by electric erosion in liquid dielectrics.

Methods. Finely dispersed powder from Cobalt metal waste of the K1Au brand was obtained on an original patented installation in a liquid dielectric medium - distilled water by electric erosion. The pieces of the metal tube were loaded into a reactor filled with a working fluid, and a pulse voltage from a pulse generator was applied through electrodes made of the same metal tube. When the energy was reached to penetrate the liquid dielectric, electrical discharges occurred between the pieces of metal waste to form powder microparticles, which were further investigated by various methods to determine their granulometric, chemical, and phase compositions using modern research equipment.

Results. It was found that the resulting electroerosive Cobalt powder has dimensions ranging from 0.45 microns to 38.72 microns and contains oxygen on the surface. The phase analysis showed the presence of only one phase in the particles of electroerosive cobalt powder – the Cobalt phase. From the analysis of the particle shape and morphology, it was found that the obtained parts mostly have the shape of a sphere with an average size of 8.6 microns and lumps of agglomerates consisting of finely dispersed particles.

Conclusion. The obtained research results can be used to develop a new hard alloy using waste materials of expensive cobalt raw materials by the method of electroerosion dispersion with subsequent improvement and optimization of the composition and structure of the alloy.

Keywords: cobalt; wastes; electrical erosion; water; metal powder; structure; 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., Vornacheva I.V. Structure and properties of finely dispersed Cobalt powder from cobalt metal waste of the K1Au brand. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2025;15(3):8-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-3-8-18>.

Received 19.08.2025

Accepted 03.09.2025

Published 30.09.2025

Введение

Порошковая металлургия (ПМ) на сегодняшний день, несомненно, является одной из самых динамично развивающихся отраслей металлургической промышленности, способной оказывать огромное влияние на ассортимент и качество большинства изделий промышленного назначения [1]. Стратегически важной задачей в плане импортозамещения и технологического суверенитета России, конечно же, является развитие ПМ, внедрение новых разработок в экономику нашей страны. Следует отметить, что количество производимых на данный мо-

мент времени изделий сложной конструкции методами ПМ [2] в разы превышает производство подобных изделий штамповкой, формовкой и другими способами формообразования [3].

Потребность различных отраслей промышленности в кобальте за последние десятилетия возросла в несколько раз. Кобальт стал незаменимым компонентом во многих направлениях современной промышленности – от медицины до производства экологически чистого источника электрической энергии. Материалы на его основе широко используются в металлообработке [4].

Кобальт, благодаря своей особенности не образовывать карбидные соединения, стал практически незаменимым связующим веществом при производстве инструментальных быстрорежущих сталей [5]. Кобальт в качестве связки при производстве твердых сплавов способствует увеличению срока службы всего сплава за счет увеличения его вязкости и снижения чувствительности к ударным и вибрационным нагрузкам [6]. Область применения твердых сплавов в связке с кобальтом не ограничивается производством режущих инструментов [7], зачастую их используют в качестве материала для наплавки с целью упрочнения новых и ремонта, восстановления изношенных деталей машин и оборудования [8].

Перспективным методом ПМ, способным обеспечить оптимальное сочетание технологии переработки порошковых материалов из металлоотходов любых токопроводящих составляющих [9], в частности из металлоотходов дорогостоящего кобальта, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [10]. Внедрение в производство предлагаемого электроэрозионного способа получения МДКП на данный момент времени невозможно, т. к. нет полной картины влияния условий протекания процесса на конечный продукт переработки чистого ко-

бальта [11], а также нет сведений по изучению состава, структуры и свойств нового порошкового материала [12].

Проведение фундаментальных исследований в области переработки отходов кобальта марки К1Ау позволит оценить эффективность данного способа и разработать технологию производства нового МДКП [13].

Целью исследования является определение и изучение состава, структуры и свойств мелкодисперсного кобальтового порошкового материала, полученного в результате электроэрозионного диспергирования металлических отходов кобальта марки К1Ау в рабочей среде дистиллированной воды.

