

Оригинальная статья / Original article

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-4-43-54>

Состав, структура и свойства порошкового кобальта, полученного из металлоотходов кобальта марки K1Au в среде авиационного керосина

Е.В. Агеева^{1✉}, О.Г. Локтионова¹, Д.А. Улитин¹, А.Е. Андреева¹

¹ Юго-Западный государственный университет

ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Определение и изучение состава, структуры и свойств порошкового кобальтового материала, полученного в результате электроэрозионного диспергирования металлических отходов кобальта марки K1Au в рабочей среде авиационного керосина марки ТС-1.

Методы. С целью изучения состава, структурных особенностей и характеристик кобальтовой шихты были получены образцы порошкообразного металлического кобальта. Для этого применяли электроэрозионное диспергирование отходов кобальта марки K1Au в рабочей среде, содержащей углерод. Микроструктуру частиц порошка исследовали посредством растровой электронной микроскопии, а оценка гранулометрического состава шихты выполнялась с использованием анализатора размеров частиц. Элементный состав определялся методом энергодисперсионного рентгеновского анализа, реализованного на базе растрового электронного микроскопа. Фазовый состав шихты определялся дифрактометром методом рентгеновской дифракции.

Результаты. Установлено, что сформированный мелкодисперсный порошок кобальта состоит из частиц преимущественно сферической и эллипсоидной формы, а также их агломератов. Примеси углерода в порошке не обнаружены. Фазовый анализ показал присутствие исключительно кристаллической фазы чистого кобальта без образования карбидных соединений. Согласно гранулометрическому анализу размеры частиц 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 может входить порошок кобальта, полученный из металлоотходов методом электроэрозионного диспергирования. Представленные результаты открывают перспективу дальнейшего совершенствования состава и регулирования структуры вновь формируемых сплавов.

Ключевые слова: кобальт; металлоотходы; электроэрозионное диспергирование; авиационный керосин; порошок; структура; свойства.

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

Для цитирования: Состав, структура и свойства порошкового кобальта, полученного из металлоотходов кобальта марки K1Au в среде авиационного керосина / Е.В. Агеева, О.Г. Локтионова, Д.А. Улитин, А.Е. Андреева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 4. С. 43–54. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-4-43-54>.

Поступила в редакцию 09.11.2025

Подписана в печать 02.12.2025

Опубликована 25.12.2025

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

Composition, structure, and properties of powdered Cobalt obtained from K1Au cobalt metal waste in an aviation kerosene environment

Ekaterina V. Ageeva^{1✉}, Oksana G. Loktionova¹, Dmitry A. Ulitin¹,
Anna E. Andreeva¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Determination and study of the composition, structure, and properties of a powdered Cobalt material obtained by electroerosive dispersion of K1Au Cobalt metal waste in a working environment of TS-1 aviation kerosene.

Methods. In order to study the composition, structural features, and characteristics of the cobalt charge, samples of powdered metallic cobalt were obtained. This was achieved through the use of electro-discharge dispersion of K1Au cobalt waste in a carbon-containing working environment. The microstructure of the powder particles was examined using scanning electron microscopy, and the particle size distribution of the charge was assessed using a particle size analyzer. The elemental composition was determined by energy-dispersive X-ray analysis, implemented on the basis of a scanning electron microscope. The phase composition of the charge was determined by a diffractometer using X-ray diffraction.

Results. It has been established that the formed fine-grained cobalt powder consists of predominantly spherical and ellipsoidal particles, as well as their agglomerates. No carbon impurities were detected in the powder. Phase analysis showed the presence of a pure Cobalt crystal phase without the formation of carbide compounds. According to the granulometric analysis, the particle sizes are distributed in the range of 0.9 to 63.77 μm , with an average volume diameter of 12.06 μm .

Conclusion. The obtained experimental data create a scientific and practical basis for the development of fundamentally new hard alloys, which may include cobalt powder obtained from metal waste by the method of electro-erosion dispersion. The presented results open up the prospect of further improvement of the composition and regulation of the structure of newly formed alloys.

Keywords: Cobalt; metal waste; electro-dispersive spraying; aviation kerosene; 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., Andreeva A.E. Composition, structure, and properties of powdered cobalt obtained from K1Au cobalt metal waste in an aviation kerosene environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2025;15(4):43–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-4-43-54>.

Received 08.11.2025

Accepted 02.12.2025

Published 25.12.2025

Введение

В современной промышленности существует ряд инженерных задач, среди которых можно выделить повышение надежности, срока службы и технического уровня деталей машин и оборудования. Для решения этих задач разрабатываются различные методы и технологии повышения износостойкости и, соответственно, срока службы деталей машин и оборудования: наплавка, химико-термическое упрочнение, легирование, напыление и

т. д. [1] Для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и оборудования постоянно совершенствуется состав материалов и способов их изготовления.

Порошковая металлургия в настоящее время занимает ключевое место в машиностроительном комплексе [2]. Доля изделий, получаемых с использованием технологий порошкового формообразования, особенно когда речь идёт о деталях сложной геометрии, таких как шестерни, подшипники и другие функциональные

элементы, уже превосходит объём продукции, изготавливаемой традиционными методами [3].

Кобальт представляет собой стратегически важный металл, широко применяемый в различных секторах промышленности. Его уникальные физико-химические характеристики обеспечили ему особую роль в производстве инструментальной и буровой техники [4]. Одним из ключевых преимуществ кобальта является его неспособность образовывать карбиды, что делает его идеальным связующим компонентом при создании быстрорежущих и высокожаропрочных сталей [5]. Применение кобальта в роли связующего компонента в составе твёрдых сплавов способствует увеличению их пластичности и устойчивости к динамическим воздействиям. Благодаря этому такие сплавы демонстрируют повышенную долговечность и способны сохранять работоспособность инструмента даже при интенсивных эксплуатационных нагрузках [6]. Сфера использования твёрдых сплавов, в которых кобальт выполняет функцию связки, выходит далеко за рамки производства режущего инструмента [7]. Подобные материалы являются неотъемлемыми элементами высокотехнологичных отраслей – от авиационно-космического сектора и атомной промышленности до электротехнического машиностроения и других направлений, требующих материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками [8].

Одним из наиболее перспективных направлений порошковой металлургии является электроэрозионное диспергирование, позволяющее перерабатывать токопроводящие металлоотходы [9], в том числе дорогостоящие отходы кобальта, в порошковое сырьё [10]. Однако применение данной технологии затруднено отсутствием достаточной теоретической базы по электроэрозионной переработке чистого кобальта [11], а также недостатком

научных публикаций, описывающих состав, структуру и свойства диспергированных порошков мелкой фракции [12].

Для создания рациональной и технологически обоснованной методики переработки кобальтовых отходов посредством электроэрозионного диспергирования, а также для получения высокодисперсного порошкового материала и оценки его перспектив для последующего использования требуется проведение комплексных исследований, включающих как теоретические, так и экспериментальные этапы [13].

Целью исследования является всестороннее изучение состава, структурных характеристик и физических свойств мелкодисперсного порошка кобальта, сформированного при электроэрозионном разрушении металлических отходов марки K1Au в среде авиационного керосина ТС-1.

Материалы и методы

Объектом исследования, в рамках которого выполнялась оценка состава, структуры и эксплуатационных характеристик материала, служил образец высокодисперсного порошка металлического кобальта. Данный порошок был получен в результате электроэрозионного разрушения отходов кобальта в рабочей среде авиационного керосина ТС-1. Процесс формирования порошка реализовывался на специализированной установке электроэрозионного диспергирования, защищённой патентом [14].

Производство мелкодисперсного кобальтового порошка требует соблюдения определённых технологических режимов работы оборудования. На ранних этапах исследования подбор рабочих параметров установки осуществлялся в экспериментальном порядке. Схематическое представление параметров процесса электроэрозионного диспергирования приведено на рисунке 1.



Рис. 1. Параметры работы установки электроэрозионного диспергирования

Fig. 1. Operating parameters of the electroerosion dispersion unit

Реализация поставленной цели потребовала выполнения комплекса взаимосвязанных исследовательских задач, для решения которых был задействован ряд спе-

циализированных приборов и установок [15–19]. Схематическое представление применённого исследовательского оборудования приведено на рисунке 2.