Материалы и методы

Объектом для выполнения исследований по определению состава, структуры и свойств являлся образец мелкодисперсного кобальтового порошка, полученного методом электроэрозии отходов кобальта в среде дистиллированной воды. Получение МДКП производилось на уникальной запатентованной установке [14].

Процесс получения мелкодисперсного кобальтового порошка регламентируется определенными параметрами работы установки, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Параметры работы установки для получения МДКП

Table 1. Installation operation parameters for receiving of FDCP

Параметр	Значение
Напряжение на электродах, В	95–100
Частота следования импульсов, Гц	100–110
Ёмкость разрядных конденсаторов, мкФ	60–62
Расстояние между электродами, мм	100

Достижение поставленной цели работы сопровождалось решением соответствующих задач с использованием ряда

научно-исследовательского оборудования, представленного на рисунке 1.

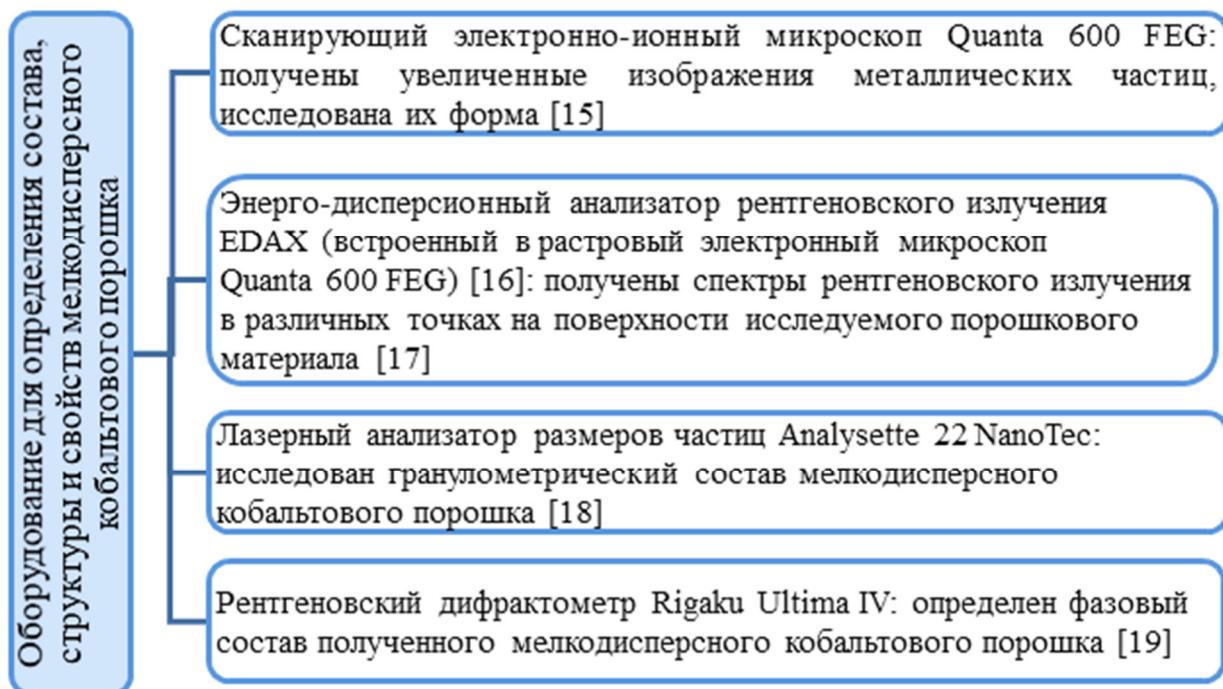


Рис. 1. Оборудование для исследования свойств МДКП

Fig. 1. Equipment for studying the properties of FDCP

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования микроструктуры и рентгеноспектрального мик-

роанализа мелкодисперсного кобальтового порошка представлены на рисунках 2 и 3.