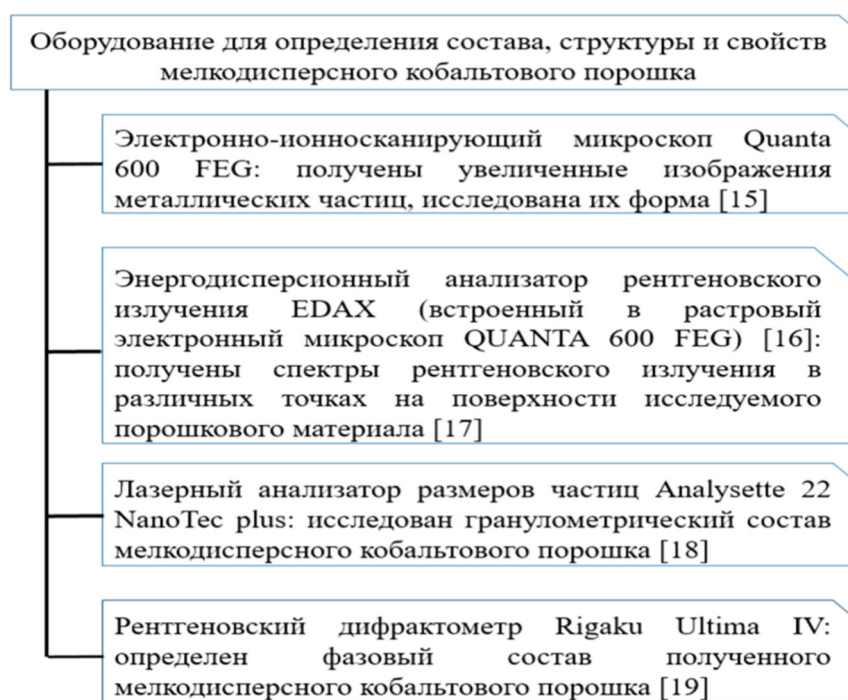


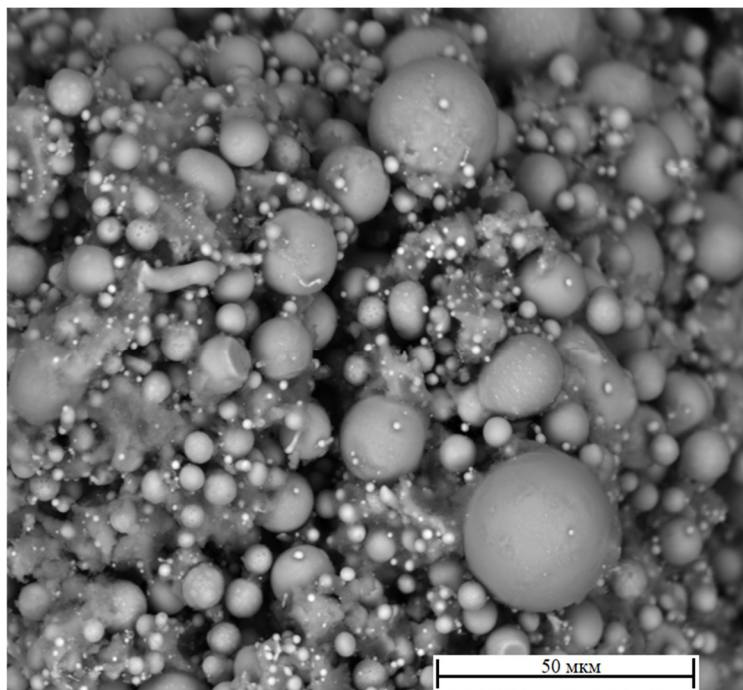
Рис. 2. Аппаратурный комплекс, предназначенный для исследования физических и структурных свойств материала

Fig. 2. An equipment complex designed to study the physical and structural properties of a material

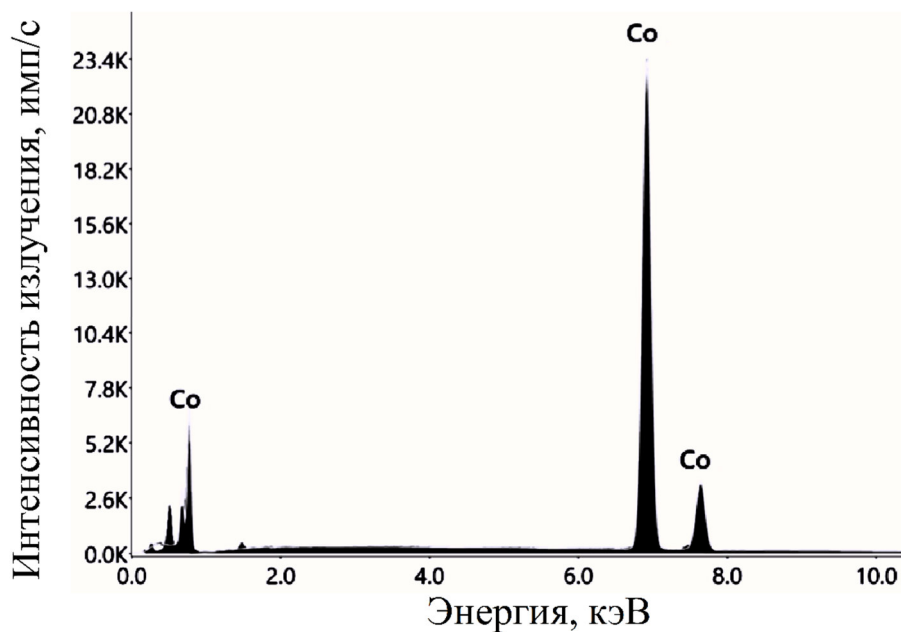
Результаты и их обсуждение

На рисунке 3 приведены результаты комплексного анализа, включающего ис-

следование микроструктуры и выполнение рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) кобальтового порошкового материала.



а



б

Рис. 3. Порошковый материал на основе металлического кобальта: а – микроструктурный анализ; б – рентгенограмма

Fig. 3. Powder material based on metallic cobalt: a – microstructural analysis; b – X-ray

Микроскопический анализ морфологии частиц показал, что порошковый материал, полученный методом электроэрозионного диспергирования отходов кобальта марки K1Au, представлен преимущественно частицами сферической и эллипсоидной формы, а также их агломератами.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа, выполненные в разных зонах исследуемого образца, подтверждают присутствие исключительно металлического кобальта. Отсутствие посторонних элементов свидетельствует о высокой чистоте материала и подтверждает, что в

условиях обработки в углеродсодержащей среде (авиационном керосине ТС-1) не происходит избыточного насыщения порошка углеродом.

Данные рентгеноструктурного анализа (рис. 4, табл. 1) показывают, что в образце фиксируется только кристаллическая фаза кобальта, без образования карбидных или иных соединений. Экспериментальные результаты подтверждают, что порошок, полученный методом ЭЭД в керосине, представляет собой чистый кобальт без следов взаимодействия с углеродом [20].

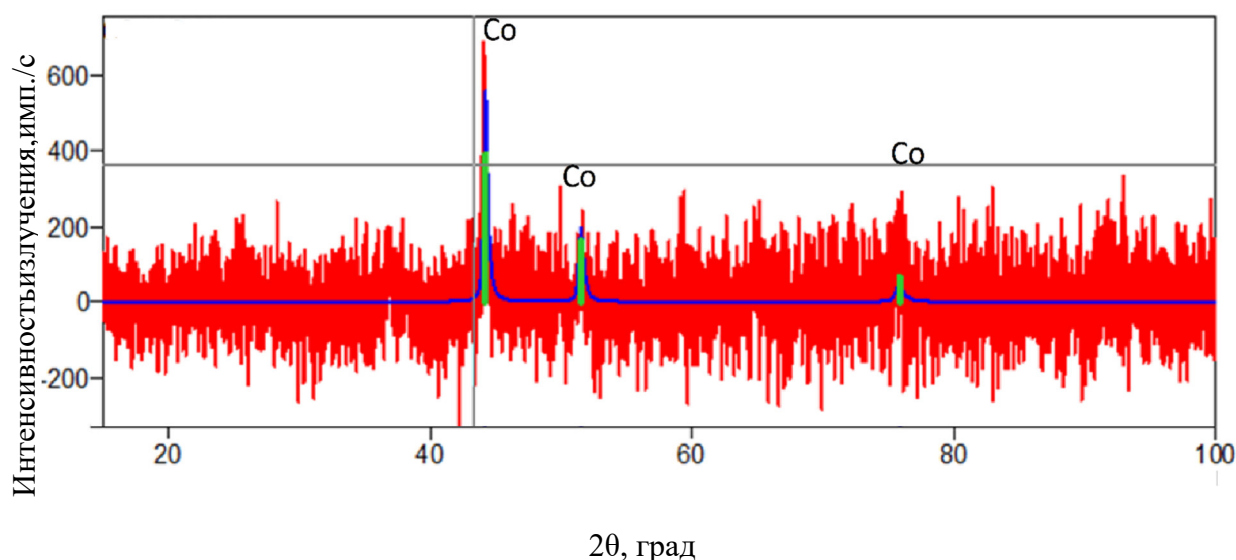


Рис. 4. Результаты рентгенодифракционного исследования образца порошка металлического кобальта