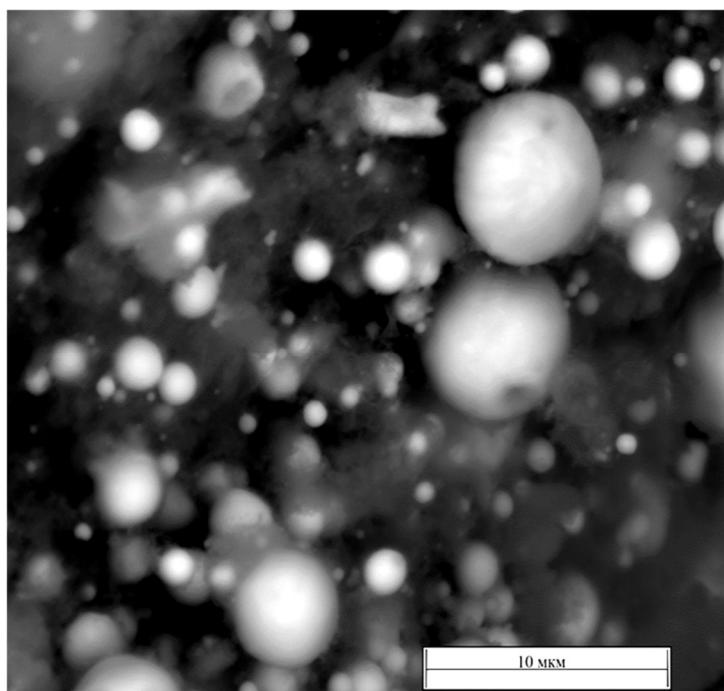


Рис. 2. СЭМ-изображение МДКП

Fig. 2. SEM of FDCP

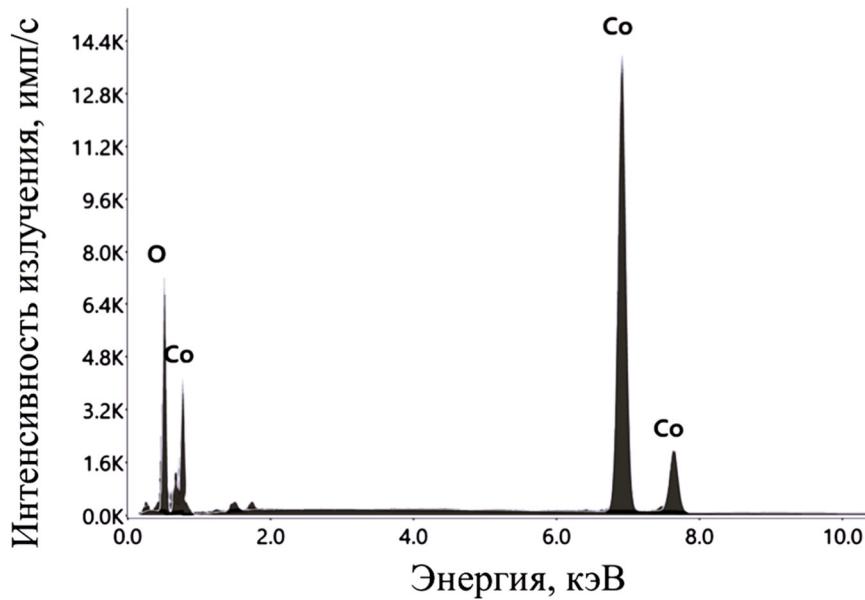


Рис. 2. Спектрограмма элементного состава МДКП

Fig. 2. The spectrogram of the elemental composition of FDCP

Микроанализ частиц порошка позволяет сделать вывод о том, что преобладающее количество частиц в МДКП имеет сферическую форму и агрегаты частиц правильной формы, видимых поверхностных дефектов не наблюдается. Поверхность некоторых частиц покрыта большим количеством более мелких частиц, которые появились в результате столкновения крупных частиц с каплями расплавленного материала в процессе получения порошка методом ЭЭД.

PCMA частиц порошка показал, что в химическом составе МДКП присутствует

только два элемента: кобальт и кислород. Наличие кислорода обусловлено средой электроэррозионного диспергирования. Остальные химические элементы содержатся в исходном материале в малых количествах (согласно ГОСТ 123-2008 общая сумма не превышает 0,65%), поэтому в процессе ЭЭД возможно их выгорание. Данное исследование подчеркивает чистоту полученного образца от примесей.

Результаты исследования рентгеноструктурного (фазового) состава образца представлены на рисунке 4.

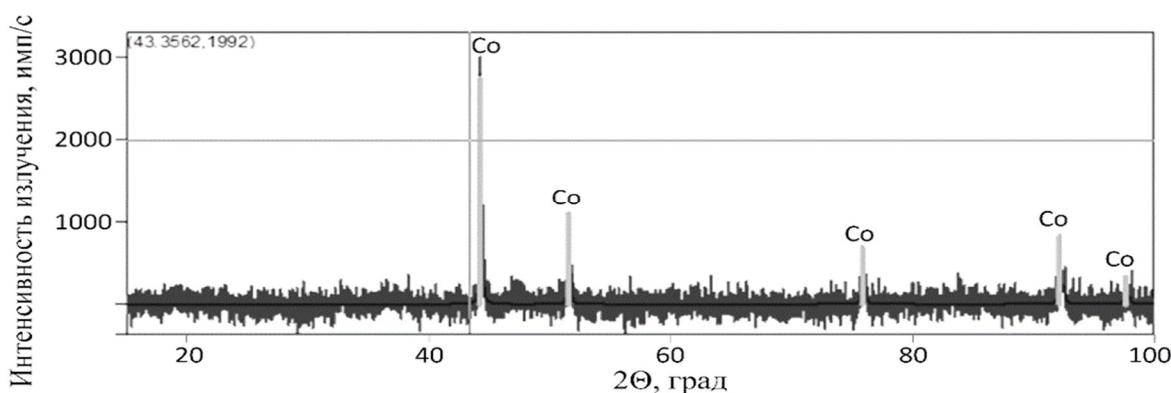


Рис. 4. Дифрактограмма МДКП

Fig. 4. Diffractogram of FDCP

Экспериментально установлено, что исследуемый образец электроэрозионного МДКП, полученный в среде дистиллированной воды, не образует соединений кобальта с кислородом и содержит в своем составе только фазы чистого кобальта,

имеющего кубическую кристаллическую решетку с параметром 3,544753 Å [20].

Результаты исследования гранулометрического состава МДКП приведены на рисунке 5 и в таблице 2.