Fig. 4. Results of an X-ray diffraction study of a sample of metallic cobalt powder

Таблица 1. Характеристика фазового состояния образца порошка металлического кобальта

Table 1. Characteristics of the phase state of a sample of metallic cobalt powder

Параметр	Наименование фазы
	Cobalt - α (Co)
Тип кристаллической решетки	225:Fm-3m кубическая кристаллическая решётка
Параметры кристаллической решетки, Å	$a = b = c = 3.545673 \text{ Å}$

Данные, характеризующие распределение частиц по размерам в полученном

кобальтовом порошке, представлены на рисунке 5 и сведены в таблицу 2.

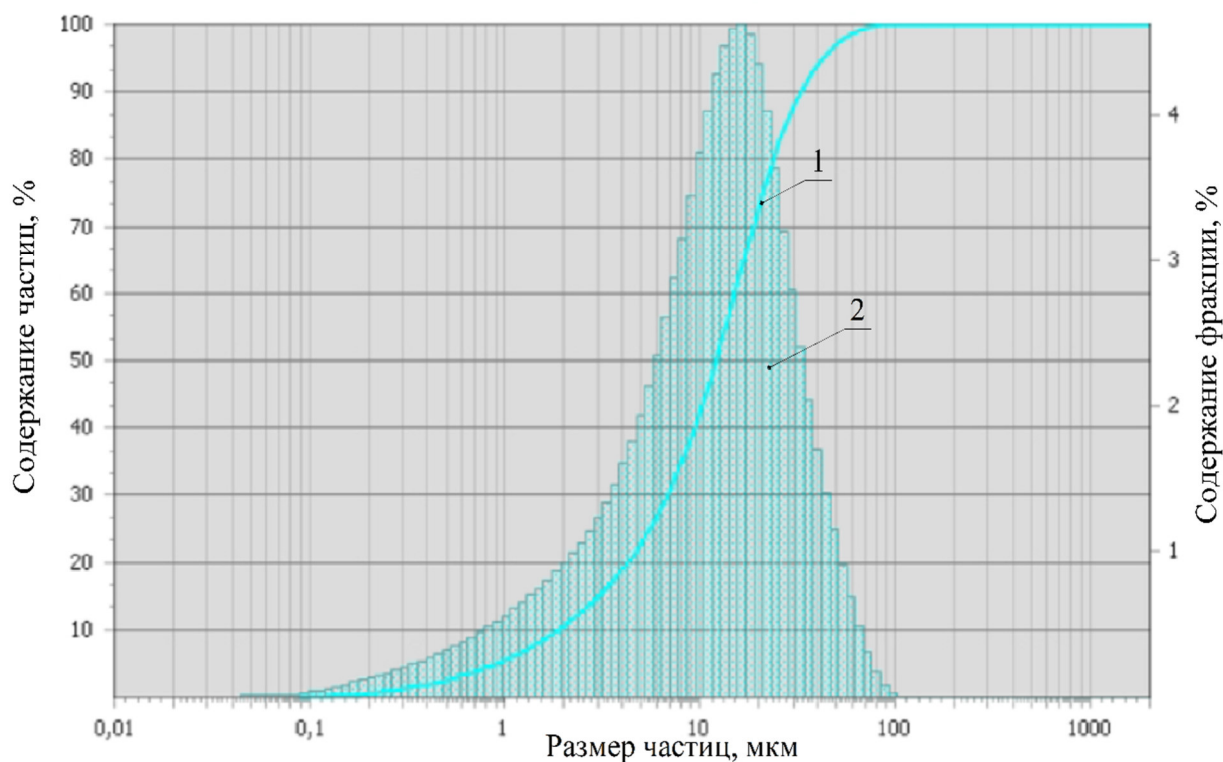


Рис. 5. Анализ распределения частиц кобальтового порошка по размерам: 1 – график гистограммного распределения; 2 – кривая интегрального распределения.