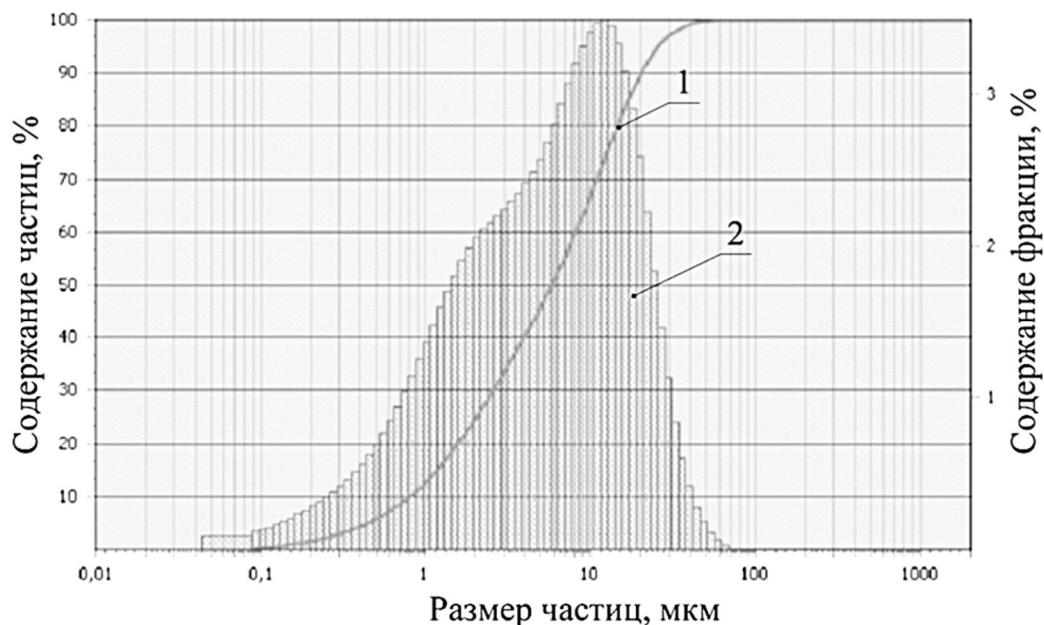


Рис. 5. Гранулометрический анализ МДКП: 1 – гистограмма распределения; 2 – интегральная кривая

Fig. 5. Granulometric analysis of FDCP: 1 – histogram of distribution; 2 – integral curve

Таблица 2. Распределение частиц МДКП по размерам

Table 2. Distribution of FDCP particles by size

Параметр	Значение
D5, мкм	0,45
D10, мкм	0,81
D25, мкм	2,02
D50, мкм	5,82
D75, мкм	12,59
D90, мкм	20,28
D95, мкм	25,7
D99, мкм	38,72
Объемный средний диаметр, мкм	8,6
Модальный диаметр, мкм	11,74
Размах (d90-d10)/d50	3,34
Удельная поверхность, см ² /см ³	32818

Из полученных данных видно, что 50% от общего объема частиц МДКП имеют размер меньше или равный 5,82 мкм, объемный средний диаметр частиц составляет 8,6 мкм.

Выводы

Экспериментально установлено, что полученный электроэрозионный кобальтовый порошок имеет размеры в пределах от 0,45 мкм до 38,72 мкм и на поверхности содержит кислород. Фазовый анализ показал наличие в частицах электроэрозионного кобальтового порошка только одной

фазы – фазы кобальта. Из анализа состояния формы и морфологии частиц установлено, что полученные частицы в большинстве имеют форму сферы со средним размером 8,6 мкм и комков агломератов, состоящих из мелкодисперсных частиц.

Полученные результаты исследований могут применяться для разработки нового твердого сплава с использованием металлоотходов дорогостоящего сырья кобальта методом электроэрозионного диспергирования с последующим совершенствованием и оптимизацией состава и структуры сплава.

Список литературы

1. Вальтер А.И., Кожевников Л.С. Сравнение структуры и механических свойств вольфрамового тяжелого сплава ВНЖ95 при твердофазном и жидкофазном спекании // Эпоха науки. 2024. № 37. С. 27–30. EDN VSPMHY.
2. Псевдосплавы на основе вольфрама для защиты от ионизирующего излучения, полученные с использованием механоактивированных прекурсоров / Т.Ф. Григорьева, Л.Н. Дьячкова, А.Ф. Ильющенко, В.А. Осипов, С.В. Восмериков, Е.Т. Девяткина // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сборник статей Международной научно-технической конференции. Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2024. С. 6-12. EDN XYKGBK.
3. Структура и свойства порошков, полученных электродиспергированием чистых никелевых металлоотходов в дистиллированной воде / 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. 8-18. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-3-8-18>. EDN EIEGZE.
4. Получение мелкозернистых твердых сплавов системы WC-Co (обзор) / Н.Н. Трофиленко, И.Ю. Ефимочкин, Р.М. Дворецков, Р.В. Батиенков // Труды ВИАМ. 2020. № 1(85). С. 92-100. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-1-92-100>. EDN TVMXDB.
5. Формирование структуры твердых сплавов на основе системы WC-Co с субмикронным зерном в присутствии ингибирующих добавок / Е.Н. Каблов, Е.А. Лукина, А.В. Заводов, И.Ю. Ефимочкин // Труды ВИАМ. 2020. № 4-5(88). С. 89-99. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-45-89-99>. EDN FUDTAU.
6. Соколов А.Г., Бобылев Э.Э., Пломодьяло Р.Л. Влияние цементации на структуру и свойства функциональных диффузионных покрытий на базе карбива титана на твердых сплавах типа ТК и ВК // Письма о материалах. 2020. Т. 10, № 4(40). С. 410-415. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2020-4-410-415>. EDN IVQKLP.
7. Влияние параметров горячего изостатического прессования на структуру и свойства сплавов на основе кобальта, получаемых методом селективного лазерного сплавления / И.С. Мазалов, П.Б. Мазалов, Д.И. Сухов, Е.А. Сульянова // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 2(63). С. 3–14. <https://doi.org/10.18577/2713-0193-2021-0-2-3-14>. EDN ZOPGKU.
8. Дворник М.И., Михайленко Е.А. Создание ультрамелкозернистого твердого сплава WC-15Co из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов сплава ВК15 в

воде // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2020. № 3. С. 4-16. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2020-3-4-16>. EDN HUEWDA.

9. Исследование порошковых материалов псевдосплава W-CU / М.Г. Криницын, А.С. Первиков, Н.Е. Торопков, М.И. Лернер // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики – 2021: материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием / под ред. М.Ю. Орлова. Томск: Томск. гос. ун-т, 2022. С. 373-377. EDN QLPREX.

10. Жаропрочные сплавы на основе кобальта / П.Б. Мазалов, Д.И. Сухов, Е.А. Сульянова, И.С. Мазалов // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 3(64). С. 3-10. <https://doi.org/10.18577/2713-0193-2021-0-3-3-10>. EDN JWUOZX.

11. Ахметов А.С., Еремеева Ж.В. Изучение характера протекания диффузионного легирования смеси для порошковой быстрорежущей стали // Материаловедение. 2021. № 6. С. 13-16. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2021-0-6-13-16>. EDN HITHLB.

12. Грязнов М., Самохин А., Чувильдеев В. Получение композитного порошка системы W-Ni-Fe со сферической формой частиц и исследование возможности его использования в технологии послойного лазерного сплавления // Физика и химия обработки материалов. 2022. № 3. С. 54–66. EDN UERDWV.

13. Шарипзянова Г.Х., Еремеева Ж.В. Исследование технологии производства твердосплавных материалов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1-1. С. 360-370. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-360-370>. EDN IQPWOB.

14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов: патент 2449859 Российская Федерация / Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А., Аниканов В.И.; заявитель и патентообладатель Юго-Зап. гос. ун-т. № 2010104316/02; заявл. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13. 10 с.

15. Кузнецова О.Г., Левин А.М., Севостьянов М.А. Модернизация электрохимической переработки тяжелых вольфрамовых сплавов с помощью переменного тока // Новые материалы и перспективные технологии. Шестой междисциплинарный научный форум с международным участием. Т. 2. М.: Центр научно-технических решений, 2020. С. 433-437. EDN CHJJXP.

16. Фетисов Г.В. Рентгеновские дифракционные методы структурной диагностики материалов: прогресс и достижения // Успехи физических наук. 2020. Т. 190, № 1. С. 2-36. EDN RJBIAY.

17. Дворник М.И., Власова Н.М. Сравнительный анализ эксплуатационной стойкости субмикронного твердого сплава WC-10Co, спеченного из порошка, полученного электроэррозионным диспергированием в масле // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2023. Т. 17, № 1. С. 75-84. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2023-1-75-84>. EDN ALELTB.