Fig. 5. Analysis of the distribution of cobalt powder particles by size: 1 – histogram distribution graph; 2 – integral distribution curve.

Таблица 2. Размерная структура частиц порошкового материала

Table 2. The particle size structure of the powder material

Параметр	Значение
D5, мкм	0,9
D10, мкм	1,87
D25, мкм	5,54
D50, мкм	12,06
D75, мкм	20,93
D90, мкм	32,95
D95, мкм	42,6
D99, мкм	63,77
Объемный средний диаметр, мкм	15,3
Модальный диаметр, мкм	16,24
Размах (d90-d10)/d50	2,57
Удельная поверхность, см ² /см ³	16485

Проведённый гранулометрический анализ показал, что фракционный состав исследуемого порошка охватывает диапазон от наиболее мелких частиц порядка

0,9 мкм до относительно крупных включений, достигающих 63,77 мкм. Ключевой статистический показатель – медианный диаметр D50 – установлен на уровне

12,06 мкм. Это указывает на то, что по меньшей мере половина совокупного объёма порошка сформирована частицами, чьи размеры не превышают данное значение. Следовательно, указанный параметр одновременно характеризует и средний объёмный размер частиц исследуемого кобальтового порошка.

Выводы

1. Проведённый комплекс исследований, охватывающий анализ фазового состава, морфологии и ключевых физико-технических параметров мелкодисперсного кобальтового порошка, синтезированного посредством электроэрозионного диспергирования металлического сырья, продемонстрировал высокую результативность и стабильность данного способа получения порошковых материалов. Полученные данные подтверждают, что технология ЭЭД обеспечивает формирование порошков с требуемыми эксплуатационными характеристиками, что делает их

перспективными для последующего использования в различных отраслях промышленности.

2. Установлено, что порошок характеризуется частицами преимущественно правильной сферической и эллиптической формы, а также их агломератами. В материале отсутствует избыточное содержание углерода. Фазовый анализ выявил присутствие единственной фазы – металлического кобальта, без образования соединений с углеродом. Размеры частиц изменяются в диапазоне 0,9...63,77 мкм, а средний объёмный диаметр составляет 12,06 мкм.

3. Полученные экспериментальные данные создают основу для последующего внедрения современных материалов и технологических процессов. Применение электроэрозионного диспергирования как экологически чистого, ресурсоэффективного и безотходного метода позволит перерабатывать кобальтовое сырьё в новые высококачественные порошковые материалы.

Список литературы

1. Моисеенко Д.В., Холдаров С.Ш.у., Мансуров А.А. Кобальтовые сплавы типа Stellite, их механические и химические свойства и применение // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 6-2(64). С. 138-141. EDN TZАНCH.
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. Восмерилов, 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 мелкодисперсного кобальтового порошка из металлоотходов кобальта марки K1Au / 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>. EDN QNYCYU.
4. Получение мелкозернистых твердых сплавов системы WC-Co (обзор) / Н.Н. Трофименко, 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. Сплав системы Co-Cr-Si-B на основе кобальта для нанесения защитных покрытий / А.Н. Беляков, Р.Ю. Быстров, Д.А. Геращенко, Т.И. Бобкова, А.Ф. Васильев, А.М. Макаров // Вопросы материаловедения. 2019. № 2(98). С. 39-43. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-97-1-39-43>. EDN GFODNM.
7. Тарасова Т.В., Назаров А.П. Перспективы изготовления сложнопрофильных деталей из жаропрочных кобальтовых сплавов методом селективного лазерного плавления // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 5(125). С. 30-33. EDN TTMTRX.
8. Дворник М.И., Михайленко Е.А. Создание ультрамелкозернистого твердого сплава WC-15Co из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов сплава BK15 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. Первилов, 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. Агеева Е.В., Зубарев М.В. Установка для получения порошковых материалов, пригодных для технологических процессов восстановления и упрочнения деталей // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 169-173. EDN ZTMFCB.
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 RJBIAU.
17. Дворник М.И., Власова Н.М. Сравнительный анализ эксплуатационной стойкости субмикронного твердого сплава WC-10Co, спеченного из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в масле // Известия высших учебных заведений. 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. Сергеев, А.П. Демиров // Известия высших учебных заведений. 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. Влияние технологии получения электродного материала из отходов быстрорежущей стали на износостойкость электроискровых покрытий / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Карпенко, А.Ю. Алтухов // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. № 1(43). С. 36-41. EDN TIJQXT.