18. Плесовских А.Ю., Крылова С.Е. Исследование структуры и свойств износостойкого газотермического покрытия с содержанием вольфрама // Frontier Materials & Technologies. 2023. № 2. С. 89-101. EDN UQIPRW.

19. Влияние никеля на состав, структуру и свойства покрытий Ti-Cr-N / А.В. Черногор, И.В. Блинков, Д.С. Белов, В.С. Сергеевин, А.П. Демиров [и др.] // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2023. Т. 17, № 1. С. 63-74. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2023-1-63-74>. EDN PWHHPO.

20. Структура и свойства спеченного изделия из порошка, полученного электроэррозией отходов стали Р18 / Г.Р. Латыпова, Н.Н. Карпенко, Р.А. Латыпов, В.А. Стрижеус // Электрометаллургия. 2023. № 10. С. 34-39. <https://doi.org/10.31044/1684-5781-2023-0-10-34-39>. EDN SRRHNO.

References

1. Walter A.I., Kozhevnikov L.S. Comparison of the structure and mechanical properties of tungsten heavy alloy VNZH95 during solid-phase and liquid-phase sintering. *Epokha nauki = The age of science.* 2024;(37):27-30. (In Russ.) EDN VSPMHY.
2. Grigorieva T.F., Dyachkova L.N., Ilyushenko A.F., Osipov V.A., Voronikov S.V., Devyatkin E.T. Tungsten-based pseudo-alloys for protection against ionizing radiation obtained using mechanically activated precursors. In: *Tekhnologicheskoe obespechenie mashinostroitel'nykh proizvodstv: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii = Technological support of machine-building products: collection of articles of the International scientific and technical conference.* Mogilev: Belorussko-Rossiiskii un-t; 2024. P. 6-12. (In Russ.) EDN XYKGBK.
3. Ageeva E.V., Loktionova O.G., Ulitin D.A., Ageeva A.E. Structure and properties of powders obtained by electrodispersion of pure nickel metal waste in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2024;14(3):8-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-3-8-18>. EDN EIEGZE.
4. Trofimenko N.N., Efimochkin I.Yu., Dvoretskov R.M., Batienkov R.V. Production of fine-grained hard alloys of the WC-Co system (review). *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM.* 2020;(1):92-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-1-92-100>. EDN TVMXDB.
5. Kablov E.N., Lukina E.A., Zavodov A.V., Efimochkin I.Yu. Formation of the structure of hard alloys based on the WC-Co system with submicron grain in the presence of inhibitory additives. *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM.* 2020;(4-5):89-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-45-89-99>. EDN FUDTAU.
6. Sokolov A.G., Bobylev E.E., Plomodialo R.L. The effect of cementation on the structure and properties of functional diffusion coatings based on Titanium carbide on hard alloys such as TC and VC. *Pis'ma o materialakh = Letters on materials.* 2020;10(4):410-415. (In Russ.) <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2020-4-410-415>. EDN IVQKLP.
7. Mazalov I.S., Mazalov P.B., Sukhov D.I., Suljanova E.A. The influence of the parameters of hot isostatic pressing on the structure and properties of Cobalt-based alloys obtained by selective laser fusion. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii = Aviation Materials and Technologies.* 2021;(2):3-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2713-0193-2021-0-2-3-14>. EDN ZOPGKU.
8. Dvornik M.I., Mikhailenko E.A. Creation of ultrafine-grained WC-15Co hard alloy from powder obtained by electroerosion dispersion of VK15 alloy waste in water. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings.* 2020;(3):4-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2020-3-4-16>. EDN HUEWDA.
9. Krinitsyn M.G., Pervikov A.S., Toropkov N.E., Lerner M.I. Investigation of powder materials of W-Cu pseudo-alloy. In: Orlov M.Yu. (ed.) *Aktual'nye problemy sovremennoi mehaniki sploshnykh sred i nebesnoi mehaniki – 2021: materialy XI Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Actual problems of modern continuum mechanics and celestial mechanics - 2021: materials of the XI All-Russian scientific conference with international participation.* Tomsk, 2022. P. 373-377. (In Russ.) EDN QLPREX.
10. Mazalov P.B., Sukhov D.I., Sulyanova E.A., Mazalov I.S. Heat-resistant Cobalt-based alloys. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii = Aviation Materials and Technologies.* 2021;(3):3-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2713-0193-2021-0-3-3-10>. EDN JWUOZX.
11. Akhmetov A.S., Eremeeva Zh.V. Study of the nature of the diffusion alloying of a mixture for powdered high-speed steel. *Materialovedenie = Materials Science.* 2021;(6):13-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2021-0-6-13-16>. EDN HITHLB.

12. Gryaznov M., Samokhin A., Chuvildeev V. Obtaining a composite sheet of the W-Ni-Fe system with a spherical particle shape and exploring the possibility of its use in layered laser fusion technology. *Fizika i khimiya obrabotki materialov = Physics and Chemistry of Materials Processing*. 2022;(3):54-66. (In Russ.) EDN UERDWV.
13. Sharipzyanova G.H., Eremeeva J.V. Research of technology of production of hard alloy materials. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2023;(1-1):360-370. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-360-370>. EDN IQPWOB.
14. Ageev E.V., Semenikhin B. A., Latypov R.A., Anikanov V.I. Installation for the production of nanodisperse powders from conductive materials. Russian Federation patent 2449859. 10 May 2012. 10 p. (In Russ.)
15. Kuznetsova O.G., Levin A.M., Sevostyanov M.A. Modernization of electrochemical processing of heavy tungsten alloys using alternating current. In: *Novye materiy i perspektivnye tekhnologii. Shestoi mezhdisciplinarnyi nauchnyi forum s mezhdunarodnym uchastiem = New materials and promising technologies. The sixth interdisciplinary scientific forum with international participation*. Vol. 2. Moscow: Tsentr nauchno-tehnicheskikh reshenii; 2020. P. 433-437. (In Russ.) EDN CHJJXP.
16. Fetisov G.V. X-ray diffraction methods of structural diagnostics of materials: progress and achievements. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Successes of physical sciences*. 2020;190(1):2-36. (In Russ.) EDN RJBIAY.
17. Dvornik M.I., Vlasova N.M. Comparative analysis of the operational resistance of submicron WC-10Co hard alloy sintered from powder obtained by electroerosion dispersion in oil. *Izvestiya vysishkh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings*. 2023;17(1):75-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2023-1-75-84>. EDN ALELTB.
18. Plesovskikh A.Yu., Krylova S.E. Investigation of the structure and properties of a wear-resistant gas-thermal coating with a tungsten content. *Frontier Materials & Technologies*. 2023;(2):89-101. (In Russ.) EDN UQIPRW.
19. Chernogor A.V., Blinkov I.V., Belov D.S., Sergevnin V.S., Demirov A.P. The influence of nickel on the composition, structure and properties of Ti-Cr-N coatings. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings*. 2023;17(1):63-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2023-1-63-74>. EDN PWHHPO.
20. Latypova G.R., Karpenko N.N., Latypov R.A., Strizheus V.A. Structure and properties of sintered products from powder obtained by electroerosion of steel waste P18. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*. 2023;(10):34-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-5781-2023-0-10-34-39>. EDN SRRHHO.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, доктор технических наук, профессор, 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), Professor, Professor of the Department of Materials Technology 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

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

Ворначева Ирина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, и.о. зав. кафедрой электроэнергетики и электротехники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: vornairina2008@yandex.ru,
ORCID: 0000-0003-1770-7451,
SPIN-код: 2569-8743

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

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

Irina V. Vornacheva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: vornairina2008@yandex.ru,
ORCID: 0000-0003-1770-7451,
SPIN code: 2569-8743