Reference

1. Moiseenko D.V., Kholdarov S.Sh.u., Mansurov A.A. Stellite-type cobalt alloys, their mechanical and chemical properties, and applications. *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob"edinenie = Eurasian Scientific Association*. 2020;6-2(64):138-141. (In Russ.) EDN TZAHCH.

2. Grigorieva T.F., Dyachkova L.N., Ilyushchenko A.F., Osipov V.A., Vosmerikov S.V., Devyatkina E.T. Pseudo-alloys based on tungsten for protection against ionizing radiation, obtained using mechanically activated precursors. In: *Tekhnologicheskoe obespechenie mashinostroitel'nykh proizvodstv: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Technological Support for Mechanical Engineering Production: collection of Articles from the International Scientific and Technical Conference*. Mogilev: Belorussko-Rossiiskii un-t; 2024. P. 6-12. EDN XYKGBK.

3. Ageeva E.V., Loktionova O.G., Ulitin D.A., Vornacheva I.V. Structure and properties of fine-grained cobalt powder from metal waste of Cobalt grade K1Au. *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>. EDN QNYCYU.

4. Trofimenko N.N., Efimochkin I.Yu., Dvoretzky R.M., Batiukov R.V. Production of fine-grained hard alloys of the WC-Co system (review). *Trudy VIAM = VIAM works*. 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., Zavadov 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 inhibiting additives. *Trudy VIAM = Trudy VIAM*. 2020;(4-5):89-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-45-89-99>. EDN FUDTAU.

6. Belyakov A.N., Bystrov R.Yu., Gerashchenkov D.A., Bobkova T.I., Vasilyev A.F., Makarov A.M. Alloy of the Co-Cr-Si-B system based on Cobalt for applying protective coatings. *Voprosy materialovedeniya = Materials Science*. 2019;(2):39-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-97-1-39-43>. EDN GFODNM.

7. Tarasova T.V., Nazarov A.P. Prospects for manufacturing complex-profile parts from heat-resistant cobalt alloys by selective laser melting. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Strengthening Technologies and Coatings*. 2015;(5):30-33. (In Russ.) EDN TTMTRX.

8. Dvornik M.I., Mikhailenko E.A. Creation of an ultra-fine-grained WC-15Co hard alloy from a powder obtained by electro-erosive dispersion of BK15 alloy waste in water. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings*. 2020;(3):4-16. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2020-3-4-16>. (In Russ.) 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.Y. (ed.) *Aktual'nye problemy sovremennoi mekhaniki sploshnykh sred i nebesnoi mekhaniki – 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: Tomsk. gos. un-t; 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., Ereemeeva 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. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2021-0-6-13-16>. (In Russ.) 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., Ereemeeva 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. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-360-370>. (In Russ.) EDN IQPWOB.

14. Ageeva E.V., Zubarev M.V. Installation for obtaining powder materials suitable for technological processes of restoration and hardening of parts. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2017;129:169-173. (In Russ.) EDN ZTMFCB.

15. Kuznetsova O.G., Levin A.M., Sevostyanov M.A. Modernization of electrochemical processing of heavy tungsten alloys using alternating current. In: *Novye materialy i perspektivnye tekhnologii: Shestoi mezhdistsiplinarnyi nauchnyi forum s mezhdunarodnym uchastiem = New materials and promising technologies: The Sixth interdisciplinary scientific forum with international participation*. Moscow: Tsentr nauchno-tekhnicheskikh reshenii; 2020. P. 433-437. (In Russ.) EDN CHJXP.

16. Fetisov G.V. X-ray diffraction methods of structural diagnostics of materials: progress and achievements. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Physics-Uspekhi*. 2020;190(1):2-36. (In Russ.) EDN RJBIAV.

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 vysshikh 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 vysshikh uchebnykh zavedenii. 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. Ageev E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Altukhov A.Yu. The influence of technology for obtaining electrode material from high-speed steel waste on the wear resistance of electric spark coatings. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = High-tech technologies in mechanical engineering*. 2015;(1):36-41. (In Russ.) EDN TIJQXT.

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

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: ulitdmitr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033, ORCID: 0009-0000-0444-298X

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

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

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: ulitdmitr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033, ORCID: 0009-0000-0444-298X

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